



RÉPUBLIQUE
FRANÇAISE

Liberté
Égalité
Fraternité

IRSN
INSTITUT DE RADIOPROTECTION
ET DE SÛRETÉ NUCLÉAIRE

Fontenay aux Roses, le 16 juillet 2021

Le Directeur Général de l'autorité de sûreté nucléaire

AVIS IRSN N° 2021-00134

Objet : Annule et remplace l'Avis IRSN N°2021-00122 - Etude d'impact radiologique présentée par le GIP ARRONAX pour son établissement situé à Saint-Herblain (44)

Réf. : Lettre ASN CODEP-DTS-2019-048222 du 29 novembre 2019

L'installation Arronax (Accélérateur pour la recherche en radiochimie et oncologie situé à Saint-Herblain, en périphérie de Nantes) est composée d'un accélérateur de particules capable de délivrer plusieurs types de particules (alpha, protons, deutons) à des énergies cinétiques pouvant aller jusqu'à 70 MeV. Huit lignes de faisceaux disposées en étoile autour du cyclotron sont utilisables pour des expériences et la production de radioisotopes. Ces derniers sont utilisés principalement pour la recherche en imagerie médicale ou le traitement des cancers.

En 2019, à l'occasion de la demande de renouvellement de l'autorisation de rejet, l'exploitant a déposé deux études consolidées : l'étude d'impact pour le fonctionnement normal mise à jour au cours de l'instruction suite à la réévaluation des activités rejetées et aux questions soulevées par l'IRSN ainsi que l'évaluation des conséquences radiologiques pour les situations accidentelles.

Par lettre citée en référence, l'ASN a sollicité l'avis de l'IRSN sur l'évaluation de l'impact sanitaire radiologique de l'installation Arronax consolidée en fonctionnement normal et l'évaluation des conséquences radiologiques en situations accidentelles. L'ASN souhaite, en particulier, recueillir l'avis de l'IRSN sur la méthodologie appliquée et les hypothèses retenues ainsi que sur les résultats de calcul de l'exploitant ; par ailleurs, l'ASN demande que l'IRSN complète son analyse des modélisations de l'exploitant au regard de sa propre estimation de l'impact sanitaire associé aux rejets de l'installation.

De cette analyse et des calculs réalisés, l'IRSN retient les principaux éléments exposés ci-après¹.

¹ Les recommandations, indexées par la lettre R, et les observations, indexées par la lettre O, sont rappelées en annexe du présent avis.

MEMBRE DE
ETSON

1. PERTINENCE DE LA METHODOLOGIE APPLIQUEE, DES HYPOTHESES RETENUES PAR L'EXPLOITANT POUR LE FONCTIONNEMENT NORMAL DE L'INSTALLATION ET RESULTATS

Nature et conditions de rejet

L'exploitant suppose que les radionucléides produits par l'installation, à savoir ^7Be , ^{11}C , ^{13}N , ^{16}N , ^{15}O et ^{35}S , sont rejetées sous forme particulaire avec un diamètre aérodynamique médian en activité (DAMA) de $1\ \mu\text{m}$. Les autres radionucléides, à savoir ^{37}Ar , ^{39}Ar , ^{79}Kr , $^{83\text{m}}\text{Kr}$, sont supposés être rejetés sous forme gazeuse et le ^3H sous forme HT. Le choix de ces différentes formes chimiques retenues n'est ni justifié, ni cohérent avec les précédents documents de l'exploitant. Or la forme physicochimique conditionne le choix d'une part des vitesses de dépôt pour paramétrer les modèles de dispersion atmosphérique, et d'autre part des doses efficaces par unité incorporée (DPUI). Ainsi, le tritium est supposé être sous la forme HT dans cette étude d'impact, alors qu'il était supposé sous forme de vapeur tritiée (HTO) dans les précédentes études d'impact. L'IRSN note que la forme HTO est la forme la plus pénalisante pour évaluer l'impact radiologique. L'IRSN observe également des contradictions par rapport à la note sur les rejets de 2015 [2] au sujet des formes du carbone (^{11}C), de l'azote (^{13}N et ^{16}N) et du soufre (^{35}S).

En conséquence, l'IRSN recommande que l'exploitant s'assure de la forme physicochimique des radionucléides rejetés dans l'environnement ou à défaut justifie que la forme retenue est prudente (R1).

L'exploitant suppose une vitesse d'éjection de $1,76\ \text{m}\cdot\text{s}^{-1}$, et que les effluents sont à une température de 20°C lorsqu'ils sont rejetés dans l'atmosphère. Cette température n'est pas une mesure à la cheminée et correspond à la température régulée dans les bâtiments [3]. L'IRSN estime possible que la température réelle des effluents soit différente, or ce paramètre rentre en compte pour évaluer la hauteur effective des rejets (ou sur-hauteur) et la dispersion du panache ainsi que l'exposition des personnes notamment en champ proche. **L'IRSN n'a pas de remarque sur le choix de la vitesse d'éjection mais il conviendrait que l'exploitant s'assure, par exemple par la mesure, que la température des effluents retenue est représentative des conditions réelles de rejet ou à défaut qu'il justifie que la valeur retenue est prudente vis-à-vis de l'exposition des populations (O1).**

Caractéristiques de l'environnement à proximité de l'émissaire et choix du modèle de calcul

L'installation Arronax est implantée en périphérie de l'hôpital Laennec (CHU) à Saint Herblain dans une zone péri-urbaine avec des personnes représentatives à proximité de l'émissaire (à 120 m de distance). L'exploitant met en œuvre le modèle Micro SWIFT SPRAY (MSS) [3] qui permet de simuler les écoulements tridimensionnels des masses d'air, en tenant compte de manière explicite de la présence des bâtiments et du relief. **Cela n'appelle pas de remarque de l'IRSN.**

Conditions météorologiques

Les observations météorologiques de la station Météo France de Nantes Atlantique située à environ 9 km du site ont été retenues par l'exploitant pour simuler les écoulements d'air. L'exploitant utilise les mesures de l'année 2018 et justifie la représentativité de l'année choisie par rapport à la rose des vents. **Les données météorologiques utilisées n'appellent pas de remarque.** Pour configurer les calculs réalisés avec MSS, l'exploitant n'utilise pas directement les conditions météorologiques observées mais les classes de stabilité de

Pasquill-Turner [3]. Au cours de l'instruction, l'exploitant a précisé que la méthode mise en œuvre diffère de celle présentée dans le manuel de MSS et référencée dans son étude d'impact. L'approche suivie est une adaptation de celle décrite dans le manuel de MSS et se base sur des choix de modélisateurs mais l'exploitant ne présente pas de référence permettant d'étayer ces choix. **Il conviendrait que l'exploitant précise et justifie les hypothèses retenues pour répartir les conditions météorologiques par classe de stabilité (O2).**

Définition de la personne représentative

L'exploitant recense, dans une zone autour du point de rejet, les premières habitations, la présence potentielle de personnes sensibles et vulnérables (enfants, personnes âgées, malades,...) et les installations recevant du public (terrain de sport,...). Il identifie ainsi 12 localisations d'intérêt et calcule, pour ces 12 points, les activités volumiques moyennes dans l'air et les concentrations surfaciques sur les sols. L'impact radiologique est ensuite calculé uniquement pour les zones les plus exposées, à savoir : la zone la plus exposée (point Mas Horizon situé à 140 m de la cheminée), la zone habitée la plus exposée (qui correspond au point gardien de l'hôpital, situé à environ 120 m de la cheminée), la zone habitée avec jardin la plus exposée (qui correspond au point Rousselière, situé à environ 200 m de la cheminée) et l'école la plus exposée (point école primaire René Guy Cadou, située à environ 800 m de la cheminée). **L'IRSN note que les zones les plus exposées identifiées par l'exploitant sont cohérentes avec les activités volumiques moyennes annuelles; ces résultats n'appellent pas de remarque de la part de l'IRSN.**

L'exploitant considère des personnes représentatives associées à chacune des zones les plus exposées, en supposant qu'elles y sont présentes toute l'année, soit 100 % du temps. Il ne tient donc pas compte d'un budget-temps basé sur des temps de présence : par exemple le temps de travail des travailleurs, le temps passé à l'école par l'instituteur et les enfants ou le temps passé chez eux par les habitants. **L'IRSN recommande que l'exploitant prenne en compte des budgets temps pour le temps de présence des personnes représentatives sur les lieux les plus exposés dans l'objectif d'apporter un certain réalisme, conformément à ce qui est demandé à l'article R. 1333-23 du code de la santé publique (R2).**

L'impact radiologique est calculé systématiquement pour l'ensemble des lieux pour les trois classes d'âges, à savoir l'adulte, l'enfant de 8 ans à 12 ans et l'enfant de 1 an à 2 ans.

L'IRSN souligne que la classe d'âge 1 an à 2 ans n'est pas nécessairement cohérente avec l'âge des enfants susceptibles d'être accueillis à l'école René Guy Cadou qui est une école primaire. Il serait plus réaliste d'évaluer l'impact pour des enfants d'âges compris entre 6 ans et 11 ans. De même, l'IRSN note que la classe d'âge adulte suffit pour caractériser les personnes travaillant à proximité de l'installation. **Si le choix des classes d'âge par l'exploitant est pénalisant (dans la mesure où il ne conduit pas à sous-estimer l'exposition des populations), dans un objectif de cohérence de la démarche globale de l'évaluation il conviendrait que l'exploitant retienne les classes d'âges concernées par l'occupation des lieux d'intérêt (O3).**

Les débits respiratoires retenus par l'exploitant sont issus de la publication 66 de la CIPR citée en référence [4]. Le débit respiratoire retenu pour l'adulte correspond à celui d'une femme en activité modérée d'après le tableau B16.B de la publication 66 de la CIPR [4]. L'hypothèse de prendre une femme pour représenter l'adulte n'est pas prudente dans la mesure où les débits respiratoires des hommes sont plus importants. Par ailleurs, le choix de considérer une activité modérée n'est pas cohérent avec les valeurs retenues pour les autres classes d'âge qui

correspondent au débit respiratoire moyen sur une journée. L'IRSN estime que ces hypothèses ne sont pas adaptées. **Il conviendrait que l'exploitant retienne, pour chaque classe d'âge, des débits respiratoires cohérents avec les activités pratiquées dans les lieux d'intérêt qu'il considère et qu'il justifie ces choix (O4).**

Voies d'exposition et coefficients de dose

L'exploitant retient comme voies d'exposition, l'inhalation et l'ingestion estimées avec les DPUI de l'arrêté du 1er septembre 2003 [6] et l'exposition externe par immersion dans le panache formé par les rejets atmosphériques et l'exposition externe, du fait des dépôts générés par ces rejets, estimée avec les coefficients de doses du Federal Guidance n°12 [7]. Pour ce qui concerne le choix des coefficients de dose, l'IRSN note que l'exploitant n'utilise pas les coefficients de dose réglementaires pour l'irradiation par le panache des gaz rares fournis dans l'arrêté du 1er septembre 2003 [6]. Au cours de l'instruction, l'exploitant a justifié ce choix en précisant que les coefficients de dose des gaz rares dans le Federal Guidance 12 [7] sont identiques à ceux de l'arrêté du 1er septembre 2003 [18]. L'IRSN souligne que, même si les coefficients de dose pour l'⁴¹Ar et le ⁷⁹Kr sont proches, les coefficients de doses utilisés par l'exploitant pour les ³⁹Ar et ^{83m}Kr sont inférieurs à ceux de l'arrêté [6]. Le coefficient de dose utilisé par l'exploitant pour le ³⁷Ar est supérieur à celui de l'arrêté [7] d'un facteur 3. **L'IRSN recommande que l'exploitant utilise les valeurs de coefficient de dose de l'arrêté du 1er septembre 2003 ou à défaut de justifier de retenir d'autres valeurs de coefficients de dose (R3).**

La très courte période de ¹⁶N conduit à une DPUI différente de celle de ¹³N et vraisemblablement inférieure. **Compte tenu de la période de décroissance du ¹⁶N, il conviendrait que l'exploitant exclue ce radionucléide de son évaluation (O5).**

Pour ce qui concerne le choix de la clairance pulmonaire du tritium, l'IRSN note que la forme M retenue pour le ³H correspond aux valeurs adaptées au ³H sous forme particulaire ce qui ne correspond pas à la forme HT retenue par l'exploitant. Les DPUI retenues par l'exploitant sont néanmoins plus élevées que celles qu'il aurait dû utiliser ce qui conduit à maximiser les doses aux personnes représentatives. **Pour le tritium, il conviendrait que l'exploitant retienne la DPUI correspondant à la forme physico-chimique retenue (O6).**

Résultats des calculs de l'exploitant

La dose efficace moyenne annuelle calculée par l'exploitant en fonctionnement normal, pour les personnes les plus exposées, est au maximum de l'ordre de 50 µSv au MAS Horizon (140 m de la cheminée), de l'ordre de 30 µSv pour la zone habitée la plus exposée (120 m de la cheminée), de l'ordre de 5 µSv pour la zone habitée avec jardin la plus exposée (200 m de la cheminée) et 2 µSv pour l'école la plus exposée (800 m de la cheminée). Les doses sont essentiellement dues à l'exposition externe par irradiation du panache. Ces résultats sont discutés dans le chapitre qui suit.

2. ANALYSE DES RESULTATS DE L'EXPLOITANT ET ESTIMATION DE L'IRSN POUR LE FONCTIONNEMENT NORMAL

L'IRSN a procédé à sa propre évaluation de l'impact des rejets de l'installation en réalisant les calculs de dispersion atmosphérique avec fluidyn-PANACHE®, logiciel commercial de mécanique des fluides (fondé sur l'approche « Computational Fluid Dynamics » ou CFD) dédié à la modélisation de la dispersion atmosphérique

des polluants gazeux ou particulaires en tenant compte de la topographie et des obstacles à l'écoulement de l'air. Il est adapté à la dispersion en milieu urbain.

Résultats de calcul de l'IRSN et discussion

L'IRSN a calculé les doses efficaces moyennes annuelles susceptibles d'être reçues par les populations dans le cadre du fonctionnement normal de l'installation. Comme l'exploitant, l'IRSN retient la présence de personnes à la crèche de la bergerie, au CHU, à l'école primaire René-Guy Cadou, les habitations nord-est (dénommée ici ferme), le gardien de l'hôpital, les maisons CHU, le Mas Horizon et Rousselière représentés par les points Habitation 1 et 2. De plus, l'IRSN évalue l'exposition de personnes non considérées par l'exploitant situées dans la zone industrielle (groupe ZAC 1 à 3), pour le bâtiment en face de l'émissaire (bâtiment voisin), pour des lieux d'habitation non considérés par l'exploitant (Habitations 3) et pour l'Institut de cancérologie de l'Ouest (ICO anciennement CIRAC). Les DPUI inhalations retenues sont issues de l'arrêté du 1er septembre 2003 [6].

Les résultats de l'IRSN montrent que l'exposition des travailleurs et des personnes résidants dans le voisinage d'Arronax est très faible et au maximum de l'ordre de 60 μSv au niveau du MAS Horizon et de l'ordre de la vingtaine de μSv pour les habitations et de l'ordre du μSv pour l'école. L'exposition externe par le panache est prépondérante.

L'IRSN observe que ses propres résultats de l'impact sanitaire des personnes les plus exposées autour d'Arronax sont en accord avec ceux de l'exploitant. Certaines différences sont expliquées par certains choix de modélisation différents entre l'IRSN et l'exploitant, ce qui tend à renforcer la compréhension de la démarche de modélisation de l'exploitant et conforte l'analyse de l'IRSN quant au bien-fondé des résultats présentés par l'exploitant.

Sur la base de l'analyse des hypothèses et modèle retenus par l'exploitant et de ses propres calculs, l'IRSN confirme les ordres de grandeurs des impacts radiologiques sanitaires calculés par l'exploitant.

3. PERTINENCE DE LA METHODOLOGIE APPLIQUEE, DES HYPOTHESES RETENUES PAR L'EXPLOITANT POUR L'ESTIMATION DES CONSEQUENCES RADIOLOGIQUES EN SITUATION ACCIDENTELLE

L'exploitant retient trois scénarios accidentels susceptibles de se produire dans son installation :

- scénario 1 : fusion d'une cible de ^{82}Sr en fin de tir (activité maximale) ;
- scénario 2 : incendie dans un local contenant des conteneurs d' ^{211}At en attente de distribution ;
- scénario 3 : incendie dans un local contenant des conteneurs d' ^{166}Ho en attente de distribution.

L'IRSN a analysé la méthode appliquée et les hypothèses retenues par l'exploitant pour évaluer les conséquences de ces trois scénarios.

Nature et conditions de rejet

Scénario 1 : Fusion d'une cible de ^{82}Sr en fin de tir (activité maximale)

Le ^{82}Sr est produit lors de l'irradiation de rubidium métallique (sous forme liquide avec un point de fusion à 39°) encapsulée dans une cible composée d'acier inoxydable. Lors de l'irradiation par des faisceaux de hautes

intensités (70 MeV), la cible est soumise à de fortes contraintes thermiques (dissipation de 25 kW dans quelques cm³). Pour atténuer les contraintes thermiques, la cible est refroidie.

Dans le scénario 1, l'exploitant envisage un défaut de refroidissement de la cible pendant l'irradiation conduisant à la fusion de la cible en fin de tir et à l'évaporation du ⁸²Sr produit et des produits d'activation. L'installation étant en dépression, les substances évaporées sont guidées par la ventilation vers la cheminée où une fraction est rejetée. L'exploitant considère que les rejets durent 1 min.

Les radionucléides sont rejetés sous forme particulaire (particule de 1 µm de diamètre) à l'exception des isotopes du krypton (⁷⁹Kr, ⁸⁵Kr) rejetés sous forme de gaz à une température de 20 °C. L'IRSN note que le choix de la taille des particules n'est pas justifié et l'unité de la valeur n'est pas précisée.

Le système de filtration est composé de deux filtres Très Haute Efficacité (THE) en cheminée. L'exploitant suppose que la filtration reste efficace au cours de l'accident. Les rejets sont donc filtrés avant d'être rejetés à l'atmosphère avec une efficacité définie par un facteur d'abattement de 10⁻⁵.

L'IRSN convient que les filtres THE piègent une partie des particules entraînées vers la cheminée [8] mais, de par sa nature inerte, le krypton n'est pas piégé. Pourtant l'exploitant estime l'activité rejetée à l'atmosphère des isotopes du krypton en appliquant le même facteur d'abattement que pour les particules ce qui n'est pas correct. Par ailleurs, l'IRSN note que la conversion entre les activités produites en millicurie et celles exprimées en Becquerel n'est pas correcte pour le calcul de l'activité produite en fin de tir. Les résultats de l'évaluation des conséquences pourraient être modifiés du fait, notamment, des erreurs significatives sur le facteur de conversion du ⁸³Sr. **L'IRSN recommande que l'exploitant recalcule le terme source du scénario 1 ; d'une part, en adoptant une hypothèse sur l'efficacité de la filtration réaliste, d'autre part, en utilisant les bons facteurs de conversion entre les activités produites en millicurie et celles exprimées en Becquerel. L'exploitant devra mettre à jour l'évaluation des conséquences radiologiques du scénario 1 en conséquence (R4).**

Scénario 2 et 3 : Incendie dans un local contenant des conteneurs d'²¹¹At (scénario 2) ou de ¹⁶⁶Ho (scénario 3) en attente de distribution

Avant d'être distribués, les produits radiopharmaceutiques produits dans l'installation sont stockés dans des conteneurs et entreposés dans des locaux dédiés au stockage du ²¹¹At ou du ¹⁶⁶Ho.

Dans les scénarios accidentels 2 et 3, l'exploitant considère que les conteneurs sont intégralement détruits par un incendie dans le local d'entreposage contenant l'activité maximale autorisée. Le scénario 2 correspond à un incendie dans le local d'entreposage de l'²¹¹At contenant 185 GBq. Le scénario 3 est un incendie dans le local d'entreposage du ¹⁶⁶Ho contenant 1,44 TBq.

L'exploitant fait les hypothèses suivantes :

- sous l'action du feu, les activités entreposées sont instantanément et intégralement mobilisées et susceptibles d'être rejetées à l'atmosphère sous la forme de particules de 1 µm de diamètre ;
- les clapets coupe-feu présents dans le conduit de la cheminée se ferment automatiquement dès que l'incendie est détecté. La durée maximale nécessaire à cette action est d'une minute ;
- les fumées de l'incendie sont évacuées via la cheminée tant que les clapets coupe-feu ne sont pas fermés ;
- les filtres THE présents à la cheminée sont distants des locaux de stockage. Ils ne sont pas directement impactés par l'incendie et ils conservent leur efficacité ;

- les effluents sont rejetés à une température de 20 °C.

Sur la base de ces hypothèses, l'exploitant retient une durée de rejet d'une minute. Les rejets sont émis à la cheminée et les activités rejetées sont estimées en considérant l'efficacité de la filtration. Un facteur d'abattement de 10^{-5} est donc appliqué sur les activités maximales autorisées. Les rejets estimés sont de 18,5 MBq d' ^{211}At pour le scénario 2 et 14,4 MBq de ^{166}Ho pour le scénario 3.

Concernant la durée du rejet, l'exploitant ne donne pas d'éléments permettant de justifier la détection de l'incendie en moins d'une minute. L'IRSN estime donc que l'exploitant ne justifie pas suffisamment la durée de rejet retenue mais note que celle-ci n'a pas d'impact sur l'estimation des conséquences dans la mesure où les conditions météorologiques sont supposées constantes pendant le rejet.

Concernant, les quantités rejetées, l'exploitant fait l'hypothèse prudente que toute l'activité est immédiatement mobilisée au moment du départ du feu. Les quantités rejetées ne sont donc pas fonction de la durée des rejets. Néanmoins, l'exploitant ne présente pas d'éléments qui permettraient d'exclure la possibilité qu'une partie des rejets ne soit pas filtrée. L'existence de rejets non filtrés s'accompagnerait à l'augmentation des quantités émises dans l'atmosphère. En effet, l'exploitant ne précise pas si l'installation est pourvue d'un système de désenfumage² qui conduirait à des rejets non filtrés par les bâtiments. Il ne démontre pas non plus le maintien de l'efficacité des filtres THE³ qui permettent de piéger une partie des rejets avant leur émission à la cheminée. L'IRSN note cependant que le risque de perte de l'intégrité des filtres THE devrait être limité par l'action des clapets coupe-feu (CCF)⁴ qui réduit la quantité de suie parvenant sur les filtres. La localisation du feu peut aussi réduire le risque de perdre les filtres puisque plus la distance entre les filtres et la source de l'incendie est importante plus la température des suies a le temps de diminuer avant d'arriver au niveau des filtres ce qui limiterait le risque d'endommagement. L'IRSN estime donc que l'exploitant devrait montrer que les scénarios 2 et 3 constituent les scénarios incendie enveloppes du point de vue des quantités rejetées, notamment en précisant le devenir des fumées et en démontrant la tenue des filtres THE.

Concernant la hauteur de rejet, l'exploitant considère que toute l'activité est rejetée à la cheminée sans le justifier. Pourtant, avec un système de désenfumage, une fraction du rejet serait émise au niveau du sol avec les fumées. Il convient donc de s'interroger sur la pertinence et sur le caractère prudent de la hauteur de rejet retenue. En revanche, l'exploitant retient, comme pour le fonctionnement normal, une température d'émission de 20 °C. Or, l'IRSN estime que la température des effluents est sans doute plus élevée puisque les rejets sont constitués de fumée d'incendie et qu'une température plus élevée devrait favoriser l'élévation du panache. L'IRSN estime donc que la température des effluents doit être revue en cohérence avec les scénarios accidentels.

² L'objectif du système de désenfumage est d'évacuer les fumées et d'apporter de l'air frais dans l'installation de manière à faciliter l'évacuation des personnes et l'action des personnels de secours mais ils peuvent également favoriser les rejets directs (sans filtration) à l'atmosphère.

³ Le maintien de l'efficacité des filtres THE dépend de leurs caractéristiques et de celle de l'incendie (en particulier de la température de l'air, des fumées et suies traversant les filtres). Tant que l'extraction est maintenue, les suies de l'incendie peuvent provoquer un écrasement ou un encrassement du filtre pouvant conduire à son déchirement. Les rejets ne seraient alors plus filtrés.

⁴ L'action des CCF permet de réduire de manière significative le débit des suies dans la gaine de ventilation. Elle permet donc à la fois de diminuer fortement les rejets à la cheminée et de réduire la quantité de suie parvenant sur les filtres THE.

Finalement, l'IRSN estime que les éléments apportés ci-dessus sont de nature à remettre en question l'ordre de grandeur des conséquences radiologiques présentées par l'exploitant. **En conséquence, l'IRSN recommande que l'exploitant démontre la robustesse des scénarios 2 et 3 et justifie les hypothèses retenues quant à la durée des rejets, les quantités rejetées et la hauteur des rejets. En particulier, il devrait préciser le devenir des fumées et démontrer la tenue des filtres THE (R5).**

Méthode de calcul des conséquences radiologiques

La méthode de calcul utilisée par l'exploitant pour évaluer les conséquences radiologiques à partir des sorties de MSS est basée sur l'hypothèse que l'activité dans les compartiments (air, sol, plante etc...) ne varie pas dans le temps ce qui n'est pas adapté à une situation accidentelle. En effet, pour ces situations, l'activité dans les compartiments évolue du fait de la décroissance et des transferts entre compartiments qui ne sont pas compensés par un apport de radioactivité continu celui-ci se faisant sur une période limitée. L'IRSN note cependant que l'approche suivie par l'exploitant devrait majorer les conséquences. **En conséquence, il conviendrait que l'exploitant réévalue les conséquences radiologiques à partir d'une méthode tenant compte de l'évolution dans le temps de l'activité dans chacun des compartiments de l'environnement (O7).**

Conditions météorologiques

L'exploitant retient trois conditions météorologiques pour évaluer les conséquences radiologiques de son installation en situation accidentelle, à savoir :

- Classe D (atmosphère neutre) avec une vitesse de vent de 5 m.s^{-1} sans pluie,
- Classe D avec une vitesse de vent de 5 m.s^{-1} avec pluie ($0,2 \text{ mm.h}^{-1}$),
- Classe F (atmosphère très stable) avec une vitesse de vent de 2 m.s^{-1} sans pluie.

La sélection des conditions météorologiques s'appuie sur l'analyse des observations de la station Nantes Atlantique pour l'année 2018. L'IRSN considère que le calcul des conséquences doit être réaliste sans toutefois sous-estimer les conséquences potentielles d'un accident. L'exploitant devrait donc sélectionner des conditions météorologiques observées localement à des fins d'estimation couvrante des conséquences radiologiques, c'est-à-dire qui conduisent aux conséquences radiologiques les plus élevées à court moyen et long terme sans toutefois tenir compte des situations défavorables très peu probables. De ce point de vue, le choix des classes de stabilité n'appelle pas de remarque de la part de l'IRSN. En revanche, choisir la vitesse de vent comme une vitesse plutôt élevée parmi les vitesses les plus fréquemment observées dans chaque classe de stabilité ne permet pas de couvrir les conséquences potentiellement engendrées par un accident survenant à n'importe quel moment de l'année. L'exploitant devrait justifier le caractère prudent des vitesses de vent retenues. Pour les situations de pluie, l'IRSN estime que la valeur de pluie retenue n'est pas suffisamment couvrante des conditions pluvieuses susceptibles d'être observées sur le site. De plus, l'exploitant ne retient pas de situation pluvieuse pour la condition stable - vent faible sans justifier son choix. Même si la voie d'exposition dominante pour l'ensemble des scénarios est l'inhalation, l'IRSN estime que l'exploitant devrait démontrer que les conditions stables, vents faibles et pluie ne conduisent pas à des conséquences plus importantes que les conditions stables, vents faibles et sans pluie.

L'IRSN recommande que l'exploitant s'assure que les conditions météorologiques retenues pour les ECR, notamment les conditions de pluie et de vitesse de vent, permettent une estimation couvrante des conséquences radiologiques (R6).

L'exploitant considère quatre directions de vent (260 °, 275°, 10° et 95 °) pour chacune des conditions météorologiques retenues. Les directions de vent sont choisies de façon à estimer les conséquences pour les personnes représentatives situées sous les vents sélectionnés. **Ce choix n'appelle pas de remarque de la part de l'IRSN dans la mesure où les directions de vents sont choisies de façon à estimer les conséquences pour tous les lieux susceptibles d'accueillir des personnes représentatives.**

Enfin, l'exploitant retient la température de l'air moyenne enregistrée à la station météorologique de Nantes Atlantique en 2018 est de 13,3°C pour évaluer l'élévation du panache. **Ce choix n'appelle pas de remarque de la part de l'IRSN.**

Choix de la personne représentative

L'exploitant considère les personnes localisées sur les points suivants :

- le CHU, l'institut de cancérologie ouest (ICO) et la crèche de la Bergerie situés sous les vents de direction 260°;
- le groupe scolaire René Guy Cadou situé sous les vents de direction 275°;
- le Mas Horizon situé sous les vents de direction 10°;
- l'établissement français du sang (EFS) et l'habitation du lieu-dit la Rousselière situés sous les vents de direction 95°.

L'exploitant calcule, pour ces 7 points, les activités volumiques maximales dans l'air et les concentrations surfaciques sur les sols et identifie ainsi les zones les plus exposées. L'impact radiologique est ensuite calculé uniquement pour les zones les plus exposées, à savoir : la zone la plus exposée (le point CHU situé à 120 m de la cheminée et le point EFS situé à 100 m de la cheminée), la zone habitée la plus exposée (point Mas Horizon situé à 140 m de la cheminée), la zone habitée avec jardin la plus exposée (point Rousselière situé à environ 200 m de la cheminée) et l'école ou crèche la plus exposée (point crèche de la Bergerie situé à environ 800 m de la cheminée).

Cette approche n'est pas satisfaisante car l'analyse des activités volumiques calculées pour les différents scénarios montre que les zones les plus exposées varient selon les conditions météorologiques. Pourtant l'exploitant calcule toujours les doses pour les mêmes personnes représentatives. Etant donné le faible nombre de personnes identifiées, l'exploitant pourrait aisément calculer les conséquences pour chacune d'entre elles.

Par ailleurs, les scénarios d'accidents retenus conduisent, selon l'exploitant, à des rejets courts. L'exploitant devrait donc compléter sa sélection de personnes représentatives avec des personnes situées dans les zones de passage potentiellement les plus exposées. **L'IRSN recommande que l'exploitant complète sa sélection de personnes représentatives avec des personnes situées dans les zones de passage potentiellement les plus exposées et présente les conséquences pour l'ensemble des personnes sélectionnées (R7).**

Concernant les classes d'âge, comme pour le fonctionnement normal, **il conviendrait que l'exploitant retienne des classes d'âges en cohérence avec la nature des lieux identifiés comme d'intérêt pour son ECR (O8).**

Concernant les débits respiratoires retenus par l'exploitant, l'IRSN note que ces débits correspondent à des débits respiratoires moyens sur une journée. Ils intègrent notamment des périodes de repos et de sommeil. Au cours de l'instruction [11], l'exploitant a réalisé une étude de sensibilité en prenant un débit respiratoire plus élevé pour l'adulte ($1,68 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$ au lieu de $0,92 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$). En fonction de ces choix, il montre que la dose due à l'inhalation augmente d'un facteur 1,8. Pour un rejet court, dont on ne sait pas s'il peut avoir lieu le jour ou la nuit, l'IRSN est attentif à ce que le débit respiratoire des personnes représentatives soit un choix prudent correspondant, à minima, à un exercice modéré. **Il conviendrait que l'exploitant retienne une valeur de débit respiratoire prudente et au minimum un débit respiratoire de personne en exercice modéré (O9).**

Durée d'exposition

Pour le scénario 1 pour lequel presque tous les radionucléides rejetés ont des périodes radioactives supérieures à un jour, l'exploitant évalue les conséquences pour trois durées d'exposition : une heure pour l'évaluation à court terme, un an pour l'évaluation à moyen terme et 50 ans pour l'évaluation à long terme. Il évalue les conséquences seulement à court terme (une heure) pour le scénario 2 dont le rejet est constitué d' ^{211}As de période radioactive d'environ 7h. Pour le scénario 3, au regard de la période de décroissance de 27 h du ^{166}Ho , l'exploitant retient les durées d'exposition à court et moyen termes (une heure et un an).

La durée d'exposition retenue par l'exploitant pour le court terme est cohérente avec la durée du rejet et n'appelle pas de remarque. L'IRSN note que les durées d'exposition à moyen et long termes illustrent mal la faible persistance de la contamination dans l'environnement. Il serait en effet plus pertinent de donner l'évolution de la dose au cours du temps jusqu'à ce que l'environnement ne soit plus marqué.

L'IRSN relève que l'exploitant n'évalue pas si le dépôt résultant de l'accident étudié est susceptible d'engendrer un dépassement des niveaux maximaux admissibles (NMA) de commercialisation des denrées alimentaires [9]. Cette estimation est nécessaire si des exploitations agricoles sont susceptibles d'être impactées.

En conséquence, l'IRSN recommande que l'exploitant illustre l'évolution temporelle de l'exposition des personnes en choisissant des durées d'exposition en adéquation avec la durée des rejets et les périodes radioactives des radionucléides rejetés. L'IRSN recommande également que l'exploitant complète son évaluation des conséquences radiologiques en situation accidentelle par la présentation des distances de dépassement éventuel des niveaux maximaux admissibles (NMA) de commercialisation des denrées alimentaires (R8).

Voies d'exposition et coefficients de dose

Concernant l'exposition au dépôt, l'exploitant précise que l'irradiation par les dépôts est supposée contribuer directement à l'exposition des personnes pendant le passage du panache. Cette voie d'exposition n'est considérée qu'à court terme. Or, pour le scénario 1, des radionucléides de période de décroissance supérieure à 60 jours peuvent être à l'origine d'une exposition par irradiation du dépôt à moyen et long terme (^{75}Se , ^{83}Rb et ^{85}Sr). **L'IRSN recommande que l'exploitant démontre que l'exposition par l'irradiation par le dépôt peut être négligée à moyen et long terme, a minima, pour le scénario 1 (R9).**

Concernant les coefficients de dose, l'IRSN n'a pas de remarque si ce n'est pour l'inhalation puisque la référence utilisée par l'exploitant est la Directive Européenne 96/29. Celle-ci n'est plus applicable et il convient de se référer

à l'arrêté réglementaire [15]. L'IRSN note que ce point n'a pas d'impact puisque les coefficients de dose sont les mêmes dans les deux références.

Par ailleurs, l'IRSN relève une erreur de la part de l'exploitant. Il semble qu'il ait pris les coefficients de dose pour les enfants d'âge inférieur à 1 an en lieu et place de ceux pour les enfants de 1 à 2 ans. **L'IRSN recommande que l'exploitant utilise les coefficients de dose adaptés aux classes d'âge considérées ou à défaut de justifier dûment de retenir d'autres valeurs de coefficients de dose (R10).**

Résultats de l'exploitant

Les conséquences radiologiques calculées par l'exploitant sont très faibles, inférieures à 1 μSv pour le scénario le plus pénalisant (scénario n°2). Les conséquences radiologiques évaluées pour les trois scénarios d'accident étudiés par l'exploitant ne nécessitent pas la mise en œuvre d'actions de protection des populations. Cette conclusion devra être confirmée après la mise à jour de l'évaluation des conséquences radiologiques suite à la prise en compte des recommandations formulées dans le présent avis. L'IRSN attire cependant l'attention la nécessité d'évaluer le risque de dépassement des NMA.

4. EVALUATION DE L'IRSN POUR L'ESTIMATION DES CONSEQUENCES RADIOLOGIQUES EN SITUATION ACCIDENTELLE

Lors de l'analyse de la méthode mise en œuvre par l'exploitant (chapitre 3), l'IRSN a émis des doutes sur le choix de certaines hypothèses insuffisamment justifiées comme cela a été précisé dans les recommandations formulées. Certaines des hypothèses peuvent remettre en question l'ordre de grandeur des conséquences des situations accidentelles calculées comme par exemple, les quantités rejetées, la hauteur de rejet, le choix des personnes représentatives pour l'exposition à court terme. En conséquence, l'IRSN a réalisé des contre-calculs pour vérifier les ordres de grandeurs présentés par l'exploitant sans redéfinir les scénarios accidentels. Les calculs ont été faits sur le scénario 2 conduisant aux conséquences les plus importantes. Les résultats de l'IRSN ne constituent donc pas une validation des conséquences radiologiques des situations accidentelles retenus par l'exploitant mais plutôt une mise en perspective des calculs effectués par l'exploitant.

L'IRSN réalise les ECR pour l'ensemble des personnes représentatives considérées par l'exploitant.

Les résultats de l'IRSN montrent que l'exposition des travailleurs et des personnes résidants dans le voisinage d'Arronax est très faible et au maximum de l'ordre de la quarantaine de nSv au niveau de l'habitation Rousselière. Pour le scénario 2, l'IRSN note que la remise en question de l'intégrité des filtres THE conduirait à des conséquences radiologiques de l'ordre de grandeur du mSv.

L'IRSN observe que ses propres résultats de l'impact sanitaire des personnes les plus exposées autour d'Arronax sont en accord avec ceux de l'exploitant. Certaines différences sont expliquées par certains choix de modélisation différents entre l'IRSN et l'exploitant, ce qui tend à renforcer la compréhension de la démarche de modélisation de l'exploitant et conforte l'analyse de l'IRSN quant au bienfondé des résultats présentés par l'exploitant.

5. Conclusion

L'IRSN considère que la méthode d'évaluation mise en œuvre par l'exploitant permet d'apprécier l'ordre de grandeur des doses susceptibles d'être reçues par les populations présentes autour de l'installation en fonctionnement normal. Sur la base des informations transmises par l'exploitant et de ses propres simulations, l'IRSN n'a pas identifié d'enjeu de nature à remettre en question les conditions de protection des populations autour de l'installation en fonctionnement normal.

Pour les situations accidentelles, l'évaluation des conséquences calculées par l'exploitant ne devrait pas conduire à la mise en œuvre d'action de protection des populations. Néanmoins, les réserves émises par l'IRSN quant à la définition des scénarios (calcul des activités rejetées en Bq pour le scénario 1 et les hypothèses utilisées pour calculer les activités rejetées pour les scénarios 2 et 3) ne permettent pas d'apprécier l'ordre de grandeur des conséquences radiologiques pour les populations autour de l'installation. En effet, l'IRSN estime que l'exploitant devrait justifier de manière robuste les hypothèses retenues (notamment concernant les filtres THE et les clapets coupe feu) pour définir les scénarios accidentels.

IRSN

Le Directeur général

Par délégation

Marc GLEIZES

Adjoint du Directeur de l'Environnement

ANNEXE 1 A L'AVIS IRSN N° 2021-00134 DU 16 JUILLET 2021

Recommandations de l'IRSN

Recommandation n° 1

L'IRSN recommande que l'exploitant s'assure de la forme physicochimique des radionucléides rejetés dans l'environnement ou à défaut justifie que la forme retenue est prudente.

Recommandation n° 2

L'IRSN recommande que l'exploitant prenne en compte des budgets temps pour le temps de présence des personnes représentatives sur les lieux les plus exposés dans l'objectif d'apporter un certain réalisme conforme à ce qui est demandé à l'article R. 1333-23 du code de la santé publique.

Recommandation n° 3

L'IRSN recommande que l'exploitant utilise les valeurs de coefficient de dose de l'arrêté du 1er septembre ou à défaut de justifier de retenir d'autres valeurs de coefficients de dose.

Recommandation n° 4

L'IRSN recommande que l'exploitant recalcule le terme source du scénario 1; d'une part en adoptant une hypothèse sur l'efficacité de la filtration réaliste et d'autre part en utilisant les bons facteurs de conversion entre les activités produites en millicurie et celles exprimées en Becquerel. L'exploitant devra mettre à jour l'évaluation des conséquences radiologiques du scénario 1 en conséquence.

Recommandation n° 5

L'IRSN recommande que l'exploitant démontre la robustesse des scénarios 2 et 3 et justifie les hypothèses retenues quant à la durée des rejets, les quantités rejetées et la hauteur des rejets. En particulier, il devrait préciser le devenir des fumées et démontrer la tenue des filtres THE.

Recommandation n° 6

L'IRSN recommande que l'exploitant s'assure que les conditions météorologiques retenues pour les ECR, notamment les conditions de pluie et de vitesse de vent, permettent une estimation couvrante des conséquences radiologiques.

Recommandation n° 7

L'IRSN recommande que l'exploitant complète sa sélection de personnes représentatives avec des personnes situées dans les zones de passage potentiellement les plus exposées et présente les conséquences pour l'ensemble des personnes sélectionnées.

Recommandation n° 8

L'IRSN recommande que l'exploitant illustre l'évolution temporelle de l'exposition des personnes en choisissant des durées d'exposition en adéquation avec la durée des rejets et les périodes radioactives des radionucléides

rejetés. L'IRSN recommande également que l'exploitant complète son évaluation des conséquences radiologiques en situation accidentelle par la présentation des distances de dépassement éventuel des niveaux maximaux admissibles (NMA) de commercialisation des denrées alimentaires.

Recommandation n° 9

L'IRSN recommande que l'exploitant démontre que l'exposition par l'irradiation par le dépôt peut être négligée à moyen et long terme, a minima, pour le scénario 1.

Recommandation n° 10

L'IRSN recommande que l'exploitant utilise les coefficients de dose adaptés aux classes d'âge considérées ou à défaut de justifier dûment de retenir d'autres valeurs de coefficients de dose.

Observation n° 1

Il conviendrait que l'exploitant s'assure, par exemple par la mesure, que la température des effluents retenue est représentative des conditions réelles de rejet ou à défaut qu'il justifie que la valeur retenue est prudente vis-à-vis de l'exposition des populations

Observation n° 2

Il conviendrait que l'exploitant précise et justifie les hypothèses retenues pour répartir les conditions météorologiques par classe de stabilité.

Observation n° 3

Il conviendrait que l'exploitant retienne les classes d'âges concernées par l'occupation des lieux d'intérêt.

Observation n° 4

Il conviendrait que l'exploitant retienne, pour chaque classe d'âge, des débits respiratoires cohérents avec les activités pratiquées dans les lieux d'intérêt qu'il considère et qu'il justifie ces choix.

Observation n° 5

Compte tenu de la période de décroissance du ^{16}N , il conviendrait que l'exploitant exclu ce radionucléide de son évaluation.

Observation n° 6

Pour le tritium, il conviendrait que l'exploitant retienne la DPUI correspondant à la forme physico-chimique retenue.

Observation n° 7

Il conviendrait que l'exploitant réévalue les conséquences radiologiques à partir d'une méthode tenant compte de l'évolution dans le temps de l'activité dans chacun des compartiments de l'environnement.

Observation n° 8

Il conviendrait que l'exploitant retienne des classes d'âges en cohérence avec la nature des lieux identifiés comme d'intérêt pour son ECR.

Observation n° 9

Il conviendrait que l'exploitant retienne une valeur de débit respiratoire prudente et au minimum un débit respiratoire de personne en exercice modéré.

ANNEXE 2 A L'AVIS IRSN N° 2021-00134 DU 16 JUILLET 2021**Références**

- [1] Lettre ASN référence CODEP-DTS-2019-048222 du 29 novembre 2019.
- [2] Note Arronax portant sur les rejets des effluents gazeux radioactifs rédigée par Nicolas Varmenot le 27 avril 2015.
- [3] Tinarelli G., Brusasca G., Morselli M.G. (1994) : «Il modello Lagrangiano a particelle SPRAY –Descrizione generale e validazioni », relazione ENEL/CRAM N. E1/94/10.
- [4] D. Bruce Turner (1961) Relationships Between 24-Hour Mean Air quality Measurements and Meteorological Factors in Nashville, Tennessee, Journal of the Air Pollution Control Association, 11:10, 483-489, DOI: 10.1080/00022470.1961.10468029.
- [5] Publication n°66 de la CIPR, Human respiratory tract model for radiological protection, 1994.
- [6] Arrêté du 1er septembre 2003 définissant les modalités de calcul des doses efficaces et des doses équivalentes résultant de l'exposition des personnes aux rayonnements ionisants.
- [7] Rapport Federal Guidance n°12, External exposure to radionuclides in air, water and soil, 1993.
- [8] Badoris – Document de synthèse relatif à une barrière technique de sécurité – Filtres à Très Haute Efficacité (THE) – Rapport IRSN/INERIS DRA-PREV-06-2006-filtre THE_VO.doc, juin 2006.
- [9] Règlement (Euratom) 2016/52 du conseil du 15 janvier 2016 fixant les niveaux maximaux admissibles de contamination radioactive pour les denrées alimentaires et les aliments pour les animaux après un accident nucléaire ou dans tout autre situation d'urgence radiologique, et abrogeant le règlement (Euratom) n°3954/87 et les règlements (Euratom) n°944/89 et (Euratom) n°770/90 de la commission.