



## Cahier des charges

Référence : PSN-RES/SEREX/2025-00115

Indice : 1

Page : 1/14

### Usinage d'éprouvettes en alliage de zirconium

	Acceptation Client ou CdP
Nom	/
Date	/
Signature	/

	Rédacteur(s)	Vérificateur(s)	Référent Qualité	Approbateur
Nom	S.GUILBERT	C.SARTORIS	R. LAMURE	J. DI SALVO
Date				
Visa				

**Pôle sûreté des installations et des systèmes nucléaires**  
**Service d'Etude et de Recherche Expérimentale**  
**Laboratoire d'Expérimentation en Mécanique et Matériaux**  
Bâtiment 327  
B.P. 3, 13115 Saint Paul-lez-Durance Cedex

## HISTORIQUE DES MODIFICATIONS

Ind.	Date	Chapitre	Nature des modifications	Rédacteur	Vérificateur	Référent qualité	Approbateur
0	Avril 2025	tous	Rédaction	S.Guilbert	J.Di Salvo C.Sartoris	R.Lamure	
1	Juin 2025	tous	Diffusion	S.Guilbert	J.Di Salvo C.Sartoris	R.Lamure	
2							
3							
4							
5							

## TABLE DES MATIÈRES

<b>1</b>	<b>OBJET.....</b>	<b>4</b>
1.1	Contexte de la prestation.....	4
1.2	Contenu de la prestation.....	4
1.3	Délais de fabrication de la fourniture .....	5
<b>2</b>	<b>EXIGENCES QUALITE .....</b>	<b>5</b>
<b>3</b>	<b>SPECIFICATION TECHNIQUE .....</b>	<b>5</b>
3.1	Description des usinages.....	5
3.2	Contraintes mécaniques et géométriques.....	12
3.3	Recommandations.....	13
3.4	Exigences de fabrication à la charge du titulaire .....	13
<b>4</b>	<b>DESCRIPTION DES FOURNITURES.....</b>	<b>13</b>
4.1	Fournitures SEREX/LE2M .....	13
4.2	Fournitures à la charge du titulaire.....	14

Référence : PSN-RES/SEREX/2025-00115	<b>Usinage d'éprouvettes en alliage de zirconium</b>	<b>Page : 3/14</b>
Indice : 1		

<b>5</b>	<b>RECEPTION.....</b>	<b>14</b>
<b>6</b>	<b>ORGANISATION.....</b>	<b>14</b>
<b>6.1</b>	<b>Organisation du suivi au SEREX/LE2M .....</b>	<b>14</b>
<b>6.2</b>	<b>Organisation du titulaire .....</b>	<b>14</b>

Référence : PSN-RES/SEREX/2025-00115	<b>Usinage d'éprouvettes en alliage de zirconium</b>	Page : 4/14
Indice : 1		

# 1 OBJET

## 1.1 Contexte de la prestation

Le Laboratoire d'Expérimentation en Mécanique et Matériaux (LE2M) du Service de Recherche Expérimentale (SEREX) de l'Autorité de Sûreté Nucléaire et de Radioprotection (ASNR) étudie le comportement de la gaine combustible en situation accidentelle (fuite du réfrigérant primaire, accident de réactivité...) au cours de laquelle la gaine en alliage de zirconium, sous l'effet de l'augmentation de température, subit des transformations microstructurales et une oxydation qui ont un impact sur sa tenue mécanique et notamment sa tenue au fluage.

Pour mener ces études, le SEREX/LE2M a besoin de faire usiner des éprouvettes en alliages de zirconium.

Différentes géométries d'éprouvettes et différents usinages sont réalisés régulièrement pour le SEREX/LE2M pour ses programmes de recherche : éprouvettes de traction axiale bi-jambe, éprouvettes de traction axiale bi-jambe avec jambe supplémentaire pour la mesure de température, éprouvettes de traction sens travers usinées dans un anneau, usinage d'ouverture sur le côté dans un tube de gaine (ouverture rectangulaire ou ovale), usinage de bouchons pour soudure par faisceau d'électrons.

Dans ce cadre, le LE2M envisage de mettre en place un contrat cadre.

Ce marché comportera un premier poste aux bordereaux de prix unitaires pour l'usinage pour une durée de 4 ans des futures éprouvettes du SEREX/LE2M, listées dans ce cahier des charges. L'accord cadre comportera également un poste pour l'usinage de pièces non mentionnées dans le présent cahier des charges, les activités sur 4 ans pouvant conduire au besoin de nouveaux types d'éprouvettes. Ces pièces feront l'objet d'une demande de devis spécifique.

Lors de la consultation, un lot d'éprouvettes test sera mis à disposition des prestataires pour réaliser les usinages suivants :

- 1 éprouvette de traction avec jambe supplémentaire dans alliage dans l'état de réception
- 1 éprouvette de traction avec jambe supplémentaire dans alliage oxydé
- 1 éprouvette de traction avec jambe supplémentaire dans alliage revêtu chrome
- 1 éprouvette de traction sens travers dans alliage dans l'état de réception
- 1 éprouvette de traction sens travers dans alliage oxydé
- 1 éprouvette de traction sens travers dans alliage revêtu chrome
- 1 amincissement d'un tube par l'extérieur dans alliage à l'état de réception
- 1 éprouvette SIT avec découpe rectangle 1 mm dans alliage revêtu chrome
- 1 éprouvette SIT avec découpe ovale dans alliage revêtu chrome

Les éprouvettes usinées devront être remises en même temps que les réponses à la consultation. Les exigences d'usinage sont celles décrites au §3.4. A la réception des éprouvettes, le SEREX/LE2M procédera à un certain nombre de contrôles et d'analyses pour vérifier le respect des exigences.

## 1.2 Contenu de la prestation

La présente spécification a pour objet de définir les conditions d'étude, de fabrication, de contrôle et de recette auxquelles doivent se soumettre les fournisseurs pour réaliser l'usinage de diverses éprouvettes en alliage de zirconium durant la période couverte par l'accord-cadre.

Les usinages devront être réalisés en respectant les exigences précisées au §3.4. A la réception des éprouvettes, le SEREX/LE2M procédera à un certain nombre de contrôle et d'analyses.

Référence : PSN-RES/SEREX/2025-00115	<b>Usinage d'éprouvettes en alliage de zirconium</b>	<b>Page : 5/14</b>
Indice : 1		

### 1.3 Délais de fabrication de la fourniture

La notification du marché par le Titulaire constitue le T0 dans le planning d'exécution du marché.

Les éprouvettes seront à livrer dans un délai de 4 semaines à compter de ce T0. Le délai pourra être ajusté en accord avec le chargé d'affaire ASNR en fonction du nombre d'éprouvettes à usiner.

## 2 EXIGENCES QUALITE

Ces prestations seront à réaliser dans le cadre de l'application du système de management qualité de l'ASNR.

Le Titulaire devra lui-même être certifié ISO 9001 ou pouvoir justifier d'un système qualité respectant les exigences de la norme. Il appliquera les documents du référentiel de l'ASNR.

## 3 SPECIFICATION TECHNIQUE

Ce paragraphe décrit la prestation à réaliser, la matière fournie par le SEREX/LE2M, la géométrie des éprouvettes à usiner, les exigences vis-à-vis de la prestation, les critères de contrôle que le SEREX/LE2M réalisera sur les éprouvettes et le nombre d'éprouvettes à usiner.

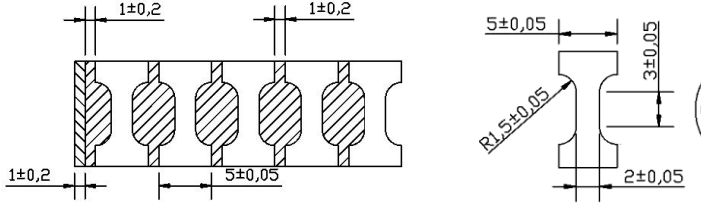
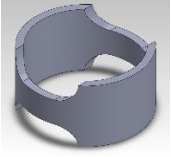
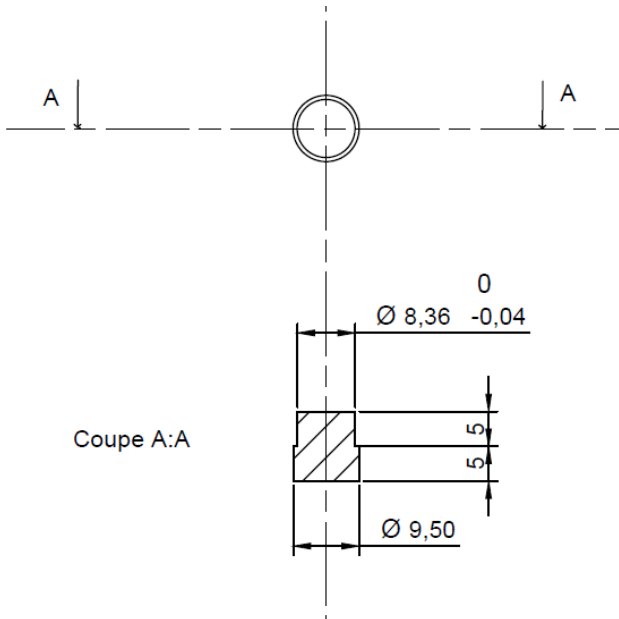
### 3.1 Description des usinages

Les différentes géométries d'usinage utilisées dans le cadre des programmes expérimentaux du SEREX/LE2M et qui doivent faire l'objet d'un chiffrage dans le cadre de la pré-sélection sont décrites dans le tableau suivant :

**Tableau 1 : géométrie des éprouvettes à usiner**

Nom Echantillon	Géométrie
Eprouvette de traction axiale bi-jambe (1)	<p> <math>\phi_{\text{ext}} = 9.5 \text{ mm}</math>, <math>\phi_{\text{int}} = 8.36 \text{ mm}</math>            9.5            12            15            3.5            42            35            3            96            12  <math>\phi = 4.6 \text{ mm}</math> </p>

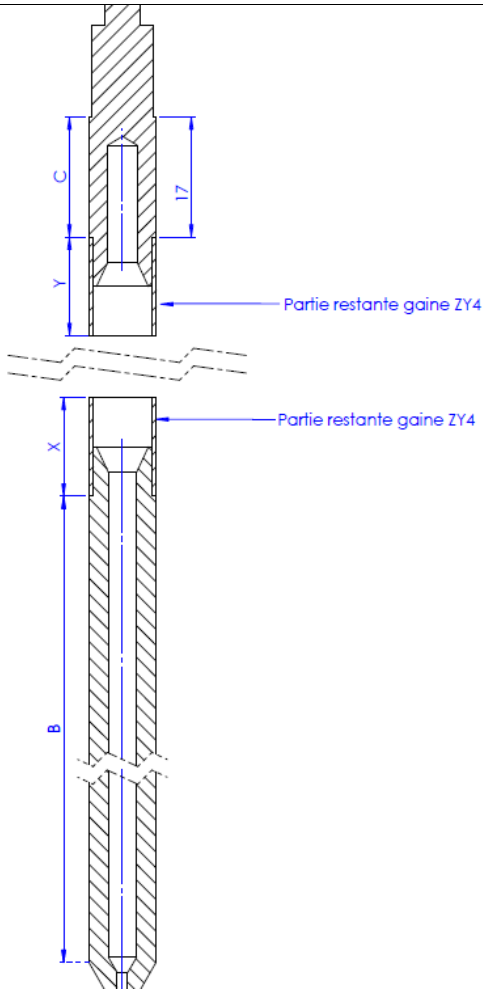
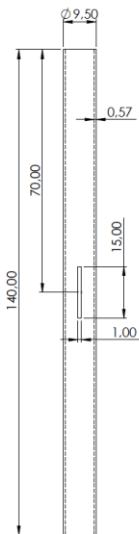
Nom Echantillon	Géométrie
<p>Eprouvette de traction axiale (2)</p> <p>Longueur excédentaire, X, admissible de 10 mm.</p>	
<p>Eprouvette de traction axiale avec 3<sup>ème</sup> jambe</p> <p>Longueur excédentaire, X, admissible de 10 mm.</p>	

Nom Echantillon	Géométrie
Eprouvette de traction sens travers	 
Bouchon	 <p>Coupe A:A</p>



Nom Echantillon	Géométrie
<p>Bouchon inférieur</p> <p>COCAGNE</p>	<p>COUPE A-A</p>

Nom Echantillon	Géométrie
Bouchon supérieur COCAGNE	
Ré-usinage de bouchons COCAGNE	Reprise du diamètre du bouchon inférieur sur X mm + 3mm et du diamètre du bouchon supérieur sur Y mm + 3mm, X et Y correspondant aux longueurs de tube soudé de la gaine initiale, X et Y ~ 10 mm

Nom Echantillon	Géométrie
	
Amincissement de tube de 100 mm	<p>Enlèvement de matière par l'extérieur jusqu'à <math>200 \pm 50 \mu\text{m}</math> (préalable à un autre usinage). Un contrôle d'épaisseur en 4 points de chaque côté de l'éprouvette est demandée. La variation de l'épaisseur mesurée devra être de <math>\pm 20 \mu\text{m}</math>.</p>
SOT (Side Opened Tube) rectangle 1 mm	

Nom Echantillon	Géométrie
SOT (Side Opened Tube) rectangle 2 mm	
SOT (Side Opened Tube) ovale 2 mm	

### 3.2 Contraintes mécaniques et géométriques

Les matériaux à usiner, dans le cadre des programmes expérimentaux du SEREX/LE2M, sont des alliages de zirconium : Zircaloy-4 SRA, M5<sub>Framatome</sub>, Zirlo, Optimized Zirlo. En outre, des éprouvettes peuvent également être usinées dans des tubes d'alliages de zirconium revêtus à l'extérieur de chrome (moins de 30 µm) (Zircaloy-4 et M5<sub>Framatome</sub>) et dans des tubes d'alliage de zirconium non revêtues de chrome et oxydées en face externe et potentiellement en face interne.

Ainsi, les tubes ou barres qui servent à l'usinage peuvent être :

- dans leur état de réception (9,5 mm de diamètre externe et épaisseur 0,57mm pour les tubes),
- amincies jusqu'à 200 µm (selon le Tableau 1),
- présenter une couche de zircone (dans ce cas l'épaisseur de l'éprouvette peut atteindre jusqu'à 200 µm supplémentaires),
- une couche d'oxyde et une fragilisation par oxydation et hydruration.

Référence : PSN-RES/SEREX/2025-00115	<b>Usinage d'éprouvettes en alliage de zirconium</b>	Page : 13/14
Indice : 1		

- sous forme d'éprouvettes pleines (barres), dans leur état de réception, de diamètre 9,8 ou 11,5 ou 15,5 mm.

A noter que les matériaux fournis ont une limite élastique à température ambiante de 400 à 800 MPa, selon leur état métallurgique et leur degré de fragilisation par l'oxygène.

### 3.3 Recommandations

Le SEREX/LE2M rappelle que les alliages de zirconium sont pyrophoriques. La génération de poussières ou de copeaux métalliques peut induire des feux métaux. Il est nécessaire de lubrifier les matériaux pour emporter les poussières au cours de leur usinage. De même, il est recommandé de ne pas attendre l'accumulation de copeaux dans le bac à copeau des machines, et il convient de les évacuer au fur et à mesure.

Le SEREX/LE2M rappelle également que les alliages revêtus à base de Chrome sont susceptibles de relarguer du Chrome-VI à partir de 900°C.

Les usinages usuellement mis en œuvre sont synthétisés dans le tableau à la fin de la section 3.

### 3.4 Exigences de fabrication à la charge du titulaire

Le titulaire devra respecter les exigences suivantes lors de la réalisation des usinages :

- **Exigence 0** : respect du contrôle dimensionnel et des tolérances quand mentionnées.
- **Exigence 1** : aucun polissage de la surface des éprouvettes par un abrasif n'est toléré, qu'il s'agisse d'enlever une oxydation de surface ou de reprendre un défaut d'usinage. Un nettoyage non agressif à l'eau ou à l'alcool est acceptable. En cas de présence d'un revêtement ou d'oxyde, celui-ci doit rester adhérent à la surface. Un écaillage localisé le long des arêtes de découpe dans la direction de l'épaisseur des tubes est acceptable si ses dimensions en surface ne dépassent pas quatre fois l'épaisseur de la couche.
- **Exigence 2** : respect du maintien de la température d'usinage à moins de 150°C, cela permet d'éviter le transport d'hydrogène et l'oxydation des surfaces ainsi que de limiter les transformations métallurgiques thermiquement activées (recristallisation, recuit).
- **Exigence 3** : lorsque les éprouvettes sont fragiles, utiliser des stratégies d'usinage qui limitent le risque de formation de fissures au niveau du trou de goupillage.

Si à la réception des éprouvettes, les exigences ci-dessus ne sont pas respectées, l'ASNR se réserve le droit de refuser la fourniture.

## 4 DESCRIPTION DES FOURNITURES

### 4.1 Fournitures SEREX/LE2M

Le SEREX/LE2M fournira les matériels et prestations suivantes :

- Matière (Zircaloy-4, M5<sub>Framatome</sub>....), telle que décrite au §3.3.
- Plans des éprouvettes à usiner.

Référence : PSN-RES/SEREX/2025-00115	<b>Usinage d'éprouvettes en alliage de zirconium</b>	Page : 14/14
Indice : 1		

## 4.2 Fournitures à la charge du titulaire

Le titulaire fournira les éprouvettes telles que décrites au § 3.3, les fiches de contrôles dimensionnels et tout autre document qu'il jugera nécessaire.

Les éprouvettes identifiées seront emballées individuellement pour éviter tout frottement entre elles.

## 5 RECEPTION

La réception sera prononcée à la réception de la fourniture définie au §4.2, de la validation des exigences du §3.4 et du bordereau de livraison.

## 6 ORGANISATION

### 6.1 Organisation du suivi au SEREX/LE2M

Un chargé d'affaires est désigné au SEREX/LE2M responsable de l'affaire. À ce titre, dans le cadre du marché, il est l'interlocuteur principal de l'ASNR pour les interfaces contractuelles avec le titulaire du marché. En son absence, cette responsabilité sera assurée par un suppléant désigné par le SEREX/LE2M.

Les interlocuteurs SEREX/LE2M pour cette affaire sont :

- Le chargé d'affaire : Severine GUILBERT 04 42 19 95 56 [severine.guilbert@asnr.fr](mailto:severine.guilbert@asnr.fr)
- Le chargé d'affaire suppléant Christine SARTORIS 04 42 19 96 51 [christine.sartoris@asnr.fr](mailto:christine.sartoris@asnr.fr)
- Le référent qualité : Raphaël LAMURE 04 42 19 95 77 [raphael.lamure@asnr.fr](mailto:raphael.lamure@asnr.fr)
- Le chef de laboratoire : Jacques DI SALVO 04 42 19 94 22 [jacques.disalvo@asnr.fr](mailto:jacques.disalvo@asnr.fr) ou son adjointe [christine.sartoris@asnr.fr](mailto:christine.sartoris@asnr.fr)
- Le correspondant achat : Sylvie Borrely 04 42 19 94 27 [sylvie.borrely@asnr.fr](mailto:sylvie.borrely@asnr.fr)

### 6.2 Organisation du titulaire

L'organisation mise en place pour gérer les relations avec le SEREX/LE2M devra être précisée dans l'offre.

Le titulaire devra désigner un chargé d'affaires qui sera l'interlocuteur unique du SEREX/LE2M.

Le rôle du chargé d'affaires est de veiller à la bonne exécution du marché selon les termes du contrat. Il a le devoir de rendre compte au chargé d'affaire SEREX/LE2M de l'avancement de la prestation et des difficultés éventuelles rencontrées.

En cas de changement, temporaire (absence) ou définitif, de celui-ci au cours de l'exécution du marché, le titulaire devra en informer aussitôt par écrit le chargé d'affaires SEREX/LE2M et le remplacer par une personne de même niveau de compétence et sans délai.