

Fontenay-aux-Roses, le 7 mai 2019

Monsieur le Directeur de l'Autorité de Sûreté nucléaire

Avis IRSN/2019-00097

**Objet :** Avis de l'IRSN sur les réponses apportées par le LOA aux réserves concernant son dossier de demande d'autorisation d'utiliser dans les locaux de l'ENSTA (91) un accélérateur laser-plasma, émettant des rayonnements X à une énergie maximale de 25 MeV

**Réf.** 1. Lettre ASN CODEP-PRS-2019-016000 - SAISI-PRS-2019-0073 du 08/04/2019.  
2. Avis IRSN/2018-00083 du 30 mars 2018.

Par lettre citée en référence [1], vous avez demandé l'avis de l'IRSN sur la recevabilité des réponses apportées par le Laboratoire d'Optique Appliquée (LOA) aux réserves émises dans l'avis de l'IRSN en référence [2].

Le LOA est une unité mixte de recherche du CNRS, sous tutelle de l'Ecole Nationale Supérieure des Techniques Avancées (ENSTA) et de l'école Polytechnique.

Son dossier de demande d'autorisation portait sur l'utilisation d'une installation mettant en œuvre un accélérateur laser plasma. L'objectif de ce projet est de mettre en œuvre une alternative aux appareils émetteurs de rayonnements ionisants utilisés dans le domaine du contrôle non destructif. Les caractéristiques de l'émission sont les suivantes : un faisceau d'électrons, produit suite à l'interaction d'un laser intense avec une cible gazeuse, interagit avec une cible de conversion et entraîne l'émission de rayonnements X, dont l'énergie peut être ajustée entre quelques centaines de keV et 25 MeV. Le mode d'émission est pulsé (une centaine de femtosecondes par impulsion), avec un angle d'ouverture du faisceau d'environ 10°. Le débit d'équivalent de dose dans le faisceau à 1 mètre de la cible est estimé par l'exploitant à 6 Gy/min.

Le prototype sera installé dans une casemate déjà existante (cf. figure 1) sur le site de l'ENSTA, à Palaiseau (91). Cette casemate a fait l'objet de modifications pour l'adapter à l'utilisation du nouvel appareil.

Adresse Courrier  
BP 17  
92262 Fontenay-aux-Roses  
Cedex France

Siège social  
31, av. de la Division Leclerc  
92260 Fontenay-aux-Roses

Standard +33 (0)1 58 35 88 88

RCS Nanterre 8 440 546 018

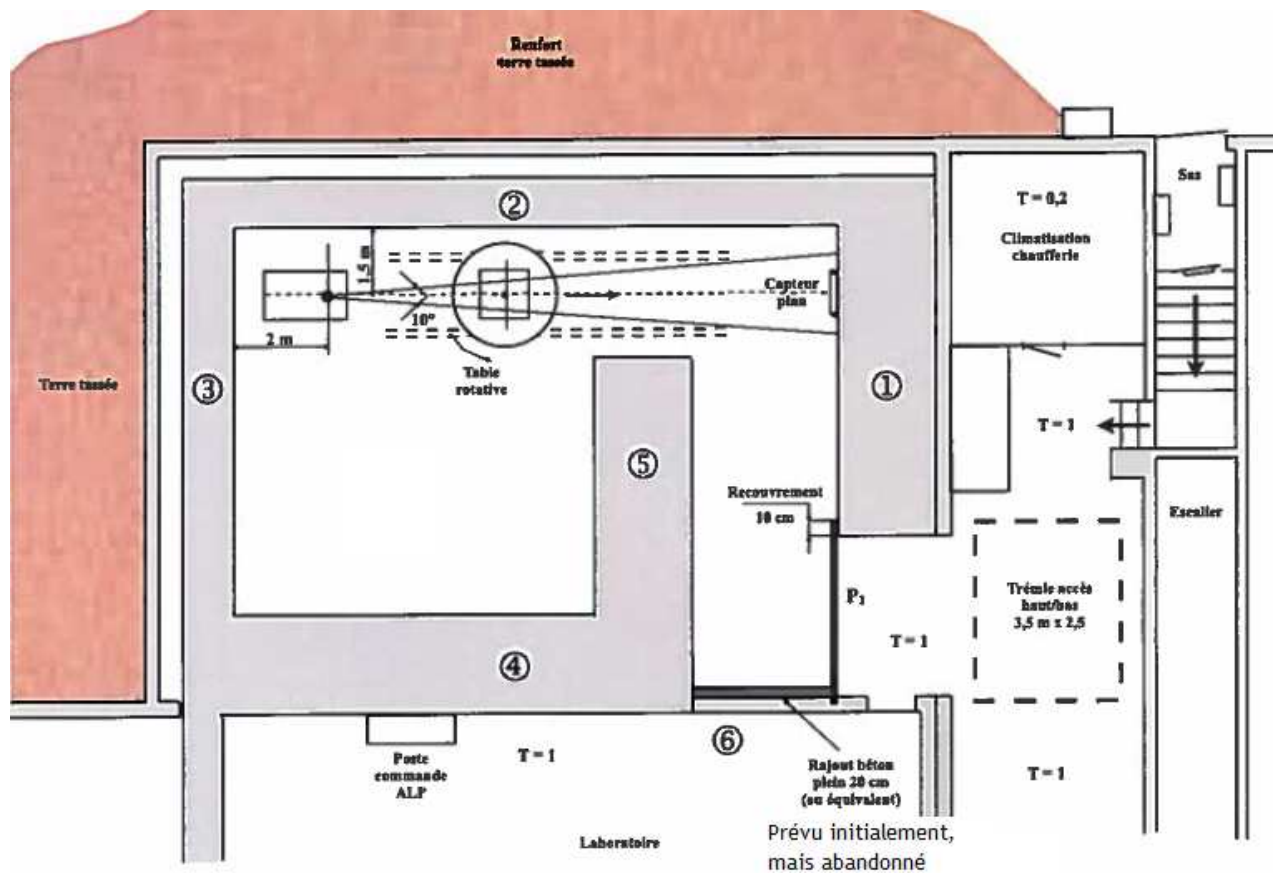


Figure 1 - Plan de la casemate et des locaux adjacents

L'installation sera exploitée par la société SourceLAB, une start-up fondée par des doctorants issus du LOA pour l'application industrielle de la technologie d'accélérateur plasma, découverte dans le laboratoire, et sa commercialisation. Les premiers tests de l'appareil seront réalisés pour une énergie des particules émises de quelques MeV et seront suivis d'une montée en puissance progressive.

Vous aviez demandé en 2018 l'avis de l'IRSN sur le dossier de demande d'autorisation déposé par le LOA. Votre demande portait en particulier sur la conformité de l'installation à la norme NF M 62-105 (ou à des dispositions équivalentes) et sur la conformité de l'évaluation des risques et des protections radiologiques mises en place.

L'analyse réalisée par l'IRSN des dispositions prévues par l'exploitant pour la maîtrise des risques radiologiques avait donné lieu à différentes réserves. La première avait conduit l'IRSN à émettre un avis défavorable vis-à-vis de la délivrance de l'autorisation, l'IRSN ayant en effet estimé que l'étude de dimensionnement n'était pas suffisamment robuste et ne permettait pas de conclure que les protections radiologiques envisagées seraient suffisantes. Vous trouverez ci-après un rappel de ces réserves, les réponses apportées par l'exploitant ainsi que l'analyse réalisée par l'IRSN de ces réponses.

Réserve n°1 : *demande de réalisation d'une nouvelle étude de dimensionnement de la casemate, tenant compte du risque radiologique dû aux rayonnements X et aux neutrons dans les locaux adjacents et intégrant les éléments non pris en compte dans la première étude (pièce radiographiée, panneau de détection, protections de plomb dans la chicane, discontinuités dans le dimensionnement etc.).*

L'exploitant a réalisé une nouvelle étude de dimensionnement à l'aide du code de calcul FLUKA (code de type Monte Carlo développé par le CERN et l'INFN de Milan). Ce code permet de modéliser une géométrie et une source de rayonnements ionisants, puis de simuler le transport et l'interaction des rayonnements émis par la source et des rayonnements secondaires avec les matériaux environnants. **L'IRSN estime que ce code de calcul est adapté à la modélisation d'un terme source et d'une géométrie complexes. Son utilisation dans le cadre de ce dossier est satisfaisante.**

Cette nouvelle étude prend en compte les rayonnements X, les électrons ainsi que les neutrons secondaires produits lors de l'interaction des rayonnements X avec les matériaux. **L'IRSN estime que ceci est satisfaisant.**

La géométrie modélisée par l'exploitant prend en compte l'ensemble des éléments présents (enceinte d'interaction en aluminium, pièce radiographiée, panneau de détection, cloisons de plomb et de polyéthylène dans la chicane, renforcement de 20 cm de béton ajouté au mur 4 etc.), ainsi que les discontinuités du dimensionnement. **L'IRSN estime que la modélisation de la géométrie présentée par l'exploitant est satisfaisante.**

L'exploitant indique avoir pris en compte dans ses calculs des conditions d'irradiation plus réalistes (auparavant, fonctionnement de l'appareil envisagé 70 % du temps de travail annuel). Ces conditions sont les suivantes : 10 tirs par seconde pendant 1 heure entière (36 000 tirs par heure), une charge par tir de 1 nC (pour 500 pC maximum attendu normalement), 3 heures de tirs en continu quotidien, sur 5 jours ouvrés par semaine. **En cas d'évolution de l'un des paramètres (fréquence ou durée des tirs, charge par tir), l'IRSN estime que l'exploitant devra démontrer que le dimensionnement des protections radiologiques de l'installation tel que défini actuellement reste valable pour ces nouvelles conditions.**

Pour ce qui concerne les résultats obtenus par l'exploitant à l'issue de ses calculs, l'IRSN note que la prise en compte des éléments mentionnés ci-avant a eu pour effet de réduire les débits d'équivalent de dose estimés dans les locaux adjacents, par rapport à ceux estimés par l'exploitant dans le cadre de sa première étude. La figure 2 ci-après présente la cartographie du débit d'équivalent de dose (en  $\mu\text{Sv/h}$ ) réalisée par l'exploitant dans la casemate et dans les locaux adjacents, pendant le fonctionnement de l'appareil.

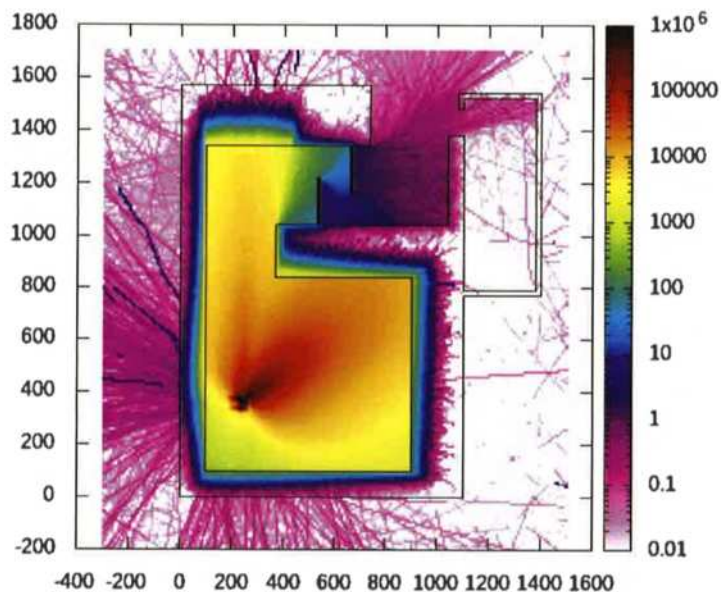


Figure 2 - Cartographie du DeD (en  $\mu\text{Sv/h}$ ) dans la casemate et les locaux adjacents

L'exploitant indique que les locaux adjacents ne feront pas l'objet d'un classement radiologique (le débit d'équivalent de dose maximal estimé dans ces locaux étant de  $0,07 \mu\text{Sv/h}$ ), à l'exception de la salle de climatisation-chaufferie, qui sera classée en zone surveillée (le débit d'équivalent de dose maximal estimé dans cette salle étant de  $1,7 \mu\text{Sv/h}$ ). L'IRSN estime que la délimitation des zones envisagée par l'exploitant dans son installation est satisfaisante au regard de la démarche de réduction des risques (principe ALARA) et des valeurs de débit d'équivalent de dose estimées par calcul.

En conclusion, l'IRSN estime que la nouvelle étude de dimensionnement présentée par l'exploitant est satisfaisante.

Réserve n°2 : demande de rebouchage des deux traversées cylindriques présentes dans le plafond de la casemate, au niveau de la chicane, afin d'assurer une protection radiologique continue.

L'exploitant indique que ces traversées seront rebouchées avant la mise en service de l'accélérateur. L'IRSN estime que ceci est satisfaisant.

Réserve n°3 : le classement prévu pour la salle de climatisation-chaufferie n'étant pas cohérent avec les valeurs de débit d'équivalent de dose estimées dans cette salle, demande d'un renforcement du mur 1 ou, à défaut, compte tenu de la nature du local et de sa faible fréquentation, un classement en zone surveillé, sous réserve de la mise en place de conditions d'accès et d'une signalisation adaptée.

cf. paragraphe 1.

Réserve n° 4 : *pas d'entreposage de matériaux (en particulier avec des numéros atomiques élevés) sur la trajectoire des électrons déviés par l'aimant dipôle, afin de limiter la production de rayonnements X de freinage produits lors de l'interaction des électrons résiduels avec ces matériaux.*

L'exploitant s'engage à ce qu'aucun matériau de numéro atomique élevé ne soit stocké ou placé dans la zone susceptible d'être impactée par le faisceau d'électrons dévié par l'aimant dipôle. **Afin de formaliser cet engagement, l'IRSN estime que l'exploitant devrait ajouter ce point dans ses procédures.**

Réserve n° 5 : *dans le cadre d'un régime dérogatoire, envisagé pour l'accès à la casemate lors d'opérations de réglage ou de maintenance alors que le laser est en marche, demande de limiter la puissance du faisceau laser (interdisant de fait l'ouverture du shutter) et de couper le flux de gaz, afin d'éviter toute génération d'électrons dans la salle en présence de personnel.*

L'exploitant propose de positionner deux contacts secs sur les deux obturateurs du laser. De plus, en mode maintenance, si les obturateurs du laser sont indiqués comme ouverts, le gaz se coupe automatiquement, ce qui empêche l'émission de rayonnements. **L'IRSN estime que la proposition de l'exploitant est satisfaisante.**

Réserve n° 6 : *intégration de la balise de surveillance du débit d'équivalent de dose dans la casemate au système de sécurité d'accès du local, conformément aux préconisations de la norme NF M 62-105.*

L'exploitant indique ne pas avoir fait l'acquisition d'une telle balise, l'idée étant d'emprunter la balise d'un laboratoire voisin pendant les premières phases de test, tout en l'intégrant au système de sécurité d'accès.

L'IRSN rappelle que, selon la norme NF M 62-105, la présence d'une balise installée à demeure dans la casemate est obligatoire lorsque l'installation est classée au niveau 3. Ce niveau correspond à un risque d'activation non limité aux équipements, susceptible de concerner également les objets irradiés. L'IRSN avait estimé précédemment que, sans autre précision de la part de l'exploitant, l'installation devrait être considérée de niveau 3. Les résultats obtenus par l'exploitant à l'issue de sa nouvelle étude d'activation (cf. paragraphe 7) montrent que cette installation pourrait dans certaines conditions être classée à un niveau inférieur. Cependant, l'IRSN estime que le risque d'activation des objets irradiés subsistera et qu'il convient, avant le démarrage de la phase de test, d'équiper la casemate d'une balise de surveillance reliée à la sécurité.

Réserve n° 7 : *demande de réaliser des mesures lors des phases de test, en priorité au niveau des objets irradiés et du panneau de détection, en raison de leur composition et de leur positionnement dans le faisceau, afin d'estimer leur niveau d'activation.*

Comme pour la nouvelle étude de dimensionnement, l'exploitant a utilisé le code de calcul FLUKA pour estimer dans la casemate le débit d'équivalent de dose lié à l'activation des matériaux par les neutrons secondaires. Ces neutrons sont produits lors de l'interaction des rayonnements X avec les matériaux environnants. Les calculs ont été réalisés en fonction du temps écoulé après l'arrêt de l'émission.

Les éléments pris en compte par l'exploitant sont les suivants : l'enceinte d'interaction en aluminium, la cible de tantale, l'objet irradié en acier ainsi que son manipulateur mécanique, en acier également, le panneau de détection, composé d'un coffrage de protection en acier et en plomb, les protections de plomb dans la chicane, les murs de béton et l'air ambiant.

Les conditions d'irradiation prises en compte sont les suivantes : durée d'irradiation d'1 heure, à une cadence de 10 tirs par seconde (36 000 tirs), charge de 1 nC par tir et temps de refroidissement (temps écoulé depuis l'arrêt de l'émission) de 0 seconde, 5 minutes, 15 minutes et 1 heure.

L'exploitant a, dans un premier temps, déterminé la liste des radionucléides créés dans les éléments listés ci-avant, puis a estimé les activités associées à chacun des radionucléides créés. Il a ensuite déterminé le débit d'équivalent de dose dans la casemate, lié à la présence de ces radionucléides. L'exploitant indique que, 5 minutes après la séquence de tir, le débit d'équivalent de dose est inférieur à 0,01  $\mu\text{Sv/h}$  dans l'ensemble de la casemate.

**L'IRSN estime que la démarche suivie par l'exploitant pour évaluer les débits d'équivalent de dose liés à l'activation neutronique des matériaux présents dans la casemate, une fois l'émission terminée, est pertinente. Le code de calcul utilisé permet en effet de modéliser le terme source, de simuler la production des neutrons secondaires, de déterminer la liste des radionucléides créés dans les différents matériaux présents ainsi que leur activité, et enfin de déterminer le débit d'équivalent de dose engendré par cette activation en différents points. L'IRSN remarque également que l'exploitant a pris en compte dans son étude l'ensemble des matériaux présents dans la casemate pouvant présenter un risque d'activation, ce qui est satisfaisant.**

L'IRSN note que les valeurs de débit d'équivalent de dose dues à l'activation calculées par l'exploitant sont très faibles. Elles seront vérifiées pendant la phase de test, l'exploitant se proposant de réaliser des mesures au niveau des éléments présentant un risque d'activation. Les résultats de ces mesures permettront de confirmer les valeurs déterminées à l'aide du code de calcul et, le cas échéant, de revoir le zonage mis en place dans la casemate, la temporisation d'accès ainsi que les procédures d'accès et d'intervention dans la casemate.

## Conclusion

Compte tenu des réponses apportées par l'exploitant, l'IRSN n'a plus d'objection quant à l'utilisation dans les locaux de l'ENSTA d'un accélérateur laser-plasma émettant des rayonnements X à une énergie maximale de 25 MeV, sous réserve de la mise en place d'une balise de surveillance dans la casemate, intégrée au système de sécurité d'accès, préalablement au démarrage des tests.

Pour le directeur général, par délégation

Philippe DUBIAU

Chef du Service d'études et d'expertise en radioprotection