

ASNR
Monsieur le Directeur de la DTS

Fontenay-aux-Roses, le 2 juillet 2025

Avis d'expertise n° 2025-00071

Objet : Société PHOTONIS France SAS – Site de Brive la Gaillarde (19)

Références : [1] Lettre ASN CODEP- DTS-2024-024195 du 7 mai 2024.
[2] Formulaire de demande d'autorisation initiale (AUTO/IND/AC) du 14/02/2024.
[3] Dossier de demande d'autorisation initiale.

1. INTRODUCTION

Dans la lettre citée en référence [1], l'Autorité de Sûreté Nucléaire (ASN) a demandé l'avis de l'Institut de Radioprotection et de Sûreté Nucléaire (IRSN)¹ sur le dossier de demande de modification d'autorisation transmis par la société PHOTONIS France SAS pour son établissement de Brive la Gaillarde (19). En effet, par courrier cité en référence [2], la société PHOTONIS France SAS a demandé une autorisation initiale, pour la détention et l'utilisation d'un prototype de neutronographe (accélérateur de particules deutérium-deutérium) à bas flux de type DD110M de la société ADELPHI à des fins d'imagerie et de recherche et développement.

L'objectif de cette installation est de développer et optimiser le système de radiographie NEUTRONIS mis en œuvre lors des essais réalisés durant la phase préliminaire du programme aux Etats-Unis. Pour cela, le générateur de neutron sera transféré de Sturbridge au site de Brive la Gaillarde et implanté de manière fixe dans la casemate du laboratoire neutronique.

La demande de l'ASN concerne les points suivants :

- l'adéquation du dimensionnement des protections radiologiques mises en place au niveau de l'accélérateur et du pupitre de contrôle, de la zone technique et des abords extérieurs immédiats de la casemate ;
- les sécurités associées aux accès à la casemate de l'accélérateur, au local technique et au local de contrôle ;
- l'identification des produits issus des réactions nucléaires, notamment ceux issus de l'irradiation et de l'activation créée, afin de définir le plus précisément possible le terme source des rejets ;
- la prise en compte du risque de dissémination et les systèmes de traitement d'air prévus ou à envisager (ventilation, filtration, éventuel système de compression des gaz) et les taux de fuite des locaux ;
- l'évaluation de la dose efficace des travailleurs selon la définition de l'annexe 13-7 du code de la santé publique, comprenant l'ensemble des voies d'exposition des travailleurs en fonction de la totalité des sources de rayonnements ionisants auxquelles ils sont exposés (par irradiation et par exposition aux produits des réactions nucléaires y compris les produits d'activation) ;
- la cohérence de la délimitation des zones réglementées établie en fonction des activités nucléaires concernées.

¹ Depuis le 1^{er} janvier 2025, l'Autorité de Sûreté Nucléaire et l'Institut de Radioprotection et de Sûreté Nucléaire ont fusionné dans une même structure, à savoir l'Autorité de Sûreté Nucléaire et de Radioprotection (ASNR). L'entité ASNR à l'origine de la saisine est la Direction du Transport et des Sources (DTS) et celle chargée de l'expertise et de rendre un avis est le Service d'études et d'Expertise en Radioprotection (SER). Ce dernier est rattaché à la Direction de la Recherche et de l'Expertise en Santé (DRES).

L'expertise du SER est basée sur le dossier transmis par la société PHOTONIS France SAS pour sa demande de l'autorisation initiale [3], ainsi que sur les échanges avec l'exploitant au cours de l'expertise technique.

2. EVALUATION DE LA MAITRISE DES RISQUES RADIOLOGIQUE

2.1. DIMENSIONNEMENT DE LA CASEMATE

L'objectif de l'exploitant est de ne pas délimiter de zone radiologique dans les locaux attenants à la casemate (locaux technique et de contrôle) et autour du bâtiment lorsque le générateur est en fonctionnement.

Dans sa configuration actuelle, le neutronographe permet la production d'un flux neutronique de $2,76.10^{10}$ n/s. Pour ses calculs de dimensionnement, l'exploitant a pris comme hypothèse un flux neutronique de $1,66.10^{11}$ n/s. Cette valeur correspond au flux neutronique qu'il souhaite atteindre lors des futurs travaux de développement en collaboration entre Adelphi et PHOTONIS ($8,23.10^{10}$ n/s) à laquelle a été appliqué un facteur correctif de deux issu du retour d'expérience des campagnes de mesures du site de Sturbridge aux Etats-unis.

Le SER estime satisfaisante la démarche de l'exploitant visant à s'assurer de la cohérence entre la campagne de mesures réalisée sur site de Sturbridge et la modélisation numérique. Cependant, le SER souligne l'absence de calcul de dimensionnement pour le flux de neutrons réellement fourni par le générateur. Il en est de même pour l'étude d'activation et l'évaluation de la contamination atmosphérique.

Pour ce qui concerne la composition du béton, l'exploitant a choisi de modéliser le béton par un unique volume d'un mètre d'épaisseur, et d'utiliser une composition de béton standard (absence de la modélisation des fibres de béton ainsi que des armatures métalliques). Le SER souligne que l'impact de cette hypothèse est difficilement quantifiable. Par ailleurs, le SER note l'absence de connaissance de l'exploitant sur le type de béton utilisé et rappelle que la composition exacte de ce dernier (en particulier sa teneur en hydrogène) peut avoir, pour ce type d'installation, un impact important sur les valeurs de débit d'équivalent de dose derrière les protections radiologiques.

Pour les évaluations de dose, l'exploitant a utilisé les coefficients de conversion de dose efficace (E) présentée dans la CIPR 116. Pour rappel, la dose efficace (E) est une grandeur de protection qui n'est pas mesurable. Le SER considère que, pour réaliser des calculs de dimensionnement, il est nécessaire d'utiliser une grandeur opérationnelle ($H^*(10)$ par exemple), et ce afin de pouvoir comparer les résultats des calculs avec les mesures sur site. A ce titre, **le SER considère que PHOTONIS devra utiliser, pour ses évaluations de dose, les coefficients de conversion de la CIPR 74 relatifs à l'équivalent de dose ambiant $H^*(10)$.**

Pour ce qui concerne la fiabilité des résultats des calculs du dimensionnement produits par l'exploitant, le SER confirme la difficile convergence des valeurs de débit d'équivalent de dose au niveau de certains points de calcul, notamment pour les points situés à l'extérieur du bâtiment, au niveau de la source de neutrons, ainsi qu'au niveau de la chicane et dans la galerie de contrôle, face à la source de neutrons. Pour autant, le SER constate que l'exploitant ne s'inscrit pas dans une démarche de réduction des incertitudes sur la valeur du débit d'équivalent de dose notamment pour les points derrière la porte d'accès à la casemate, dans la galerie technique, au niveau de la source et à l'extérieur du bâtiment, derrière la source de neutrons.

Pour ce qui concerne les dépassements constatés dans les locaux attenants à la casemate, les résultats des contre-calculs effectués montre que, dans les conditions d'utilisation du générateur avec le flux maximal envisagé, le dimensionnement de la casemate ne permet pas de garantir l'absence de zone délimitée dans les locaux adjacents. En effet, ces contre-calculs mettent en évidence un dépassement du débit d'équivalent de dose par rapport à l'objectif fixé au niveau de la galerie technique et du toit terrasse.

En tout état de cause, dans la mesure où le générateur ne fournira pas, dans un premier temps, le flux de neutrons demandé, le SER considère que l'exploitant devra démontrer que le dimensionnement de la casemate est suffisant au regard du flux de neutrons réellement fourni par le générateur. **Ce point fait l'objet de la recommandation n°1 formulée en annexe au présent avis.**

2.2. DISPOSITIFS DE SECURITE

Dans le dossier transmis, l'exploitant indique que les dispositifs de sécurité mis en place doivent avoir pour objectif d'éviter la présence d'une personne dans la casemate lors du fonctionnement du générateur et pendant la phase de décroissance des produits d'activation créés par le générateur. La chaîne de sécurité interdit donc toute ouverture de la porte de la casemate lorsque le générateur est en cours de fonctionnement et tout fonctionnement du générateur si la porte de la casemate est ouverte.

Suite à l'expertise des dispositions retenues par l'exploitant, le SER note que la défaillance d'une des trois balises d'irradiation gamma, permettant de mesurer en continu le rayonnement gamma à l'intérieur de la casemate et d'en conditionner l'entrée, ne provoquera pas le blocage de la porte et n'empêchera pas d'effectuer le tir. Le SER considère que ceci n'est pas satisfaisant. **Ce point fait l'objet de la recommandation n°2 formulée en annexe au présent avis.**

Pour ce qui concerne les informations relatives aux conditions d'accès à la casemate, l'exploitant a prévu l'installation d'une signalisation lumineuse de type gyrophare au-dessus de la porte d'entrée de la casemate :

- éteint : portes ouvertes, débit d'équivalent de dose (DED) inférieur au seuil des balises gamma, générateur désarmé ;
- allumé fixe : portes fermées par la ronde ou temporisation ou DED supérieur au seuil de balises gamma et générateur en tension ;
- allumé clignotant : générateur en tir.

Le SER constate que, pour cette signalisation lumineuse, d'une part l'accès autorisé n'est pas clairement identifié, d'autre part la distinction entre l'accès interdit et l'accès autorisé n'est pas explicite. **Aussi, le SER estime que l'exploitant devrait mettre en place une signalisation lumineuse dépendante de l'état de fonctionnement du générateur, indiquant clairement si l'accès à la casemate est autorisé ou interdit.**

Pour ce qui concerne des signalisations autres que la signalisation d'accès, l'exploitant a prévu d'installation de deux colonnes lumineuses identiques, dépendantes du débit de dose mesuré par les sondes gamma, à l'extérieur de la porte d'accès à la casemate et au pupitre de commande. L'affichage de ces colonnes est le suivant :

- vert : DED renvoyé par les trois balises gamma inférieur au seuil ;
- rouge : DED renvoyé par une des trois balises gamma supérieur au seuil ;
- orange : dysfonctionnement d'une des trois balises.

Le SER considère que la configuration proposée par PHOTONIS présente un risque de confusion, notamment lors du déplacement d'un échantillon vers l'armoire de décroissance pouvant générer un dépassement de seuil de la balise de la chicane qui renverra une signalisation rouge. Cette signalisation rouge semble incohérente avec un accès autorisé. **Le SER estime que la signalisation liée aux balises devrait privilégier un affichage numérique des valeurs de débit de dose mesurées par celles-ci.**

2.3. ETUDE DE L'ACTIVATION

Les matériaux présents dans la casemate (composants du générateur, objets irradiés, protections radiologiques etc.) sont irradiés par des neutrons lors du fonctionnement du générateur, ce qui conduit à leur activation neutronique. Les rayonnements émis par les radionucléides ainsi créés contribuent au débit d'équivalent de dose dans la casemate après l'arrêt de l'émission.

Les compositions isotopiques des matériaux, après irradiation et décroissance, ont été estimées par l'exploitant à l'aide du code de calcul MCNP 6 et de la librairie Python PeriodicTable. Cette dernière s'appuie sur le formulaire développé par le National Institute of Standards and Technology (NIST).

Le SER note que l'exploitant n'a pas fourni, dans son dossier et lors de l'expertise, de note de qualification du formulaire NIST. Ceci n'est pas satisfaisant.

Pour ce qui concerne les résultats des calculs d'activation réalisés par l'exploitant, comparés aux contre-calculs réalisés au cours de l'expertise, pour l'activation des matériaux de structure après 1 600 h de fonctionnement et

23 min de décroissance, il ressort que l'activité totale des matériaux activés est sous-estimée d'un facteur d'environ deux par l'exploitant. Les écarts observés s'expliquent par l'utilisation du formulaire NIST qui présente une méthode simplifiée et des données de sections efficaces plus anciennes que celles utilisées par le SER.

Pour ce qui concerne les résultats des calculs de DED associées à l'activation des matériaux de structure après 1 600 h d'irradiation et 23 min de décroissance, il convient de noter que la valeur du DED calculée par le SER est environ trois fois supérieure à celle de l'exploitant. A cet égard, de manière générale, le SER note les fortes incertitudes associées à l'utilisation du formulaire NIST.

Compte tenu de ces éléments, le SER considère que des calculs de débit d'équivalent de dose associé à l'activation des matériaux composant la casemate et le générateur devront être réalisées par l'exploitant en utilisant une méthode de calcul d'activation qualifiée, afin de réduire les fortes incertitudes liées à l'utilisation du formulaire NIST. **Ce point fait l'objet de la recommandation n°3 formulée en annexe au présent avis.**

Pour ce qui concerne l'activation des échantillons, l'exploitant a utilisé la même méthode que pour l'activation des matériaux de structure. Il a étudié les conséquences de l'activation d'1 g de chaque élément de la table de Mendeleïev, de l'hydrogène au bismuth, en tenant compte de l'emplacement prévu des échantillons. Le SER estime que cette approche est satisfaisante, les résultats restants entachés des fortes incertitudes liées à l'utilisation du formulaire NIST.

Aussi, le SER considère que des études de l'activation des échantillons devront être réalisées en utilisant une méthode de calcul d'activation des matériaux qualifiée, afin de réduire les fortes incertitudes liées à l'utilisation du formulaire NIST. **Ce point fait l'objet de la recommandation n°4 formulée en annexe au présent avis.**

Par ailleurs, **le SER estime que l'exploitant devrait préciser, dans ces procédures d'exploitation, les matériaux présentant les plus fortes probabilités d'activation (avec des débits de dose associés).**

Pour ce qui concerne l'armoire de décroissance des éléments activés dans la casemate, le SER constate que l'exploitant n'a pas présenté de calculs de débits d'équivalents de dose due à sa présence. **Ceci n'est pas satisfaisant. Ce point fait l'objet de la recommandation n°5 formulée en annexe au présent avis.**

2.4. ZONAGE RADIOLOGIQUE

Pour ce qui concerne la délimitation des zones en cours d'émission, l'exploitant a défini une zone contrôlée jaune pour la quasi-totalité de la casemate associée à une zone contrôlée rouge qui se limite à un mètre autour des parois du blindage du générateur et du trajet des neutrons. **Le SER estime que la casemate devrait être entièrement classée en zone contrôlée rouge lors du fonctionnement du générateur, en cohérence avec les sécurités d'accès retenues.**

Pour ce qui concerne la délimitation des zones hors émission, avec le capotage du générateur fermé, l'exploitant a défini une zone contrôlée verte en casemate et une zone contrôlée jaune à l'intérieur du blindage du générateur et jusqu'à 10 cm autour du blindage. Compte tenu, d'une part du caractère très pénalisant des hypothèses de calcul, d'autre part des fortes incertitudes associées aux évaluations de risque radiologique effectuées par l'exploitant, **le SER estime que la distance de délimitation de la zone contrôlée jaune autour du capotage devrait être justifiée par des calculs réalistes.**

Concernant la zone non délimitée dans les locaux adjacents, le SER rappelle la recommandation n°5 concernant la présence de l'armoire de décroissance des éléments activés. **Le SER estime que l'exploitant devrait prendre en compte la présence de cette armoire pour démontrer le respect de la zone non délimitée au niveau de la porte d'accès à la casemate en prenant en compte, de manière conservatrice, le cas où la porte d'accès à la casemate est ouverte, la porte de l'armoire de décroissance est ouverte et l'armoire a un taux de remplissage maximum.**

2.5. ETUDES DES POSTES DES TRAVAIL

L'exploitant a défini quatre postes de travail : la neutronographie des échantillons, les vérifications de radioprotection, la maintenance du générateur et les essais de développement. Les activités liées à ces postes

de travail sont toutes réalisées dans la casemate lorsque le générateur n'émet pas de neutrons. Le risque radiologique est associé à un risque d'irradiation externe par des pièces activées et de contamination interne par inhalation de l'air activé. L'évaluation des postes de travail se base sur les résultats de calculs qui ont été considérés comme sous-évalués par le SER (cf. paragraphe 2.3 du présent avis) et ont fait l'objet des recommandations n°3 et n°4 formulées en annexe au présent avis. Il convient également de noter que l'évaluation des postes de travail ne prend pas en compte les éléments présents dans l'armoire de décroissance, qui fait l'objet de la recommandation n°5 formulée en annexe au présent avis. Le SER considère que l'exploitant devra réaliser des évaluations de l'exposition aux rayonnements ionisants aux postes de travail en se basant sur les résultats des calculs de l'activation des matériaux composant la casemate et le générateur et en prenant en compte les résultats des études de l'activation des échantillons et les éléments présents dans l'armoire de décroissance des éléments activés. **Ce point fait l'objet de la recommandation n°6 formulée en annexe au présent avis.**

2.6. SURVEILLANCE

L'exploitant a prévu d'implanter des dosimètres à lecture différée dans les locaux adjacents à la casemate, a minima dans la zone bureau et dans le local technique et à l'extérieur du bâtiment laboratoire neutronique, a minima dans l'axe de la face arrière du générateur. **Le SER estime que l'exploitant devrait s'assurer que les équipements de surveillance sont adaptés à la mesure des neutrons.**

Pour le Directeur de la Direction de la recherche et de
l'expertise en santé,
le chef du Service d'études et d'Expertise en
Radioprotection

Marc PULTIER

Annexe 1

Recommandations

Recommandation n° 1

Le SER recommande que l'exploitant démontre que le dimensionnement de la casemate est suffisant au regard du flux de neutrons réellement fourni par le générateur, en utilisant notamment, pour ses évaluations de dose, les coefficients de conversion de la CIPR 74 relatifs à l'équivalent de dose ambiant $H^*(10)$.

Recommandation n° 2

Le SER recommande que l'exploitant revoie la chaîne de sécurité du générateur pour s'assurer que la défaillance de la balise n°2 positionnée plus près des matériaux susceptibles d'être activés conduira à arrêter le générateur.

Recommandation n° 3

Le SER recommande que l'exploitant réalise des calculs de débit d'équivalent de dose associé à l'activation des matériaux composant la casemate et le générateur en utilisant une méthode de calcul d'activation qualifiée.

Recommandation n° 4

Le SER recommande que l'exploitant réalise des études de l'activation des échantillons en utilisant une méthode de calcul d'activation qualifiée.

Recommandation n° 5

Le SER recommande que l'exploitant prenne en compte dans ses calculs de débits d'équivalents de dose la présence de l'armoire de décroissance des éléments activés.

Recommandation n° 6

Le SER recommande que l'exploitant réalise des évaluations de l'exposition aux rayonnements ionisants aux postes de travail en se basant sur les résultats des calculs de l'activation des matériaux composant la casemate et le générateur et en prenant en compte les résultats des études de l'activation des échantillons et les éléments présents dans l'armoire de décroissance des éléments activés.