



RÉPUBLIQUE
FRANÇAISE

Liberté
Égalité
Fraternité

IRSN
INSTITUT DE RADIOPROTECTION
ET DE SÛRETÉ NUCLÉAIRE

Fontenay-aux-Roses, le 8 août 2022

Monsieur le Président de l'Autorité de sûreté nucléaire

AVIS IRSN N° 2022-00174

Objet : Evaluation de l'impact radiologique des rejets à l'atmosphère présentée par l'IPHC à Strasbourg

Réf. : [1] Saisine ASN SAISI-DTS-ANNEE-0155 et lettre CODEP-DTS-2022-029498 du 17 juin 2022

Dans le cadre de l'autorisation d'exercer une activité nucléaire délivrée par l'ASN, l'Institut Pluridisciplinaire Hubert Curien de Strasbourg - IPHC (ci-après dénommé « l'exploitant ») - est autorisé¹ à fabriquer les radionucléides F-18, Cu-64, Cu-67, Zr-89, Tc-99m, In-111 et Ga-68 sous forme de sources radioactives non scellées, à l'aide d'un cyclotron d'une installation dénommée Cyrcé. L'autorisation actuelle arrivant à échéance le 27/10/2022, l'exploitant a soumis à l'Autorité de sûreté nucléaire (ASN) une nouvelle étude d'impact en date du 6 avril 2022 en vue du renouvellement de cette autorisation. Par votre demande citée en référence [1], vous avez souhaité que l'IRSN examine la méthodologie d'évaluation appliquée par l'exploitant, les hypothèses retenues et les résultats obtenus et, le cas échéant, que l'IRSN procède à une comparaison du résultat de ses propres calculs avec ceux de l'exploitant.

Le résultat de l'analyse du dossier de l'IPHC et les contre-calculs de l'IRSN sont présentés ci-après.

1. ETUDE DE L'EXPLOITANT

1.1. LE TERME SOURCE

L'autorisation délivrée par l'ASN stipule que l'IPHC peut fabriquer, détenir et utiliser à des fins de fabrication et de distribution sous forme de produits radiochimiques ou radiopharmaceutiques les radionucléides F-18, Cu-64, Cu-67, Zr-89, Tc-99m, In-111 et Ga-68. L'autorisation mentionne également qu'il est autorisé à rejeter des effluents radioactifs à l'atmosphère dans la limite de 10 GBq pour des radionucléides de période inférieure à 100 jours (ce qui comprend l'ensemble des radionucléides précités).

¹ Décision n°CODEP-DTS-2021-050990 du 29/11/2021.

MEMBRE DE
ETSON

L'exploitant prend en compte une durée de fonctionnement de son cyclotron de 8 heures en journée et deux régimes annuels de fonctionnement :

- un régime normal de 125 journées de tir ;
- un régime maximal de 200 journées de tir.

Sur la base de son retour d'expérience, l'exploitant évalue le rejet à 3,5 MBq par heure de fonctionnement, soit 28 MBq par journée de tir. Cette hypothèse, projetée sur un an pour les régimes de fonctionnement normal et maximal, conduit à des rejets annuels totaux de 3,5 et 5,6 GBq respectivement alors que la limite de rejets actuelle est de 10 GBq.

Les calculs présentés dans ce dossier sont réalisés pour la valeur de rejet maximale de 5,6 GBq par an, basée sur le retour d'expérience du fonctionnement de l'installation. L'IRSN estime que la limite de rejet dans l'autorisation devra tenir compte de cette nouvelle valeur. Si l'exploitant souhaite toutefois conserver une autorisation de rejet de 10 GBq/an, il devra réaliser une évaluation de l'impact correspondant à cette valeur. (Recommandation n°1)

Les radionucléides que l'exploitant considère comme susceptibles d'être rejetés à l'atmosphère sont le F-18² et les C-11 et N-13 issus de l'activation de l'air. Il considère en effet que les éléments métalliques (Zr, Cu, Ga...) ne sont pas volatils, propriété confirmée par l'absence de détection de radioactivité par le système de ventilation lors de la synthèse d'isotopes de ces éléments. L'IRSN observe néanmoins que l'exploitant ne justifie pas l'exclusion du Tc-99m et de l'In-111 de la liste des radionucléides susceptibles d'être rejetés à l'atmosphère.

L'exploitant, pour simplifier ses calculs, assimile tous ses rejets à du F-18 sous forme d'aérosols, au motif que sa dose par unité d'incorporation (DPUI) par inhalation est la plus pénalisante parmi les radionucléides qu'il a considérés. Bien que cela soit exact pour les radionucléides retenus par l'exploitant, l'IRSN relève cependant qu'assimiler tous les radionucléides rejetés à un seul au motif de sa DPUI inhalation la plus élevée n'est correct qu'à partir du moment où la démonstration de la contribution négligeable des autres voies d'atteinte est apportée ; démonstration que l'exploitant n'a pas présentée.

Pour ce qui concerne les autres radionucléides potentiellement présents dans les rejets, une analyse préliminaire de l'IRSN menée sur leur impact radiologique (détaillée dans la partie « contre-calculs de l'IRSN ») montre qu'il serait vraisemblablement du même ordre de grandeur que celui du F-18. Cela étant, l'IRSN considère que ce point devrait être confirmé par l'exploitant sur la base d'une évaluation d'impact radiologique complète, prenant en compte l'ensemble des radionucléides susceptibles d'être rejetés par l'installation.

L'exploitant a par ailleurs choisi le type d'absorption pulmonaire S, qui fournit les DPUI les plus élevées pour le public exposé à du fluor rejeté. L'IRSN observe que ce choix de la forme conduisant aux doses les plus élevées est satisfaisant en l'absence d'information sur la forme physico-chimique du rejet réel de fluor et en l'absence de recommandation de type d'absorption pulmonaire dans l'arrêté du 1^{er} septembre 2003.

L'IRSN estime que l'exploitant devra, à l'occasion de la prochaine mise à jour de son étude d'impact, justifier complètement le spectre des radionucléides rejetés et fournir les bases de leur quantification, notamment pour les sous-produits de fabrication C-11 et N-13. L'exploitant devra par ailleurs justifier du caractère majorant de l'assimilation des rejets à la seule forme aérosols du F-18. (Recommandation n°2)

1.2. LES VOIES D'EXPOSITION

L'exploitant considère l'exposition par irradiation et inhalation du panache, ainsi que par irradiation consécutivement au dépôt. Il ne considère pas l'exposition par ingestion, d'une part au motif qu'il n'y a pas de

² L'exploitant fait l'hypothèse que le F-18 est rejeté sous forme d'aérosols, suite aux recombinaisons de sa forme gazeuse le long du parcours jusqu'à l'émissaire de rejet

zone d'activités agricoles dans les zones retenues (cf. ci-après), et d'autre part parce que les périodes radioactives des radionucléides potentiellement rejetés sont au maximum de 2 h.

L'IRSN est en accord avec l'exploitant sur ce point. Cependant, l'IRSN estime que son argumentation devrait être plus étayée, d'une part parce que la distance entre la bordure du champ le plus proche de l'établissement (à l'ouest) et l'émissaire est de 300 m, d'autre part parce que l'exploitant doit s'interroger sur la possibilité d'existence de jardins potagers dans l'habitat résidentiel environnant, même si les premières habitations individuelles sont à 410 m. En effet, un examen des photographies aériennes laisse supposer la possibilité de jardins ouvriers le long des petits bâtiments d'habitat collectif rue Louis Néel, soit à 240 m au sud-sud-ouest de l'émissaire. Par ailleurs, l'argument de la période radioactive de 2 h des radionucléides rejetés pour ne pas considérer l'exposition par ingestion ne vaut qu'à la condition d'une démonstration probante de l'absence dans les rejets des autres radionucléides autorisés à la fabrication dans l'IPHC et dont la période peut être très supérieure à 2 h (61,83 h pour Cu-67, 78,41 h pour Zr-89, 2,8 j pour In-111 par exemple). L'IRSN note par ailleurs que l'exploitant n'indique pas la vitesse de dépôt sec retenue pour le F-18.

A l'occasion de la prochaine mise à jour de son étude d'impact, l'exploitant devrait justifier les voies d'atteintes retenues dans son étude d'impact en regard des radionucléides autorisés et des caractéristiques de l'environnement. (Observation n°1)

L'exploitant réalise ses calculs pour un rejet correspondant à une journée de tir, et une durée d'exposition de 8 heures. L'IRSN observe que la durée d'exposition quotidienne correspond à la durée de tir et n'intègre pas l'exposition au dépôt dans les quelques heures qui suivent la fin du tir, qui apporte certainement une contribution non négligeable à la dose externe par irradiation du dépôt.

Ce point devrait être revu lors de la prochaine mise à jour de l'étude d'impact, en considérant une durée d'exposition cohérente avec la présence de radionucléides dans l'environnement. (Observation n°2)

1.3. LE MODELE DE DISPERSION ATMOSPHERIQUE

L'exploitant se sert du code de calcul DOSIMEX et utilise un modèle gaussien de dispersion atmosphérique, au motif d'une orographie plate des environs (un profil altimétrique selon une direction est présenté) et de la hauteur des bâtiments voisins.

L'IRSN estime que l'exploitant aurait dû davantage justifier ce choix de modèle au regard de l'environnement immédiat. L'IRSN a vérifié que le terrain est effectivement plat au moins jusqu'à 2000 m autour de l'émissaire, mais n'a pas examiné en détail la hauteur des bâtiments voisins. Toutefois, les bâtiments dans un rayon de 200 m environ et dont les points les plus proches de l'émissaire sont à 100 m environ (Lycée Charles de Foucauld, IUT Louis Pasteur, Institut franco-allemand de recherche sur l'environnement, bâtiments du CNRS), semblent être des bâtiments scolaires/universitaires et/ou des laboratoires de recherche qui ne sont pas de grande hauteur³, malgré des extensions surfaciques conséquentes pour certains d'entre eux. Un seul bâtiment à moins de 300 m de l'émissaire est de hauteur importante ; il s'agit du bâtiment de l'établissement nommé CNRS Délégation Alsace à 220 m au sud-est de l'émissaire, de section 30 x 15 m² environ et comportant 7 étages. Les premiers bâtiments de hauteur significatives (8 étages) sont au sud et à 300 m de l'émissaire.

L'IRSN estime que les caractéristiques du sol et du bâti dans les environs de l'émissaire permettent d'accepter l'utilisation d'un modèle gaussien de dispersion atmosphérique.

1.4. LES PERSONNES EXPOSEES

L'exploitant considère deux zones pour l'évaluation de l'exposition des personnes :

³ Tout au plus 2 à 3 étages, d'après une promenade virtuelle avec l'application Google Street View autour de l'IPHC, le 20 mai 2022.

- une première zone de 50 à 150 m, avec des travailleurs ou des étudiants adultes ; dans ce cas, le rejet est pris au sol ;
- une seconde zone de 200 à 400 m, avec des adultes, adolescents et nourrissons (l'exploitant indique qu'il n'y a pas d'école élémentaire dans cette zone) ; dans ce cas le rejet est à l'altitude de 10 m ;

L'IRSN estime que l'exploitant devrait justifier des raisons de considérer deux zones eu égard à l'occupation de l'espace dans les environs de l'émissaire, et argumenter de prendre deux hauteurs différentes pour le même rejet. L'IRSN note que parmi les travailleurs et les étudiants de la première zone, l'exploitant ne considère que des adultes, alors qu'il pourrait y avoir des adolescents puisque la clôture du lycée Charles de Foucauld est à 100 m de l'émissaire. De même dans la seconde zone, l'IRSN note la présence d'habitat collectif justifiant que toutes les classes d'âge soient envisagées.

L'exploitant indique par ailleurs que certaines zones n'ont pas été considérées (Mittelhausbergen, Oberhausbergen...), en raison de la très faible densité de population aux abords du site. L'IRSN relève que la réglementation ne prévoit pas que la densité de population entre en compte dans les évaluations d'impact radiologique des rejets.

A l'occasion de la prochaine mise à jour de son étude d'impact, l'exploitant devrait revoir l'identification des personnes représentatives (localisation et classe d'âge), en considérant notamment les personnes présentes dans les zones peu habitées et justifier le choix de hauteur de rejet retenu dans ses évaluations. (Observation n°3)

Les tirs ont lieu pendant la journée, et l'exploitant considère que les personnes exposées sont présentes tous les jours de tir :

- travailleurs présents à leur poste pendant 8 heures par jour pour la première zone ;
- résidents présents en permanence ou jeunes adultes de l'institut universitaire de technologie ou du lycée Charles de Foucauld présents 8 heures par jour dans leur établissement.

L'exploitant retient les débits respiratoires de la publication 66 de la Commission internationale de protection radiologique (CIPR) et les DPUI de l'arrêté du 1^{er} septembre 2003 pour calculer la dose interne par inhalation.

L'IRSN observe que l'exploitant a retenu, pour le travailleur adulte de la première zone, la DPUI de F-18 applicable aux travailleurs exposés (tableau 3.1 de l'arrêté) alors qu'il aurait dû prendre la valeur pour l'adulte de la population générale (tableau 1.2 de l'arrêté). (Observation n°4)

L'exploitant retient les coefficients de dose du rapport Federal Guidance 12 pour le calcul des doses externes par irradiation du panache et du dépôt.

L'IRSN signale que de nouvelles publications de coefficients de dose externe ont récemment paru (rapport Federal Guidance 15, publication 144 de la CIPR) qui pourront être utilisées lors de la prochaine mise à jour de l'étude d'impact. (Observation n°5)

1.5. LES CONDITIONS METEOROLOGIQUES

L'exploitant présente une image d'une rose des vents pour la commune de Reichstett. L'exploitant indique que la moyenne de vitesse du vent sur 20 ans est $3,5 \text{ m.s}^{-1}$. L'exploitant considère une pluviométrie de 1 mm.h^{-1} , qu'il affirme pénalisante, pour avoir réalisé une étude de sensibilité sur ce paramètre qui montre que les doses sont les plus élevées pour cette valeur d'intensité de pluie. Le calendrier de l'expertise n'a pas permis à l'IRSN de demander l'accès à cette étude de sensibilité, ce qui est regrettable dans la mesure où la modélisation simple du dépôt humide généralement retenue dans les modèles conduit à ce que le dépôt (et consécutivement l'exposition au dépôt) est une fonction croissante de l'intensité de la pluie, toutes choses égales par ailleurs.

L'IRSN estime que l'exploitant aurait dû justifier plus en détail l'origine des données météorologiques, leur pertinence pour son site, présenter les valeurs numériques des fréquences d'occurrence des vitesses de vent par secteur, condition de stabilité de l'atmosphère et d'occurrence de pluie. L'IRSN estime toutefois acceptable de

prendre des données météorologiques établies sur la commune de Reichstett, située à environ 5 km au nord-est de l'émissaire selon un profil altimétrique ne variant pas de plus de ± 7 m.

A l'occasion de la prochaine mise à jour de son étude d'impact, l'exploitant devrait justifier de la pertinence des données météorologiques retenues. (Observation n°6)

1.6. LE CALCUL DE LA DOSE EFFICACE ANNUELLE

L'exploitant évalue l'exposition annuelle des personnes en multipliant l'exposition due à une journée de tir du cyclotron par le nombre de jours annuel d'exploitation.

L'IRSN observe que le mode de calcul de l'exploitant revient à ne considérer qu'une seule condition météorologique, en l'occurrence une condition moyenne qui n'est pas une condition pénalisante quand bien même le mode de calcul revient à lui affecter une fréquence maximale de 1. L'IRSN note que l'exploitant ne démontre pas le caractère enveloppe de l'évaluation de l'exposition avec ce mode de calcul.

Les doses efficaces annuelles évaluées par l'exploitant pour le régime maximal (5,6 GBq rejeté par an) sont de 3,25 μSv pour le travailleur à 50 m de l'émissaire et de 0,27 μSv pour les personnes exposées à 200 m de l'émissaire (avec une très faible dépendance à la classe d'âge).

2. CONTRE-CALCULS DE L'IRSN

L'IRSN a utilisé le code CONDOR 3.1.8⁴, avec un modèle de panache gaussien pour la dispersion atmosphérique selon les écarts-type de Doury, et postule une hauteur de rejet au sol. Ceci paraît raisonnable dans la mesure où le terrain avoisinant est plat et où la densité et la hauteur du bâti à proximité de l'émissaire ne sont pas de nature à remettre en question le caractère prudent d'une modélisation gaussienne avec rejet au sol.

En l'absence de données de la part de l'exploitant relatives au spectre des radionucléides réellement rejetés, l'IRSN a réalisé ses contre-calculs en se basant sur l'hypothèse du seul rejet de fluor. Le rejet annuel considéré est de 10 GBq de F-18 (soit la limite autorisée), à débit continu et constant. En l'absence d'information sur la forme physicochimique du F-18 rejeté, l'IRSN considère la forme aérosol avec un type d'absorption pulmonaire S (DPUI les plus élevées des différentes formes physicochimiques du F-18).

Les conditions météorologiques retenues sont celles de la station Météo France de Strasbourg Entzheim pour la période 1986-2006 (mesures de vitesse et direction du vent à 10 m du sol). Cette station est située à 8,2 km au sud-ouest de l'émissaire (en bordure nord-est de l'aéroport de Strasbourg Entzheim), selon un terrain plat. Les vents calmes (0,3 % des vents de vitesse inférieure à 1,5 $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$) ont été équirépartis sur les directions de la classe de vitesse de vent la plus faible. Les données météorologiques sont pour toutes conditions de stabilité et de précipitations confondues. Dans ce cas de connaissance insuffisante des conditions météorologiques, des distributions par défaut des occurrences des deux conditions possibles de stabilité de l'atmosphère selon Doury et des occurrences de pluie sont utilisées ; il s'agit de moyennes représentatives françaises. Les données météorologiques consultées ne fournissant pas d'information quant à la pluviométrie, l'intensité retenue de la pluie est la valeur par défaut raisonnablement pénalisante de 2 $\text{mm}\cdot\text{h}^{-1}$ (soit 1000 $\text{mm}\cdot\text{an}^{-1}$ sur 500 $\text{h}\cdot\text{an}^{-1}$). La vitesse de dépôt sec est 0,005 $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$, valeur habituelle retenue par défaut pour le dépôt des aérosols en l'absence d'éléments complémentaires.

Les voies d'atteinte sont l'exposition externe au panache et aux dépôts et l'exposition interne par inhalation ; pour le F-18, l'exposition par ingestion sera négligeable compte tenu de sa période de 2 heures.

Les doses efficaces annuelles pour la limite autorisée (10 GBq) sont de 1,2 μSv pour un adulte à 50 m de l'émissaire et de 0,15 μSv pour les personnes exposées à 200 m de l'émissaire (très faible dépendance à la classe

⁴ Code de calcul développé par l'IRSN aux fins de l'évaluation des impacts radiologiques.

d'âge) ; la voie d'exposition par irradiation du panache prévaut largement et la voie d'exposition par ingestion est complètement négligeable.

A titre indicatif, le même calcul à 50 m pour une activité rejetée de 10 GBq conduit à :

- 0,9 µSv avec du Cu-64, dont 0,45 µSv pour l'ingestion ;
- 2,8 µSv avec du Cu-67, dont 0,6 µSv pour l'ingestion ;
- 27 µSv avec du Zr-89, dont 0,9 µSv pour l'ingestion ;
- 0,3 µSv avec du Tc-99m, dont 0,01 µSv pour l'ingestion ;
- 8 µSv avec de l'In-111, dont 0,3 µSv pour l'ingestion ;
- 0,8 µSv avec du Ga-68 (avec une dose par ingestion négligeable).

Comme déjà mentionné plus haut, l'IRSN estime, sur la base de ces résultats pour d'autres radionucléides que le F-18, qu'un calcul avec un terme source complet conduirait vraisemblablement au même ordre de grandeur de doses que le calcul pour un rejet de F-18 seul. Néanmoins, ce point devrait être confirmé par l'exploitant lors de la prochaine mise à jour de l'étude d'impact en prenant en compte l'ensemble des radionucléides susceptibles d'être rejetés par l'installation (voir Recommandation n°2).

Les doses calculées par l'IRSN en considérant un rejet de F-18 sont nettement inférieures à celles calculées par l'exploitant, d'un facteur 3 environ à 50 m et d'un facteur 2 environ à 200 m ; ceci alors que le terme source de l'IRSN est le double de celui de l'exploitant et que le calcul à 200 m est fait par l'IRSN avec un rejet au sol alors que l'exploitant a rejeté à 10 m pour cette distance. L'essentiel de ces écarts tient à ce que l'exploitant ne considère implicitement qu'une direction de vent pour emporter son rejet (fréquence de 1 pour cette direction). Or les directions prédominantes (20°, 40°, 180°, 200°) de la rose des vents et pour lesquelles le calcul de l'IRSN donne les maximums sont précisément des directions de fréquence annuelle 10% environ chacune.

3. CONCLUSION

A partir de l'analyse du dossier d'étude d'impact présenté par l'IPHC et des calculs qu'il a réalisés par ailleurs, l'IRSN retient que :

- la dose efficace annuelle reçue par la population vivant à proximité de l'installation, dans le cadre d'un rejet normal de 10 GBq/an des radionucléides actuellement autorisés, est effectivement très faible ;
- la méthodologie de l'étude présentée par l'exploitant (hypothèses, éléments de démonstration, justifications...) est perfectible.

L'IRSN estime que la recommandation appelant la mise en cohérence des hypothèses du calcul de dose avec le niveau de rejets soumis à autorisation (recommandation n°1, Annexe 1) devrait être suivie d'effet dans le cadre de l'instruction de la présente demande d'autorisation. Bien que souhaitable, la prise en compte de la recommandation n°2 (annexe 1) et des observations figurant à l'annexe 2 peut attendre la prochaine actualisation de l'étude d'impact.

IRSN

Le Directeur général

Par délégation

Michel BAUDRY

Adjoint au directeur de l'environnement

ANNEXE 1 A L'AVIS IRSN N° 2022-00174 DU 08 AOUT 2022

Recommandations de l'IRSN

Recommandation n°1

Les calculs présentés dans le dossier de l'exploitant sont réalisés pour la valeur de rejet maximale de 5,6 GBq par an, basée sur le retour d'expérience du fonctionnement de l'installation. L'IRSN estime que la limite de rejet dans l'autorisation devra tenir compte de cette nouvelle valeur. Si l'exploitant souhaite toutefois conserver une autorisation de rejet de 10 GBq/an, il devra réaliser une évaluation de l'impact correspondant à cette valeur.

Recommandation n°2

L'IRSN estime que l'exploitant devra, à l'occasion de la prochaine mise à jour de son étude d'impact, justifier complètement le spectre des radionucléides rejetés et fournir les bases de leur quantification, notamment pour les sous-produits de fabrication C-11 et N-13. L'exploitant devra par ailleurs justifier du caractère majorant de l'assimilation des rejets à la seule forme aérosols du F-18.

ANNEXE 2 A L'AVIS IRSN N° 2022-00174 DU 08 AOUT 2022

Observations de l'IRSN

À l'occasion de la prochaine édition de son étude d'impact, l'IRSN recommande que l'exploitant évalue l'impact de son installation en :

- justifiant les voies d'atteinte retenues dans son étude d'impact en regard des radionucléides autorisés et des caractéristiques de l'environnement ;
- considérant une durée d'exposition cohérente avec la présence des radionucléides dans l'environnement ;
- recherchant la personne représentative y compris dans des zones peu habitées ;
- justifiant le choix de hauteur de rejet retenu dans ses évaluations ;
- justifiant de la pertinence des données météorologiques retenues et de leur usage pour garantir une évaluation prudente ;
- utilisant les coefficients de dose par exposition externe, par immersion dans de l'air contaminé et par présence sur un sol contaminé, les plus récents et les plus conformes à l'état de l'art.