

## CAHIER DES CLAUSES TECHNIQUES PARTICULIERES (CCTP)

Réf : **CCTP\_ASNR 2025\_061\_3000088927**      Sensible : **Non**

**Objet :**      Prototypage et fabrication de fantômes d'étalonnage dédiés à la quantification de l'activité retenue dans des organes/tissus suite à une contamination interne pour le compte de l'ASNR.

**Documents associés :**

Nom et visa des rédacteurs :  PSE-SANTE/SDOS/LEDI: T. BEAUMONT	Nom et visa du vérificateur :  PSE-SANTE/SDOS/LEDI: E DAVESNE	Nom et visa de l'approbateur :  PSE-SANTE/SDOS: I CLAIRAND
---	---	--

## SOMMAIRE

CAHIER DES CLAUSES TECHNIQUES PARTICULIERES (CCTP) .....	1
1. PRÉSENTATION DE L'ASNR .....	3
2. OBJET ET CARACTÉRISTIQUES DU MARCHÉ .....	3
2.1. Objet du marché public .....	3
2.2. Type de contrat .....	3
3. CONTEXTE ET OBJECTIFS .....	3
3.1. Présentation des unités concernées .....	3
3.2. Objectifs .....	3
4. PRESTATIONS ATTENDUES .....	4
4.1. Périmètre des prestations .....	4
4.2. Détail des prestations .....	4
4.3. Exigences techniques .....	7
5. MODALITÉS D'EXÉCUTION, ORGANISATION ET SUIVI DES PRESTATIONS .....	7
6. ANNEXES : .....	9
6.1. Exigences techniques de post traitement .....	9
6.2. Modèles d'impression .....	10

## 1. PRÉSENTATION DE L'ASNR

L'Autorité de sûreté nucléaire et de radioprotection est une autorité administrative indépendante créée par la loi du 21 mai 2024 relative à l'organisation de la gouvernance de la sûreté nucléaire et de la radioprotection pour répondre au défi de la relance de la filière nucléaire. Elle assure, au nom de l'État, le contrôle des activités nucléaires civiles en France et remplit des missions d'expertise, de recherche, de formation et d'information des publics

Les informations sont disponibles sur le site [www.asnr.fr](http://www.asnr.fr).

## 2. OBJET ET CARACTÉRISTIQUES DU MARCHÉ

### 2.1. Objet du marché public

Le présent marché a pour objet l'exécution de prestations de prototypage et fabrication de fantômes d'étalonnage dédiés à la quantification de l'activité retenue dans des organes/tissus suite à une contamination interne pour le compte de l'ASNR.

### 2.2. Type de contrat

Le présent marché constitue un accord-cadre à bons de commandes monoattributaire passé en application des articles L. 2125-1-1°, R. 2162-2 alinéa 2, R. 2162-4 à R. 2162-6, R. 2162-13 et R. 2123-14 du Code de la commande publique.

## 3. CONTEXTE ET OBJECTIFS

### 3.1. Présentation des unités concernées

Le présent marché sera exécuté pour le compte du Service de Recherche en Dosimétrie (SDOS). Le Laboratoire d'Évaluation de la Dose Interne (LEDI) au sein du SDOS assure des missions de recherche et d'expertise visant à améliorer les outils et méthodes d'évaluation de la dose reçue par des travailleurs, patients, membres du public suite à une contamination interne par des radionucléides.

### 3.2. Objectifs

Les prestations s'inscrivent dans le cadre de travaux sur l'amélioration de la quantification de l'activité retenue dans des organes ou tissus. La justesse de la quantification de l'activité retenue est essentielle pour une évaluation précise de la dose reçue. Une quantification fiable repose sur l'utilisation d'objets d'étalonnage adaptés, appelés fantômes, contenant une quantité connue de radioactivité. Ces fantômes doivent répondre à un cahier des charges précis afin de :

- représenter au mieux l'anatomie humaine,
- simuler l'atténuation et la diffusion des rayonnements à l'intérieur du corps
- confiner parfaitement la radioactivité qu'ils contiennent.

Les prestations ont pour objectif de prototyper et de fabriquer des fantômes d'étalonnage développés par l'ASNR, visant à améliorer l'évaluation de l'activité retenue dans les organes et tissus et *in fine* l'estimation de la dose interne.

## 4. PRESTATIONS ATTENDUES

### 4.1. Périmètre des prestations

Les prestations de prototypage et de fabrication consistent en :

- Une aide à la conception et à la modélisation des pièces constitutives des fantômes ;
- Une fabrication à l'unité ou en petites séries selon le type de fantômes ;
- Une réalisation de l'usinage et de l'assemblage des pièces constitutives des fantômes ;
- Un conditionnement individuel des pièces constitutives des fantômes ;
- Une livraison.

### 4.2. Détail des prestations

Les prestations sont définies ci-après :

#### 4.2.1. Aide à la conception des pièces constitutives des fantômes

##### 4.2.1.1. Objectifs

L'aide à la conception a pour objectif de développer une modélisation finalisée du fantôme à partir de la modélisation non-aboutie de l'ASNR. Ce modèle « non-aboutie » est développé par la référente technique. Il intègre :

- une modélisation des différents volumes d'intérêt (organes, os ou tissus). Leurs formes et localisations respectives ne peuvent être modifiées afin de garantir la représentativité du fantôme final.
- une proposition sur les plans de coupes et toutes les solutions techniques garantissant :
  - l'étanchéité : gouttières pour le joint collé ;
  - le positionnement : ergots ;
  - le remplissage et le confinement : conduit qui sera fermée par une vis après le remplissage. Le filetage est réalisé par taraudage manuel après impression,
  - la stabilité du fantôme lors du remplissage : il ne doit pas être tenu à la main lors de cette étape pour éviter une irradiation de la personne réalisant cette action.

Cette modélisation « non aboutie » doit être finalisée par le Titulaire pour prendre en compte la rétractation des matériaux et les modifications de surface induites par les étapes de post-traitement (blanchiment, ponçage, etc..).

Le fantôme final peut être formé d'une partie recevant des inserts amovibles. Ce sont ces inserts qui contiendront de la radioactivité.

##### 4.2.1.2. Taches

- Support client et conseil relatifs à la modélisation de nouvelles pièces et aux procédés de fabrication envisageable.
- Réalisation d'un modèle 3D initial, à partir de la modélisation non-aboutie de l'ASNR :
  - Conseils techniques d'optimisation de la modélisation ;
  - Prise en compte des exigences garantissant l'étanchéité, le positionnement, le remplissage et la stabilité du modèle final ;
  - Prise en compte des post traitements.
- Travaux de mise au point et de finalisation du modèle 3D initial par itération avec l'ASNR:
  - Mise au point des jonctions d'assemblage et étanchéité ;
  - Mise au point des finitions de surface ;
  - Optimisation de l'impression (sens d'impression dépendant suivant les surfaces à encoller) ;
  - Conseils relatifs aux post traitements.

#### 4.2.1.3. Résultats et livrables attendus

- Fichiers de modélisation NURBS, MESH, (.3dm) mis au point et incluant toutes les étapes de modélisation ;
- Fichier de type « readme » sur les étapes et choix de modélisation en fonction notamment des caractéristiques intrinsèques aux matériaux ;
- Fichier d'impression (.stl) prêt pour la production ;
- Devis pour la réalisation et la fourniture des différents éléments de la pièce.

#### 4.2.1.4. Unité d'œuvre

Les prestations de conseil et d'aide à la modélisation sont chiffrées selon une unité d'œuvre UO\_MOD correspondant à un taux horaire HT (taux pour une heure de prestation).

### 4.2.2. Réalisation des pièces constitutives des fantômes

#### 4.2.2.1. Objectifs

Cette prestation a pour objectif la production des pièces constitutives des fantômes. Cette production concerne des fantômes ayant fait ou non l'objet d'une prestation d'aide à la conception.

#### 4.2.2.2. Tâches

- Production des pièces à l'état brut :
  - Impression 3D de la pièce selon les instructions de l'ASNR ;
  - Nettoyage de la pièce brute.
- Post traitements de production :
  - Polissage des pièces post impression éventuel ;
  - Traitements chimiques éventuels (alcool absolu, autres solvants) ;
  - Traitements de surface éventuels (blanchiment ...)
  - Contrôle qualité du nettoyage, des états de surfaces et finitions des pièces constitutives des fantômes sur le site de production ;
  - Livraison après conditionnement des pièces si pas de prestation d'usinage et d'assemblage.

#### 4.2.2.3. Résultats et livrables attendus

- Pièces produites, nettoyées et contrôlées sur le site de production.

#### 4.2.2.4. Unités d'œuvre de réalisation des pièces

UO\_REA\_1 : Unité d'œuvre par volume de 1 cm<sup>3</sup>

UO\_REA\_10 : Unité d'œuvre par volume de 10 cm<sup>3</sup>

UO\_REA\_100 : Unité d'œuvre par volume de 100 cm<sup>3</sup>

### 4.2.3. Réalisation de l'usinage et de l'assemblage des pièces constitutives des fantômes

#### 4.2.3.1. Objectifs

L'objectif de cette prestation est d'obtenir un fantôme prêt à l'emploi à partir des pièces imprimées.

#### 4.2.3.2. Tâches

- Usinage :
  - Filetage par taraudage manuel. L'ASNR fournira un mode opératoire en 3 étapes,
  - Nettoyage des pièces selon un mode opératoire qui sera fourni par l'ASNR.
- Assemblage :
  - Collage des inserts avec la colle dont la référence sera fournie par l'ASNR. L'ASNR fournira un mode opératoire.
- Contrôle qualité :
  - Test d'étanchéité des inserts.
- Livraison après conditionnement des pièces.

#### 4.2.3.3. Résultats et livrables attendus

- Fantôme clé en main directement utilisable.

#### 4.2.3.4. Unités d'œuvre de Post traitement des pièces

##### a) Unités d'œuvres obligatoires

Ces prestations sont à renseigner obligatoirement dans l'offre.

- UO\_TAR : Taraudage des pièces (forfaitaire par trou fileté)
- UO\_NET : Nettoyage de surface (Forfaitaire par surface à coller)
- UO\_COL : Collage des pièces avec vérification d'étanchéité (forfaitaire par assemblage de pièces comprenant les références des colles et éléments de fixations requis par l'ASNR)

##### b) Unité d'œuvres facultatives

Pourront être commandées les prestations complémentaires de post traitement définies selon des unités d'œuvre complémentaires, proposées à l'initiative du titulaire dans son offre, au titre des options facultatives en fonction des matériaux sélectionnés.

### 4.3. Exigences techniques

#### 4.3.1. Exigences relatives à la conception

L'ASNR utilise le logiciel de modélisation Rhinoceros® 3D<sup>1</sup> (version 7 SR13) tous les échanges de fichiers de modélisation (NURB, mesh) devront être dans un format natif à ce logiciel (.3dm).

Afin de faciliter le travail de modélisation et de mise au point, le Titulaire devra disposer de compétences avancées en modélisation avec le logiciel Rhinoceros 3D.

#### 4.3.2. Exigences relatives à la fabrication

Les procédés de fabrication sont de l'impression 3D de type industriel.

Les pièces à l'état brut seront produites selon les procédés retenus et validés par l'ASNR à savoir par défaut :

- Impression 3D selon la technologie PolyJet de la société Stratasys (ou équivalent) utilisant à minima les types de résines suivantes :
  - Résine VeroClear, finition brillante
  - Résine VeroWhitePlus, finition brillante et mat
  - Résine de support (FC705 ou équivalent)

Les pièces produites, dans l'état actuel de la modélisation, n'excèdent pas 294x192x148.6 mm<sup>3</sup>. L'épaisseur minimum de chaque couche doit être au maximum de quelques dizaines de micromètre selon les matériaux (10-50 µm). Une imprimante permettant une impression simultanée de plusieurs matériaux seraient fortement appréciés. La couleur de la résine VeroWhitePlus doit être blanche/beige. Concernant la résine VeroClear un fini translucide est demandé.

- Impression 3D selon la technologie DLP (ou équivalent) utilisant à minima les types de résines suivantes :
  - Matériau RG 3280 (céramique) avec post-traitement de durcissement au four. Les pièces produites, dans l'état actuel de la modélisation, n'excèdent pas 294x192x148.6 mm<sup>3</sup>. L'épaisseur minimum de chaque couche doit être au maximum de quelques dizaines de micromètre selon les matériaux (10-50 µm).
- D'autres procédés de fabrications pourront le cas échéant être envisageables à la demande de l'ASNR dans la conception et la réalisation de pièce objet du présent marché.

Le Titulaire pourrait proposer, dans le cadre de l'exécution du présent marché, d'autres procédés et/ou matériaux répondant aux besoins de l'ASNR. Notamment les résines RadioMatrix et BoneModels nouvellement sur le marché pourraient faciliter certaines étapes si elles permettent de simuler l'atténuation et la diffusion des rayonnements à l'intérieur du corps.

## 5. MODALITÉS D'EXÉCUTION, ORGANISATION ET SUIVI DES PRESTATIONS

#### 5.1.1. Lieu d'exécution des prestations

Les pièces seront produites, assemblées et conditionnées sur le site de production du titulaire.

Elles seront livrées sur le site de Fontenay aux Roses à l'adresse suivante :

ASNR - Laboratoire d'Évaluation de la Dose Interne (LEDI)  
 31 avenue de la division Leclerc  
 92262 Fontenay-aux-Roses Cedex

<sup>1</sup> <https://www.rhino3d.com/fr/>

### **5.1.2. Modalités de passation des bons de commande**

À la survenance de chaque besoin de l'ASNR, le Titulaire fournira dans un délai de 5 jours ouvrés une proposition technique et financière forfaitaire, comprenant à minima :

- Une synthèse du besoin exprimé par l'ASNR ;
- Le détail des prestations de modélisation à réaliser ;
- Le détail des prestations d'impression pièce par pièce (Technologie, matériau d'impression utilisé, finition) ;
- Le détail des prestations de post-traitement ;
- Les modalités particulières de livraison le cas échéant ;
- Le délai de réalisation et de livraison de l'ensemble.

### **5.1.3. Durée et calendrier d'exécution**

Les pièces seront livrées selon les modalités prévues dans chaque bon de commande et au plus tard selon les délais indiqués dans l'offre du Titulaire.

### **5.1.4. Vérifications et admission des prestations**

À partir de la date de livraison de chaque pièce sur le site de l'ASNR, l'ASNR dispose d'un délai de 30 jours pour notifier sa décision d'acceptation, d'ajournement ou de rejet des prestations.

Les vérifications porteront sur les spécifications commandées notamment sur la géométrie (dimensions et tolérances), l'état de surface, la qualité du post-traitement, vérification de l'étanchéité des assemblages collés, la composition et les propriétés mécaniques de l'ensemble.

En cas d'ajournement de tout ou partie des prestations, le Titulaire est tenu de reprendre à ses frais et risques l'élément des prestations Objet de l'ajournement.

Le délai dont dispose le Titulaire pour effectuer les éventuelles mises au point, délai de livraison compris, est de 10 jours calendaires à compter de la notification au titulaire de la décision d'ajournement.

Dans le cas d'un défaut mineur de type post-traitement ce délai est réduit à 5 jours ouvrés.

### **5.1.5. Garantie de continuité de service**

Les pièces sont garanties à minima un an contre tout vice de fabrication apparent ou non.

### **5.1.6. Réunions périodiques**

Des réunions seront organisées périodiquement pour assurer le suivi des prestations. La périodicité des réunions sera définie au cours de la réunion de démarrage.

### **5.1.7. Interlocuteurs**

Le Titulaire désignera un interlocuteur technique de manière à faciliter les échanges dans le cadre de l'exécution du présent marché.

Les interlocuteurs ASNR sont désignés dans l'acte d'engagement. Toute modification sera notifiée au Titulaire.



## 6. ANNEXES :

### 6.1. Exigences techniques de post traitement

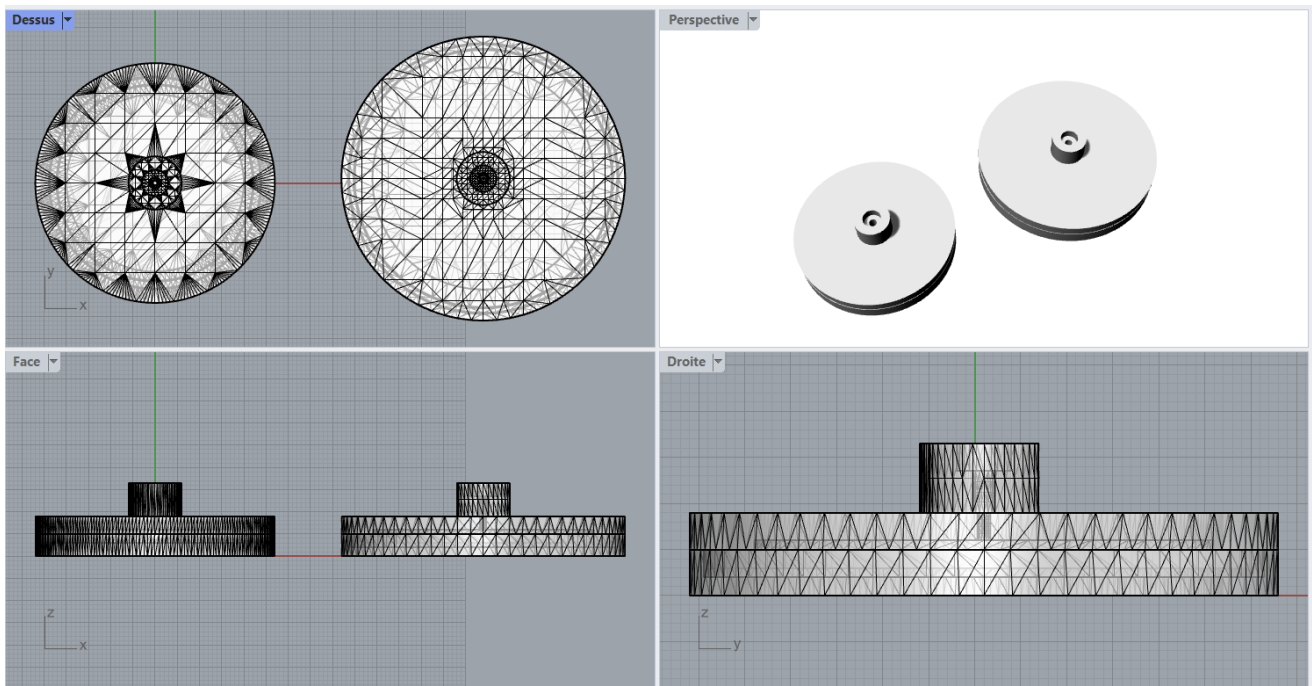
- **Usinage : UO\_TAR : Taraudage des pièces (forfaitaire par trou fileté)**
  - Filetage par taraudage manuel :
    - Le taraudage est une opération qui consiste à usiner un pas de vis à l'intérieur d'un conduit lisse. Pour chaque boîte, un conduit doit être taraudé manuellement à l'aide d'un tourne-à-gauche.
    - Trois tarauds ; de type M4, doivent être utilisés successivement : ébaucheur, intermédiaire, finisseur
  - Utilisation d'air comprimé pour dégrossir le nettoyage et enlever le maximum de résidu du taraudage.
  -
- **Nettoyage : UO\_NET : Nettoyage de surface (Forfaitaire par surface à coller)**
  - Nettoyage complet des surfaces extérieurs et du volume intérieur,
    - Utilisation d'alcool absolu et de papier de type Kimtech™ (Lingettes à faible peluchage, à haute absorbance et chimiquement inertes pour des tâches délicates)
    - Ce nettoyage a pour but de préparer les surfaces avant l'opération de collage.
  - Séchage des pièces pendant 12h avant de passer à la phase d'assemblage.
- **Assemblage et contrôle qualité : UO\_COL : Collage des pièces avec vérification d'étanchéité (forfaitaire par assemblage de pièces comprenant les références des colles et éléments de fixations requis par l'ASNR)**
  - Collage des boîtes avec la colle ;
    - Deux gouttières ont été modélisées entre la partie haute et la partie basse de la boîte. Remplir la partie femelle de la gouttière de colle pour réaliser un joint scellé, cela permet d'assurer l'étanchéité de l'insert et de connecter les deux parties.
    - La colle devant être utilisée est une colle Araldite® 20251, colle méthacrylate.
    - L'excédent de la colle doit être immédiatement retirer avec de l'alcool absolu et des lingettes de type Kimtech™
  - Séchage
    - Pour garantir une pression constante et homogène de part et d'autre de la boîte durant le séchage, des serre-joints doivent être utilisés
    - Le temps de séchage de la colle est de 12 h au minimum.
  - Le contrôle qualité consiste à passer un test d'étanchéité à chacune des boîtes :
    - Pesé de chacune des boîtes à vide, avec vis et joint,
    - Remplir les boîtes de solution colorée,
    - Pesé de chacune des boîtes remplis et fermés avec les vis et joint,
    - Placer les boîtes à l'envers, sur du papier buvard pendant 24h,
    - Vérifier qu'aucune trace de fuite n'est visible sur le papier buvard,
    - Réaliser une pesée pour constater aucune perte de matière.

## 6.2. Modèles d'impression

Les modèles d'impression sont des boîtes cylindriques de type boîte de Pétri.

Les fichiers imprimables (\*.stl) sont :

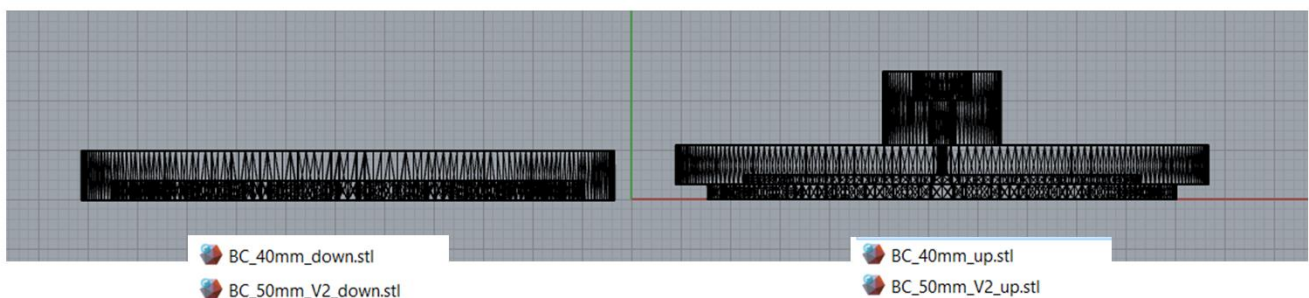
- Boîte de 40 mm
  - o BC\_40mm\_down.stl
  - o BC\_40mm\_up.stl
- Boîte de 50 mm \*
  - o BC\_50mm\_V2\_down.stl
  - o BC\_50mm\_V2\_up.stl



La technologie d'impression demandée est la technologie PolyJet, avec la résine VeroClear, en finition glossy avec un rendu translucide.

Le matériau de support est le FC705 ou équivalent.

Le sens d'impression est imposé. Les surfaces avec gouttière, qui seront par la suite encollées, doivent être placées sur la planche d'impression pour avoir un fini mat, comme illustré ci-dessous.



Chaque pièce doit ensuite être nettoyer au WaterJet (retirer le matériau de support) et blanchit sous lampe UV avant de passer aux étapes de post-traitement.