



CEA/PSAC/CCSIMN/052 PJ

**RESUME DE L'ETUDE D'IMPACT  
PAR SIMULATION NUMERIQUE 3D  
DES REJETS ATMOSPHERIQUES  
DU SHFJ**

## Table des matières

<b>1 - INTRODUCTION .....</b>	<b>3</b>
<b>2 - DONNEES D'ENTREE .....</b>	<b>3</b>
2.1 - TERMES SOURCE.....	3
2.1.1 - Rejets en fonctionnement normal. ....	3
2.1.2 - Simulation de rejet incidentel (bouffée) .....	5
2.1.3 - Simulation de rejet accidentel (incendie généralisé).....	5
2.2 - DONNEES METEOROLOGIQUES.....	6
<b>3 - METHODOLOGIE ET HYPOTHESES DE CALCUL .....</b>	<b>8</b>
3.1 - CHOIX DU SYSTEME DE MODELISATION .....	8
3.2 - OPTIONS DE CALCUL RETENUES.....	10
3.2.1 - Météorologie à micro-échelle.....	10
3.2.2 - Dispersion atmosphérique et évaluation des doses .....	10
<b>4 - RESULTATS DE L'EVALUATION DES DOSES.....</b>	<b>12</b>
4.1 - FONCTIONNEMENT NORMAL POUR L'ANNEE 2021-2022 AVANT MISE EN SERVICE DU SYSTEME DE COMPRESSION DES GAZ .....	12
4.2 - FONCTIONNEMENT NORMAL POUR L'ANNEE 2022-2023 APRES MISE EN SERVICE DU SYSTEME DE COMPRESSION DES GAZ .....	13
4.3 - FONCTIONNEMENT NORMAL POUR UNE ANNEE QUELCONQUE SUR LA BASE DE L'AUTORISATION DE REJET.....	14
4.4 - REJET INCIDENTEL (BOUFFEE) .....	15
4.4.1 Cas d'une bouffée de Carbone-11.....	15
4.4.2 Cas d'une bouffée de Fluor-18.....	16
4.5 - REJET ACCIDENTEL (INCENDIE GENERALISE) .....	17
<b>5 - CONCLUSION.....</b>	<b>19</b>

## 1 - INTRODUCTION

De par ses activités de recherche biomédicale et de médecine nucléaire, le Service Hospitalier Frédéric Joliot (SHFJ), situé à Orsay (Essonne) est susceptible d'émettre des rejets gazeux radioactifs.

Ce document constitue une mise à jour de l'étude d'impact des rejets atmosphériques du SHFJ à destination du public.

En effet, de nouveaux radionucléides vont être utilisés pour les activités de recherche biomédicale et interviennent dans le scénario accidentel. L'impact des rejets en fonctionnement normal sera aussi réévalué pour une période récente de fonctionnement de l'installation (2022-2023) et pour une année quelconque sur la base des autorisations de rejet incluant le  $^{68}\text{Ga}$ .

Le présent document est un résumé de l'étude d'impact de ces rejets gazeux. L'impact est évalué successivement pour :

- Les rejets mesurés en fonctionnement normal entre les années 2021 et 2023,
- Les rejets mesurés en fonctionnement normal pour une année quelconque sur la base de l'autorisation de rejet réévaluée à la baisse (0,9 TBq en  $^{11}\text{C}$  et 0,1TBq en  $^{18}\text{F}$ )
- Un rejet incidentel, sous la forme d'une bouffée, correspondant à une défaillance dans le procédé de production de radionucléides,
- Un rejet accidentel, résultat d'un incendie généralisé affectant l'installation.

Les particularités de cette étude sont :

- La position du SHFJ, situé au cœur de la ville d'Orsay, dans la vallée de l'Yvette, c'est-à-dire dans un environnement à la topographie et au bâti complexes,
- Le besoin d'évaluer l'impact à proximité immédiate de l'installation (quelques dizaines de mètres), en raison de la présence de lieux de vie et d'activités,
- Le caractère subchronique des rejets en fonctionnement normal.

Un système de modélisation 3D a été choisi pour prendre en compte les écoulements et la dispersion atmosphérique tenant compte de manière explicite de la présence de bâtiments. Ce système considère les rejets en fonctionnement normal comme une succession de rejets brefs et non comme un rejet moyen annuel.

Ce document présente, dans les chapitres 2 et 3, les données d'entrée de l'étude d'impact et les choix retenus pour les calculs, notamment pour le traitement des rejets subchroniques. Les résultats de l'évaluation des doses sont présentés dans le chapitre 4.

## 2 - DONNEES D'ENTREE

### 2.1 - TERMES SOURCE

#### 2.1.1 - Rejets en fonctionnement normal.

Pour ses activités, le SHFJ a besoin de radioisotopes à période courte, principalement du fluor-18 (1,83 heures) et du carbone-11 (20,4 minutes) mais également du gallium-68 (1,13 heures) et de l'oxygène-15 (2 minutes). La fabrication de ces radioisotopes à vie courte est réalisée avec un cyclotron. La synthèse des traceurs marqués par ces radionucléides est réalisée à l'aide d'automates de synthèse positionnés dans des enceintes blindées dans les laboratoires de radiochimie.

La mise en service progressive d'un nouveau système de compression des gaz (SCG) au cours de l'été 2021 jusqu'à l'été 2022 a réduit sensiblement les activités rejetées (cf. tableau 1a). Ainsi, pour évaluer l'impact consécutif aux rejets atmosphériques en fonctionnement normal du SHFJ sur la période récente, on retient deux périodes d'un an, l'une antérieure à la mise en service complète de ce nouveau système (du 1er août 2021 au 31 juillet 2022), l'autre postérieure (du 1er août 2022 au 31 juillet 2023).

Pour le fluor-18 et de carbone-11 :

Sur ces deux périodes, les rejets atmosphériques de carbone-11 sont respectivement égaux à 1,1 et 0,3 TBq, soit une diminution d'un facteur 3 environ. La diminution des rejets de fluor-18 est plus importante puisqu'elle est d'un facteur 10 à une activité produite équivalente.

Le nombre de rejets par an est également en baisse sur la période récente, surtout en ce qui concerne le fluor-18, avec une trentaine de rejets par an contre 200 environ dans les années 2010 du fait qu'il n'y a plus de rejet à chaque production grâce à la rétention par le système de compression des gaz issus des enceintes de production.

Le tableau 1a indique le nombre de rejets et l'activité totale rejetée annuellement, et le tableau 1b la fraction d'activité (%) rejetée en moyenne par synthèse de radiotraceurs.

*Tableau 1a : Nombre de rejets et activité totale rejetée (en Bq/an)*

Année	Carbone-11		Fluor-18	
	Activité totale rejetée	Nbre de rejets	Activité totale rejetée	Nbre de rejets
2021	1,64E+12	200	5,30E+10	166
2022	9,56E+11	190	1,34E+10	38
2023	3,02E+11	172	1,87E+9	22
08-2021/07-2022	1,12E+12	205	1,67E+10	43
08-2022/07-2023	3,11E+11	161	1,49E+9	29

*Tableau 1b : Fraction d'activité (%) rejetée en moyenne par synthèse de radiotraceurs*

Année	Carbone-11 (%)	Fluor-18 (%)
<b>2020</b>	11,1	4,5
<b>2021</b>	9,4	3,7
<b>2022</b>	5,3	2,1
<b>2023</b>	1,1	0,6
<b>2024</b>	1,3	0,6

Pour le <sup>11</sup>C, 13 rejets ont été supérieurs à 10 GBq (dont un supérieur à 40 GBq) avant la mise en service du nouveau système de compression des gaz (SCG), contre 2 après sa mise en service. Pour le <sup>18</sup>F, 4 rejets ont été supérieurs à 1 GBq avant SCG, aucun depuis.

Les rejets annuels d'argon-41 et de technétium-99m respectivement évalués à 0,5 GBq et à moins de 1 GBq (avec un impact maximal inférieur à 0,2μSv) restent négligeables en terme d'impact par rapport à ceux de <sup>18</sup>F et de <sup>11</sup>C.

Pour l'oxygène-15, il est dorénavant très peu utilisé, sa période est très courte et les activités produites sont relativement faibles, l'impact d'un éventuel rejet est considéré négligeable par rapport à ceux de  $^{11}\text{C}$  et de  $^{18}\text{F}$ .

Pour l'azote-13, produit pendant l'irradiation des cibles fluor et gallium, il est récupéré et mis en décroissance soit dans la ligne retard de la casemate, soit transféré en enceinte et dans le SCG.

Le gallium-68, également produit par le cyclotron, radio-métal utilisé en solution aqueuse, présente un risque de passage en phase gazeuse très négligeable au même titre que d'autres radio-métaux. Le rapport IAEA-TECDOC-1863 intitulé « Gallium-68 Cyclotron Production » (IAEA TECDOC SERIES) mentionne la coproduction uniquement d'azote-13 (de période 10 min) au cours de la production de gallium-68. Cette production concomitante d'azote-13 est déjà connue et prise en compte dans la production de carbone-11 ou de fluor-18. Pour la récupération de la solution irradiée dans la casemate du cyclotron, l'événement positionné sur le flacon de récupération est prévu d'être connecté à la ligne retard du cyclotron pour éviter tout rejet radioactif gazeux à l'émissaire. La ligne retard du cyclotron étant dimensionnée pour une cible de carbone-11 ( $T_{1/2} = 20.4$  min), elle est de fait largement dimensionnée pour des rejets d'azote-13 ( $T_{1/2} = 10$  min). Dans le cas d'un transfert vers les cellules blindées du laboratoire, ces équipements sont connectés au système de compression de gaz assurant ainsi le confinement de l'azote-13 co-produit avec le gallium-68.

Une fois collecté sous forme de  $[\text{68Ga}]\text{GaCl}_3$ , la chimie de complexation du radioélément en solution aqueuse est indépendante de son mode de fabrication et ne présente pas de risque de remise en suspension dans l'air ou vaporisation du fait de l'absence de volatilité des sels. Par ailleurs, la complexation est réalisée en milieu tampon aqueux à température ambiante ou à des températures inférieures à la température d'ébullition de l'eau (max  $90^\circ\text{C}$ ) en fonction des chélateurs utilisés pour le radiomarquage. Le risque de faire passer le gallium en phase gazeuse est nul : pas d'évaporation possible des sels de Ga-68 aux températures rencontrées dans le cyclotron ou dans la chimie pratiquée. En cas de scénario accidentel, si la cible venait à exploser pendant l'irradiation, la configuration du cyclotron PMB avec sa protection biologique rapprochée apportent un confinement du liquide dans la protection, évitant un transfert sous forme d'aérosols vers l'extraction d'ambiance. On considère qu'il n'y aura pas d'impact du gallium sur les rejets atmosphériques en fonctionnement normal ou incidentel.

### 2.1.2 - Simulation de rejet incidentel (bouffée)

Seule une défaillance au niveau d'un automate de radiosynthèse en radiochimie est envisagée car c'est le scénario le plus probable qui conduirait à l'impact le plus important. Une perte de confinement d'une cible gazeuse en fin d'irradiation est aussi possible et conduirait à des rejets équivalents.

Le terme source retenu correspond à un rejet de 185 GBq de  $^{11}\text{C}$ , correspondant à la perte de confinement d'une cible gazeuse en fin d'irradiation ou à la défaillance au niveau d'un automate de radiosynthèse en radiochimie et conduisant à l'émission vers l'atmosphère de la quantité maximale théorique produite lors de l'irradiation, mentionnée dans l'autorisation en vigueur.

Pour le rejet en  $^{18}\text{F}$ , on considère une activité maximale égale à 60% de la valeur de l'autorisation, soit 111 GBq.

### 2.1.3 - Simulation de rejet accidentel (incendie généralisé)

Afin d'avoir une estimation enveloppe des conséquences radiologiques résultant d'un incendie généralisé, on suppose que l'intégralité de l'activité maximale théoriquement contenue dans l'installation est rejetée dans l'environnement sans rétention ni filtration (hypothèse très conservatrice).

L'activité maximale supposée mobilisable est le cumul de celles indiquées dans les deux autorisations ASN (autorisations recherche E15003 et médecine nucléaire M91003) et est renseignée tableau 2.

Certains des radionucléides concernés (recensés par un astérisque dans le tableau 2) sont exclusivement présents dans des sources scellées et donc difficilement mobilisables, même en cas d'incendie. On inclut quand même dans le calcul d'impact l'émission de ces radionucléides.

En bleu, figurent les nouveaux radionucléides, objets de cette étude, ou ceux dont l'activité maximale détenue a été modifiée (c'est le cas du Lu-177). Par ailleurs, l'utilisation de certains radionucléides a été arrêtée (I-131 et Tl-201) : ils sont ôtés du terme-source.

Tableau 2 : Terme source sur la base des valeurs demandées d'activités maximales autorisées dans l'installation.

Radionucléide	Activité mobilisable (en Bq)	Radionucléide	Activité mobilisable (en Bq)
Cs137 *	1,5E+09	Na22 *	5,0E+07
Sr90 *	1,0E+04	Ga67	5,0E+09
Ge68 */**	6,05E+09	In111	5,0E+09
Ga68	1,0E+10	C11 ***	1,3E+11
C14	2,1E+06	F18 ***	1,78E+11
<del>I131</del>	<del>3,7E+09</del>	H3 (HTO)	1,0E+11
<del>P32</del>	<del>2,0E+08</del>	N13	3,7E+09
Mo99 (Tc99m) *	9,2E+10	O15	1,0E+09
Zr89	1,5E+09	I123	5,0E+09
Ba133 *	5,0E+07	Tc99m	8,1E+10
Co57 *	1,3E+09	<del>Tl201</del>	<del>5,0E+09</del>
Eu152 *	1,0E+04	Lu177	1,0E+10
Sc43	3,0E+09	Tb152	3,0E+09
Sc44	3,0E+09	Tb155	3,0E+09
Sc47	3,0E+09	Tb161	3,0E+09
Tb149	7,4E+07	Ac225	7,4E+07

\* Radionucléide difficilement mobilisable

\*\* Comprend les sources scellées y compris celle contenue dans les générateurs de <sup>68</sup>Ga

\*\*\* Comprend les sources non scellées approvisionnées pour la médecine nucléaire plus pour les activités de recherche, 500GBq en cumul <sup>18</sup>F et <sup>11</sup>C avec un maximum de 370GBq en <sup>18</sup>F et le complément en <sup>11</sup>C

## 2.2 - DONNEES METEOROLOGIQUES

Une station météorologique professionnelle est implantée sur le toit du SHFJ et mesure en continu la température, la pression atmosphérique, la vitesse et la direction du vent, l'humidité de l'air et la quantité de précipitations. Ces données, ainsi qu'un certain nombre de grandeurs dérivées comme le point de rosée par exemple, sont enregistrées toutes les trente minutes.

On dispose pour chacun des rejets de la période août 2021 - juillet 2023 de la date et de l'heure à laquelle ils ont eu lieu, ce qui permet de construire les roses des vents qui regroupent les conditions météorologiques qui prévalaient lorsque ces rejets ont eu lieu (cf. figure 1).

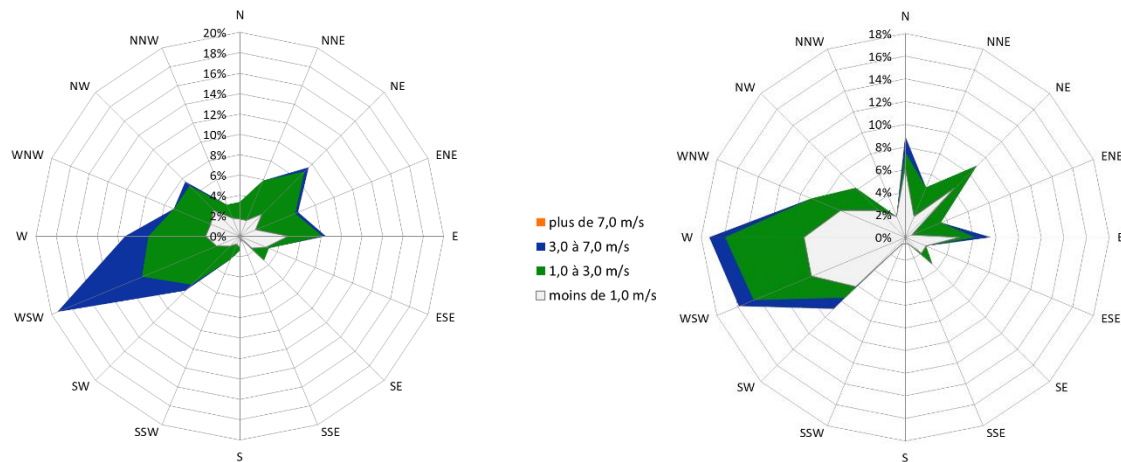


Figure 1 : Roses des vents relative aux périodes de rejet de  $^{11}\text{C}$  (illustration de gauche) et de  $^{18}\text{F}$  (illustration de droite) en 2021-2023.

Sur la période 2017-2023, la station météorologique située sur le toit du SHFJ, a enregistré 6684 occurrences de situations pluvieuses pour un cumul total de précipitations de 4092,6 mm. Compte-tenu du taux de disponibilité des données de la station entre 2017 et 2023 (98,3%), cela donne un taux de situations météorologiques avec pluie de 6,0%. La rose des vents de ces situations météorologiques avec pluie est présentée à la Figure 2. On observe que, lorsqu'il pleut, les vents provenant de l'Ouest, du Sud-Ouest et surtout du Sud-Sud-Ouest sont les plus probables, avec des vitesses comprises entre 1 et 3 m/s.

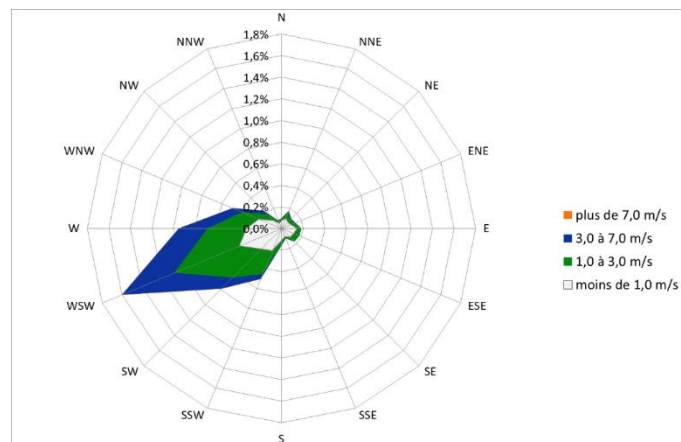


Figure 2 : Rose des vents par temps de pluie pour la période 2017-2023.

L'histogramme de la Figure 3 présente la répartition de l'intensité des pluies mesurées à la station météorologique et montre que 92,7% des occurrences correspondent à des pluies d'intensité inférieures ou égales à 2 mm/h.

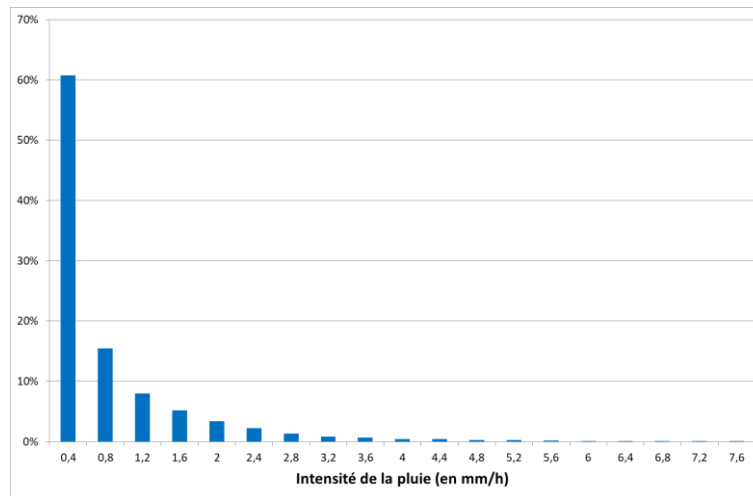


Figure 3 : Répartition de l'intensité des pluies (période 2017-2023).

### 3 - METHODOLOGIE ET HYPOTHESES DE CALCUL

#### 3.1 - CHOIX DU SYSTEME DE MODELISATION

On rappelle ici les choix effectués dans l'étude de 2017 pour évaluer l'impact des rejets atmosphériques en fonctionnement normal ainsi qu'en cas d'incendie généralisé de l'installation. Ces choix s'appliquent également aux calculs effectués dans le cadre de cette étude.

La figure 4 montre la position du SHFJ et de ses deux émissaires :

- L'émissaire de la partie cyclotron-radiochimie situé à une hauteur de 17,1 m par rapport au sol,
- L'émissaire de la médecine nucléaire situé à une hauteur de 2,5 m par rapport au toit du bâtiment sur lequel il se trouve.

Ils mettent en évidence sa situation dans un environnement topographique et bâti complexe. De plus, les habitations les plus proches et donc les points d'impact les plus proches sont situés à 25 m environ de l'émissaire « cyclotron-radiochimie ».

Les données topographiques utilisées proviennent du produit RGE ALTI® de l'IGN (Institut Géographique National) de résolution 5 m. La description du bâti urbain provient du produit BD TOPO® de l'IGN (cf figure 5).





Figure 4 : Localisation des émissaires et des groupes de population considérés.

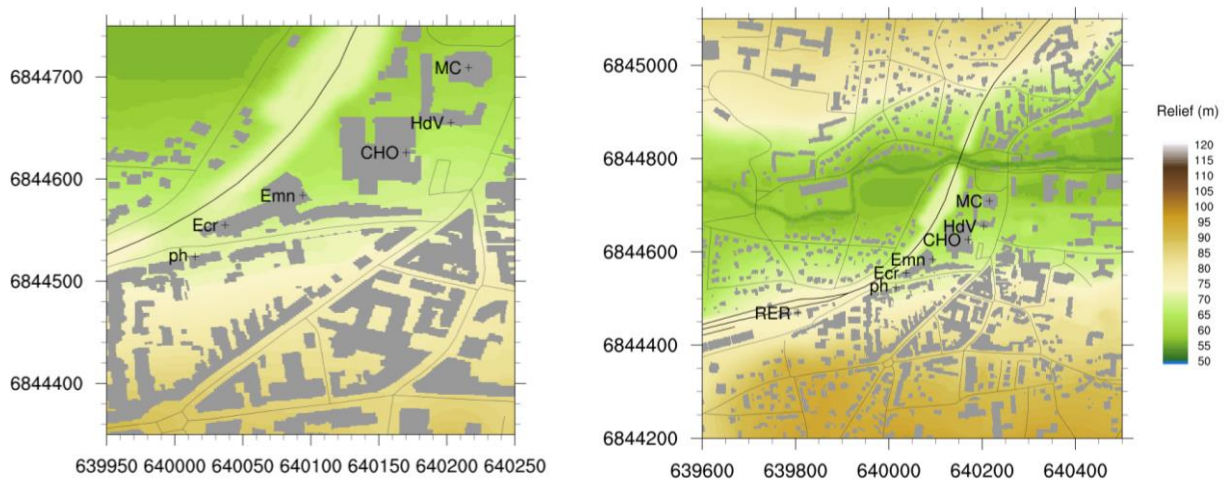


Figure 5 : Topographie, bâti, routes, voies ferrées et points d'intérêts (Ecr : Emissaire cyclotron-radiochimie, Emn : Emissaire médecine nucléaire, RER : gare RER d'Orsay, ph : pharmacie Dubreuil, CHO : Centre Hospitalier d'Orsay, HdV : Hôtel de ville, MC : marché couvert).

L'impact des rejets atmosphériques du SHFJ sera évalué pour l'ensemble des points du domaine de calcul défini ci-dessus mais les résultats seront présentés également aux lieux indiqués au tableau 3 pour le groupe de population concerné (adulte, enfant de 1 an ou enfant de 10 ans). Ces groupes de population ont été définis suite à un recensement des lieux de vie, des crèches et des écoles situés dans le domaine d'étude.

Tableau 3 : Lieux retenus pour la définition des groupes étudiés.

Lieu	Coordonnée X (RGF93)	Coordonnée Y (RGF93)	Classe d'âge
Hôtel de Ville	640203	6844649	Adulte
Marché couvert	640237	6844694	Adulte
Centre hospitalier d'Orsay	640182	6844591	Adulte
Pharmacie Dubreuil	640015	6844527	Adulte
Gare RER	639806	6844461	Adulte
Crèche du Parc	640434	6844610	Enfant 1 an
Crèche A petits pas	640387	6844626	Enfant 1 an
Crèche les Trot's menus	640103	6844490	Enfant 1 an
Ecole primaire Sainte-Suzanne	640290	6844740	Enfant 10 ans
Ecole élémentaire du Centre	640460	6844650	Enfant 10 ans

## 3.2 - OPTIONS DE CALCUL RETENUES

### 3.2.1 - Météorologie à micro-échelle

Dans le fichier météorologique regroupant les données d'entrée à prendre en compte pour le calcul PNSWIFT, on impose la vitesse et la direction du vent à l'endroit où se situe la station météorologique, c'est-à-dire sur le toit du SHFJ.

La station météorologique ne donne qu'une valeur ponctuelle de température et ne fournit pas d'informations sur le profil vertical de température. On choisit de définir un profil de température avec un gradient vertical égal à  $-0,5^{\circ}\text{C}/100\text{m}$ , correspondant à une atmosphère neutre à légèrement instable.

On a choisi comme donnée d'entrée un profil de vitesse de vent « quasiment plat », c'est-à-dire sans cisaillement vertical, ce qui permet d'éviter de comptabiliser deux fois la turbulence de fond, dans le calcul de la turbulence.

De plus, on a choisi également d'activer l'option de la prise en compte de la conservation de la quantité de mouvement, qui produit une turbulence locale plus réaliste que lorsque cette option n'est pas activée.

### 3.2.2 - Dispersion atmosphérique et évaluation des doses

Les rejets en fonctionnement normal et en fonctionnement incidentel (bouffée non contrôlée) sont suffisamment courts pour que les conditions météorologiques soient considérées invariantes lorsqu'ils ont lieu. Les calculs de dispersion atmosphérique sont effectués pour chaque condition météorologique de la rose des vents et pour un rejet unitaire (1 Bq).

Dans les calculs PSPRAY, on considère sept espèces :

- Une espèce gazeuse radioactive (20,4 minutes), simulant  $^{11}\text{C}$ ,
- Un aérosol radioactif (1,83 heures), simulant  $^{18}\text{F}$ ,
- Un aérosol radioactif (6,02 heures) de diamètre aérodynamique égal à  $1\ \mu\text{m}$ , simulant  $^{99\text{m}}\text{Tc}$ ,
- Une espèce gazeuse radioactive simulant la vapeur d'eau tritiée (HTO) à laquelle on attribue une vitesse de dépôt au sol égale à  $3 \cdot 10^{-3}\ \text{m/s}$ ,
- Une espèce gazeuse radioactive, de période égale à 598 secondes, simulant  $^{13}\text{N}$ ,
- Une espèce gazeuse radioactive, de période égale à 122,4 secondes, simulant  $^{15}\text{O}$ ,
- Un aérosol de diamètre aérodynamique égal à  $1\ \mu\text{m}$ , simulant l'ensemble des autres radionucléides émis lors de l'incendie, tous de période radioactive suffisamment longue devant

la durée de transport du panache de la source vers le bord du domaine de calcul, pour ne pas tenir compte de la décroissance radioactive dans le calcul de la concentration atmosphérique.

On considère trois sources d'émission :

- Une source ponctuelle, de coordonnées représentant l'émissaire « cyclotron-radiochimie », depuis lequel sont émis  $^{11}\text{C}$  et  $^{18}\text{F}$ .
- Une source ponctuelle, de coordonnées représentant l'émissaire « médecine nucléaire », depuis lequel est émis  $^{99\text{m}}\text{Tc}$ .
- Une série de sources surfaciques, situées autour du bâtiment 830, depuis lesquelles est émis l'aérosol simulant l'ensemble des radionucléides engendrés par l'incendie. Ces sources situées au niveau des fenêtres du bâtiment 830 représentent les fuites qui auraient lieu en cas d'incendie du SHFJ. En effet dans un premier temps les filtres THE retiennent les particules radioactives produites et mises en suspension par l'incendie, la ventilation est mise à l'arrêt dès lors que le dernier niveau de filtration est endommagé. C'est pourquoi on ne retient pas le scénario d'un rejet à l'émissaire, qui disperserait beaucoup plus.

L'impact est évalué en calculant les doses reçues, ici selon deux voies principales : l'exposition par inhalation et l'exposition par irradiation externe.

Le débit respiratoire moyen d'un adulte est considéré égal à 0,96 m<sup>3</sup>.h<sup>-1</sup> pour l'adulte, 0,64 m<sup>3</sup>.h<sup>-1</sup> pour l'enfant de 10 ans et 0,22 m<sup>3</sup>.h<sup>-1</sup> pour l'enfant de 1 an.

Juste après le passage du panache, le débit de dose par irradiation externe dû aux dépôts au sol est maximal.

La dose par irradiation externe due aux dépôts au sol est déduite de la relation précédente en l'intégrant sur la durée d'exposition T (prise égale à 1 an ou plus précisément 8766 h dans cette étude)

Les coefficients de dose efficace par inhalation sont ceux indiqués dans l'arrêté de 16 novembre 2023, les coefficients de dose par exposition externe proviennent du Federal Guidance n°12.

L'exposition interne par ingestion et celle due aux dépôts à long terme (c'est-à-dire sur la vie entière, au-delà de la durée d'exposition de 1 an prise en compte dans le calcul) sont négligeables dans tous les scénarios pour les raisons suivantes :

- L'analyse du registre parcellaire graphique RPG 2023 (<https://geoservices.ign.fr/rpg>) montre qu'il n'y a pas de zones agricoles (cultures et vergers) ou de prairies dans le domaine d'étude. La zone agricole la plus proche se situe à 2 km du SHFJ, soit bien au-delà des limites du domaine d'étude. Il n'y a pas d'élevages à proximité ; il n'est donc pas pertinent de prendre en compte la consommation d'origine locale de ce type d'aliments. De plus, le site se trouvant en ville, il y a peu de jardins potager et la taille relativement modeste des jardins identifiés permet de supposer que leur production ne suffit pas à répondre à de l'autoconsommation totale d'origine locale.
- Pour l'évaluation des rejets en fonctionnement normal et incidentel, compte tenu de la courte période de décroissance radioactive du fluor-18 (2h) et du carbone -11 (20,4 minutes), du faible niveau d'activité déposé au sol (inférieure à 1Bq/m<sup>2</sup>) et des pratiques alimentaires communément mises en œuvre (rinçage voire épluchage des fruits et des légumes avant consommation).
- Pour l'évaluation des rejets en fonctionnement accidentel, de façon conservative, le lessivage des sols par la pluie et le nettoyage des voiries sont négligés. Mais il est donc peu probable que les dépôts consécutifs à l'incendie généralisé du SHFJ restent au sol pendant une longue période (1 mois, voire 1 an), sans compter l'éventuelle remédiation qui serait menée à l'issue de l'événement. On a également négligé la protection par les habitations et supposé une présence à ce point, à l'extérieur, tous les jours de l'année.

L'étude de 2017 a montré que le calcul de l'exposition externe, c'est-à-dire comme étant le produit de la concentration intégrée par un coefficient de dose par irradiation externe donne des résultats peu réalistes pour des domaines d'étude de petite taille et fortement bâti comme celui autour du SHFJ. En effet, les coefficients de dose par irradiation externe sont évalués en supposant un milieu infini et une concentration en radionucléides uniformément répartie.

En réalité, dans le cas du SHFJ, le champ de concentration intégrée est loin d'être uniforme et, lorsqu'on fait le calcul en un point correspondant à un maximum local dans la répartition spatiale de la concentration intégrée, on surestime largement la dose calculée en ce point. A l'inverse, on sous-estime cette dose par irradiation externe dans les zones où cette concentration intégrée est localement faible, voire nulle.

En 2017, les doses par irradiation externe avaient également été calculées à l'aide de l'outil SprayShine, On y démontre également pourquoi le calcul de l'exposition externe avec le coefficient de dose donne des valeurs maximales largement surestimées dans le cas du SHFJ.

Pour les résultats d'impact présentés aux sections suivantes, les calculs de doses par irradiation externe, que ce soit suite au passage des panaches ou consécutivement à l'exposition aux dépôts au sol, sont effectués avec le programme SprayShine.

Ces calculs sont effectués en tenant compte de l'effet d'ombrage par les bâtiments dans le cas du fonctionnement normal pour les années 2021-2022 et 2022-2023.

Compte-tenu de la durée d'un calcul SprayShine lorsque cette option d'ombrage par les bâtiments est activée, on a choisi d'effectuer des calculs SprayShine sans effet d'ombrage par les bâtiments pour traiter du fonctionnement normal lors d'une année type, du fonctionnement incidentel et du fonctionnement accidentel.

#### 4 - RESULTATS DE L'EVALUATION DES DOSES

##### 4.1 - FONCTIONNEMENT NORMAL POUR L'ANNEE 2021-2022 AVANT MISE EN SERVICE DU SYSTEME DE COMPRESSION DES GAZ

L'évaluation des doses pour les rejets en fonctionnement normal de  $^{11}\text{C}$  et de  $^{18}\text{F}$  est effectuée en sommant les contributions de chacun des 205 rejets de  $^{11}\text{C}$  et des 43 rejets de  $^{18}\text{F}$  qui ont eu lieu entre le 1<sup>er</sup> août 2021 et le 31 juillet 2022. Les doses par irradiation externe due au passage des panaches tiennent compte des effets d'ombrage par les bâtiments.

Le tableau 4 indique la dose efficace annuelle calculée pour chaque groupe de population. Pour l'adulte, la dose efficace totale maximale, toutes voies d'exposition confondues, calculée en chaque point du domaine d'étude, montre une maximale est égale à 5,9  $\mu\text{Sv}$  pour un point situé rue Archangé.

Lorsqu'on s'éloigne du SHFJ, la dose efficace totale diminue progressivement (1,07  $\mu\text{Sv}$  au Centre Hospitalier, 0,53  $\mu\text{Sv}$  à l'Hôtel de Ville, 0,39  $\mu\text{Sv}$  à la gare RER et 0,32  $\mu\text{Sv}$  au marché couvert).

Pour l'enfant de 1 an, la dose efficace totale à la crèche des Trot's menus s'élève à 2,7  $\mu\text{Sv}$  et est due à 80% à l'irradiation externe. Au niveau des autres crèches, plus éloignées du SHFJ, la dose efficace vaut 0,3  $\mu\text{Sv}$  environ.

Pour l'enfant de 10 ans, la dose efficace totale au niveau des écoles élémentaires situées dans le domaine d'étude est comprise entre 0,2 et 0,25  $\mu\text{Sv}$  et est essentiellement due à l'irradiation externe du  $^{11}\text{C}$ .

Ces valeurs sont à rapprocher de la valeur limite de dose admissible annuellement pour la population qui est de 1 mSv (article R.1333-11 du code de la Santé Publique).



Tableau 4 : Dose efficace totale ( $\mu\text{Sv}$ ) pour les différents groupes de populations pour les rejets de la période 2021-2022.

Lieu	Classe d'âge	Dose efficace totale ( $\mu\text{Sv}$ )
rue Archangé (max)	Adulte	5,9
Hôtel de Ville	Adulte	0,53
Marché couvert	Adulte	0,32
Centre hospitalier d'Orsay	Adulte	1,07
Pharmacie Dubreuil	Adulte	1,96
Gare RER	Adulte	0,39
Crèche du Parc	Enfant 1 an	0,28
Crèche A petits pas	Enfant 1 an	0,31
Crèche les Trot's menus	Enfant 1 an	2,67
Ecole primaire Sainte-Suzanne	Enfant 10 ans	0,25
Ecole élémentaire du Centre	Enfant 10 ans	0,22

#### 4.2 - FONCTIONNEMENT NORMAL POUR L'ANNEE 2022-2023 APRES MISE EN SERVICE DU SYSTEME DE COMPRESSION DES GAZ

L'évaluation des doses pour les rejets en fonctionnement normal de  $^{11}\text{C}$  et de  $^{18}\text{F}$  est effectuée en sommant les contributions de chacun des 161 rejets de  $^{11}\text{C}$  et des 29 rejets de  $^{18}\text{F}$  qui ont eu lieu entre le 1<sup>er</sup> août 2022 et le 31 juillet 2023. Les doses par irradiation externe due au passage des panaches sont calculées à l'aide du programme SprayShine. Ces valeurs sont à rapprocher de la valeur limite de dose admissible annuellement pour la population qui est de 1 mSv.

Le tableau 5 indique la dose efficace calculée pour chaque groupe de population.

Pour l'adulte, la dose efficace totale, toutes voies d'exposition confondues, calculée en chaque point du domaine d'étude montre une valeur maximale est égale à 1,0  $\mu\text{Sv}$  pour un point situé rue Archangé, essentiellement due à l'irradiation externe par le  $^{11}\text{C}$ .

Lorsqu'on s'éloigne du SHFJ, la dose efficace totale diminue progressivement (0,23  $\mu\text{Sv}$  au Centre Hospitalier, 0,13  $\mu\text{Sv}$  à l'Hôtel de Ville, 0,08  $\mu\text{Sv}$  au marché couvert et 0,06  $\mu\text{Sv}$  à la gare RER).

Pour l'enfant de 1 an, la dose efficace totale à la crèche des Trot's menus s'élève à 0,61  $\mu\text{Sv}$  et est due à 85% à l'irradiation externe. Au niveau des autres crèches, plus éloignées du SHFJ, la dose efficace vaut 0,07  $\mu\text{Sv}$  environ.

Pour l'enfant de 10 ans, la dose efficace totale au niveau des écoles élémentaires situées dans le domaine d'étude est comprise entre 0,05 et 0,08  $\mu\text{Sv}$  et est essentiellement due à l'irradiation externe du  $^{11}\text{C}$ .

Tableau 5 : Dose efficace totale ( $\mu\text{Sv}$ ) pour les différents groupes de population pour les rejets de la période 2022-2023.

Lieu	Classe d'âge	Dose efficace totale ( $\mu\text{Sv}$ )
rue Archangé (max)	Adulte	1,0
Hôtel de Ville	Adulte	0,13
Marché couvert	Adulte	0,08
Centre hospitalier d'Orsay	Adulte	0,23
Pharmacie Dubreuil	Adulte	0,41
Gare RER	Adulte	0,06
Crèche du Parc	Enfant 1 an	0,06
Crèche A petits pas	Enfant 1 an	0,07
Crèche les Trot's menus	Enfant 1 an	0,61
Ecole primaire Sainte-Suzanne	Enfant 10 ans	0,08
Ecole élémentaire du Centre	Enfant 10 ans	0,05

#### 4.3 - FONCTIONNEMENT NORMAL POUR UNE ANNEE QUELCONQUE SUR LA BASE DE L'AUTORISATION DE REJET

L'évaluation de l'impact des rejets en fonctionnement normal pour une année type est effectuée **sur la base de la limite demandée pour l'autorisation de rejet**, à savoir 1 TBq, dont 90% constituent les rejets de  $^{11}\text{C}$  et 10% les rejets de  $^{18}\text{F}$  (les rejets normaux de  $^{99\text{m}}\text{Tc}$  et d' $^{41}\text{Ar}$  étant d'un impact négligeable).

Les dernières années (2021 à 2023) indiquent un nombre annuel de rejets de  $^{11}\text{C}$  de l'ordre de 200 et un nombre annuel de rejets de  $^{18}\text{F}$  de l'ordre de 40. Pour notre année type, on choisit de répartir les 900 GBq de  $^{11}\text{C}$  en 5 rejets de 20,1 GBq et 195 rejets de 4,01 GBq. On choisit également de répartir les 100 GBq de  $^{18}\text{F}$  en 5 rejets de 6 GBq et 35 rejets de 2 GBq.

La limite de 1 TBq demandée pour l'autorisation de rejet est déterminée sur la base du rejet moyen annuel de  $^{11}\text{C}$  et  $^{18}\text{F}$  de l'ordre de 0,3TBq et dans l'hypothèse peu probable de 2 rejets incidentels de  $^{11}\text{C}$  de 185 GBq et 2 rejets incidentels de  $^{18}\text{F}$  de 111 GBq, auxquels s'ajoutent les rejets normaux annuels de  $^{99\text{m}}\text{Tc}$  et d' $^{41}\text{Ar}$  respectivement de 1 GBq et 0,5 GBq.

Aux deux sections précédentes, l'impact est évalué en sommant les contributions de chaque rejet, pour lesquels la condition météorologique associée est connue. Pour évaluer l'impact d'une année quelconque, la difficulté vient de la méconnaissance *a priori* des conditions météorologiques qu'il faut associer à l'ensemble des rejets dont on veut évaluer l'impact. On y répond avec une approche statistique ; il est possible d'extraire une moyenne, ou un quantile élevé qui donnera une évaluation de l'impact pour les situations météorologiques pénalisantes.

Le maximum est atteint à proximité rue Archangé avec une dose égale à 5,8  $\mu\text{Sv}$ . Parmi les groupes de population définis, celui des enfants de 1 an à la crèche des Trot's menus reçoit la dose la plus élevée avec 3,5  $\mu\text{Sv}$  (cf. *Tableau 6*). Pour les adultes, la dose efficace totale, toutes voies d'exposition confondues, est égale à 2,44  $\mu\text{Sv}$  à la pharmacie Dubreuil et 1,43  $\mu\text{Sv}$  à l'ex centre hospitalier d'Orsay.

Tableau 6 : dose efficace moyenne ( $\mu\text{Sv}$ ) à proximité du sol des différents groupes de population pour l'ensemble des réalisations de l'année type.

Lieu	Classe d'âge	Dose efficace ( $\mu\text{Sv}$ ) – moyenne
rue Archangé (max)	Adulte	5,8
Hôtel de Ville	Adulte	0,79
Marché couvert	Adulte	0,55
Centre hospitalier d'Orsay	Adulte	1,43
Pharmacie Dubreuil	Adulte	2,44
Gare RER	Adulte	0,67
Crèche du Parc	Enfant 1 an	0,41
Crèche A petits pas	Enfant 1 an	0,48
Crèche les Trot's menus	Enfant 1 an	3,50
Ecole primaire Sainte-Suzanne	Enfant 10 ans	0,39
Ecole élémentaire du Centre	Enfant 10 ans	0,31

#### 4.4 - REJET INCIDENTEL (BOUFFEE)

##### 4.4.1 *Cas d'une bouffée de Carbone-11*

L'impact radiologique consécutif au rejet d'une bouffée de 185 GBq de  $^{11}\text{C}$  est évalué toutes conditions météorologiques confondues. Concrètement, pour chaque point du domaine de calcul, on retient la condition météorologique qui conduit à la dose la plus forte, parmi les 304 conditions météorologiques de la rose des vents, pour lesquelles des calculs unitaires d'écoulement-dispersion ont été effectués avec le code de calcul PMSS.

**La dose maximale est atteinte à une centaine de mètres au sud du SHFJ et vaut 7,1  $\mu\text{Sv}$ .**

Le tableau 7 montre les doses efficaces totales maximales, toutes conditions météorologiques confondues, pour un rejet de 185 GBq de  $^{11}\text{C}$  émis depuis l'émissaire « cyclotron-radiochimie ». Elles sont comprises entre 0,52  $\mu\text{Sv}$ , pour l'enfant de 10 ans à l'école élémentaire du Centre, et 4,45  $\mu\text{Sv}$  pour l'adulte à la pharmacie Dubreuil. Pour la plupart des groupes de population, ce sont des conditions de vent faible (moins de 1 m/s) qui conduisent à la dose maximale. Seul le groupe des enfants de 1 an à la crèche des Trot's menus reçoit une dose maximale (3,38  $\mu\text{Sv}$ ) lorsque le vent souffle à 1,5 m/s en provenance du Nord-Ouest.

Pour la plupart des groupes de population, la dose est essentiellement due à l'irradiation externe (au panache et aux dépôts au sol). Il n'y a que pour le groupe de la Crèche des Trot's menus, composé d'enfants de 1 an, où la dose par inhalation est significative par rapport à la dose par irradiation externe.

Tableau 7 : Dose efficace maximale ( $\mu\text{Sv}$ ), toutes conditions météorologiques confondues, consécutive au rejet incidentel d'une bouffée de 185 GBq de  $^{11}\text{C}$ , pour les différents groupes de population définis.

Lieu	Classe d'âge	Dose efficace ( $\mu\text{Sv}$ )
100 m au sud du SHFJ (max)	Adulte	7,1
Hôtel de Ville	Adulte	1,25
Marché couvert	Adulte	1,00
Centre hospitalier d'Orsay	Adulte	1,44
Pharmacie Dubreuil	Adulte	4,45
Gare RER	Adulte	1,38
Crèche du Parc	Enfant 1 an	0,70
Crèche A petits pas	Enfant 1 an	0,74
Crèche les Trot's menus	Enfant 1 an	3,38
Ecole primaire Sainte-Suzanne	Enfant 10 ans	0,83
Ecole élémentaire du Centre	Enfant 10 ans	0,52

#### 4.4.2. Cas d'une bouffée de Fluor-18

L'impact radiologique consécutif au rejet d'une bouffée de 111 GBq de  $^{18}\text{F}$  est également évalué toutes conditions météorologiques confondues.

**La dose maximale est atteinte à une centaine de mètres au sud du SHFJ et vaut 74,2  $\mu\text{Sv}$ .**

Le tableau 8 montre les doses efficaces totales maximales, toutes conditions météorologiques confondues, pour un rejet de 111 GBq de  $^{18}\text{F}$  émis depuis l'émissaire « cyclotron-radiochimie ». Elles sont comprises entre 0,34  $\mu\text{Sv}$ , pour l'enfant de 10 ans à l'école élémentaire du Centre, et 13,7  $\mu\text{Sv}$  pour l'enfant de 1 an à la crèche des Trot's menus. Pour la plupart des groupes de population, ce sont des conditions de vent faible (moins de 1 m/s) qui conduisent à la dose maximale.

Pour la plupart des groupes de population, la dose est essentiellement due à l'irradiation externe (au panache et aux dépôts au sol). Pour le groupe de la Crèche des Trot's menus, composé d'enfants de 1 an, la dose par inhalation est prépondérante par rapport à la dose par irradiation externe.

Tableau 8 : Dose efficace maximale ( $\mu\text{Sv}$ ), toutes conditions météorologiques confondues, consécutive au rejet incidentel d'une bouffée de 111 GBq de  $^{18}\text{F}$ , pour les différents groupes de population définis.

Lieu	Classe d'âge	Dose efficace ( $\mu\text{Sv}$ )
100 m au sud du SHFJ (max)	Adulte	74,2
Hôtel de Ville	Adulte	0,79
Marché couvert	Adulte	0,63
Ex Centre hospitalier d'Orsay	Adulte	1,24
Pharmacie Dubreuil	Adulte	4,05
Gare RER	Adulte	1,29
Crèche du Parc	Enfant 1 an	0,47
Crèche A petits pas	Enfant 1 an	0,49
Crèche les Trot's menus	Enfant 1 an	13,7
Ecole primaire Sainte-Suzanne	Enfant 10 ans	0,53
Ecole élémentaire du Centre	Enfant 10 ans	0,34



#### 4.5 - REJET ACCIDENTEL (INCENDIE GENERALISE)

Selon la même méthodologie que celle employée pour traiter le rejet incidentel, l'impact radiologique, consécutif au rejet d'un certain nombre de radionucléides en cas d'incendie généralisé au bâtiment 830, est évalué en considérant toutes les conditions météorologiques de la rose des vents et en retenant, en chaque point du domaine de calcul, la condition météorologique conduisant à la dose la plus élevée.

Les valeurs maximales calculées (tableau 9) sont proches de 10 mSv mais elles sont localisées à proximité immédiate de la source de rejet simulée (quelques mètres seulement). Compte-tenu des hypothèses de simulation, et notamment la non prise en compte d'un effet de surhauteur dû à une température des fumées de l'incendie largement supérieure à la température ambiante, les valeurs de dose calculées près de la source ne paraissent pas réalistes et surestiment sans doute largement les valeurs de dose réelles. Malgré ces réserves, on évalue néanmoins une dose efficace (somme de la dose par inhalation et de la dose par irradiation externe au passage du panache) pour les différents groupes de population.

Ainsi, le tableau 9 indique une dose égale à 1,7 mSv à la pharmacie Dubreuil, due à 99% à l'exposition par inhalation. Pour l'enfant de 1 an, la dose efficace est égale à 0,5 mSv à la crèche des Trot's menus. Pour les autres groupes de population, la dose calculée est plus faible, comprise entre 0,02 et 0,2 mSv. On rappelle que tout le terme-source contenu à l'intérieur du SHFJ est supposé être émis à l'environnement en cas d'incendie, ce qui est pénalisant en termes d'impact.

*Tableau 9: Doses efficaces (mSv) pour les différents groupes de population, consécutives à l'incendie généralisé.*

Lieu	Classe d'âge	Dose efficace (mSv)
Hôtel de Ville	Adulte	0,080
Marché couvert	Adulte	0,044
Centre hospitalier d'Orsay	Adulte	0,209
Pharmacie Dubreuil (max)	Adulte	1,701
Gare RER	Adulte	0,190
Crèche du Parc	Enfant 1 an	0,033
Crèche A petits pas	Enfant 1 an	0,029
Crèche les Trot's menus	Enfant 1 an	0,498
Ecole primaire Sainte-Suzanne	Enfant 10 ans	0,030
Ecole élémentaire du Centre	Enfant 10 ans	0,021

Le tableau 10 indique la dose efficace totale maximale calculée pour chaque groupe de population, en y intégrant la dose par exposition externe aux dépôts au sol pour une durée d'exposition de 2 jours.

Pour l'adulte, cette dose est maximale pour le groupe « pharmacie Dubreuil » avec une valeur égale à 1,85 mSv. Lorsqu'on s'éloigne du SHFJ, la dose efficace totale diminue progressivement (0,23 mSv au Centre Hospitalier, 0,2 mSv à la gare RER, 0,09 mSv à l'Hôtel de Ville et 0,05 mSv au marché couvert). Pour l'enfant de 1 an, la dose efficace maximale est égale à 0,55 mSv à la crèche des Trot's menus, 0,04 mSv à la crèche du Parc et 0,03 mSv à la crèche A petits pas.

Pour l'enfant de 10 ans, la dose efficace maximale est égale à 0,03 mSv à l'école Sainte-Suzanne et 0,02 mSv à l'école élémentaire du Centre.

Tableau 10 : Doses efficaces totales (inhalation + irradiation externe par le panache + irradiation externe aux dépôts au sol pendant 2 jours) pour les différents groupes de population.

Lieu	Classe d'âge	Dose efficace totale (mSv)
Hôtel de Ville	Adulte	0,089
Marché couvert	Adulte	0,050
Centre hospitalier d'Orsay	Adulte	0,232
Pharmacie Dubreuil (max)	Adulte	1,847
Gare RER	Adulte	0,197
Crèche du Parc	Enfant 1 an	0,038
Crèche A petits pas	Enfant 1 an	0,034
Crèche les Trot's menus	Enfant 1 an	0,554
Ecole primaire Sainte-Suzanne	Enfant 10 ans	0,032
Ecole élémentaire du Centre	Enfant 10 ans	0,023

En cas d'exposition aux dépôts sur 1 an, la dose efficace est à augmenter de 0,8mSv au maximum, à l'endroit le plus exposé.

Les radionucléides qui n'étaient pas présents dans le terme-source de l'étude de 2017, s'ils participent peu à l'exposition par irradiation externe, ont une contribution due à l'exposition par inhalation, notamment à cause de la présence de <sup>225</sup>Ac, responsable à 75% environ de la dose efficace totale des différents groupes de population.

## 5 - CONCLUSION

Cette étude est consacrée à la réévaluation de l'impact radiologique des rejets atmosphériques du SHFJ (Service Hospitalier Frédéric Joliot) à Orsay et considère de nouveaux termes-source par rapport à l'étude initiale, réalisée en 2017.

En raison des effets de site attendus, les simulations ont été réalisées à l'aide du système de modélisation PMSS. Elles présentent un caractère réaliste car la topographie et l'ensemble des bâtiments de la ville d'Orsay sont pris en compte dans le calcul 3D des écoulements et de la dispersion atmosphérique. De plus, les rejets normaux, subchroniques, sont effectivement traités comme tel, c'est-à-dire comme une succession de rejets brefs.

Pour le scénario accidentel, l'évaluation de doses proposée est majorante dans la mesure où les effets thermiques responsables de la surélévation du panache dans l'atmosphère ne sont pas modélisés.

Une évaluation de l'exposition externe a été faite pour l'ensemble des situations traitées dans le cadre de cette étude.

Un calcul complet tenant compte des effets d'ombrage par les bâtiments et la topographie a été effectué pour le traitement des rejets en fonctionnement normal des années 2021-2022 et 2022-2023. Seuls des calculs simplifiés ne considérant pas les effets d'ombrage ont été effectués pour les autres situations (rejets en fonctionnement normal d'une année-type, rejet incidentel et rejet accidentel).

Pour les rejets en fonctionnement normal de l'année 2021-2022, la dose maximale est obtenue à une centaine de mètres au Sud-Sud-Est du SHFJ, rue Archangé et vaut **5,9  $\mu\text{Sv}$** . Elle est due pour l'essentiel à l'exposition par irradiation externe due au passage du panache de  $^{11}\text{C}$ . A proximité du SHFJ, à la pharmacie Dubreuil, la dose pour l'adulte ne dépasse pas **2  $\mu\text{Sv}$** .

Pour les rejets en fonctionnement normal de l'année 2022-2023, correspondant à la période qui suit la mise en service du système de compression des gaz, la dose maximale est obtenue à une centaine de mètres au Sud-Sud-Est du SHFJ, rue Archangé et vaut **1,0  $\mu\text{Sv}$** . Elle est due pour l'essentiel à l'exposition par irradiation externe due au passage du panache de  $^{11}\text{C}$ . A proximité du SHFJ, à la pharmacie Dubreuil, la dose pour l'adulte ne dépasse pas **0,4  $\mu\text{Sv}$** .

Pour les rejets en fonctionnement normal d'une année type, la dose maximale est obtenue à une centaine de mètres au Sud-Sud-Est du SHFJ, rue Archangé et vaut **5,8  $\mu\text{Sv}$** . Elle est due pour l'essentiel à l'exposition par irradiation externe due au passage du panache de  $^{11}\text{C}$ . A proximité du SHFJ, à la pharmacie Dubreuil, la dose pour l'adulte ne dépasse pas **2,4  $\mu\text{Sv}$** .

Les doses correspondent à des conditions météorologiques associées aux chroniques de rejets pas particulièrement pénalisantes.

Ainsi, la dose sur la population riveraine des rejets radiologiques atmosphériques émis respectivement en 2021-2022 et en 2022-2023 par le SHFJ est très largement inférieure à la limite d'exposition du public de 1 mSv par an, valeur qui est indiquée dans le code de la santé publique (R.1333-11). L'association la plus pénalisante de conditions météorologiques et de chroniques de rejet pour une année quelconque conduirait également à une dose bien inférieure à 1 mSv, c'est-à-dire à un impact non préoccupant des rejets atmosphériques de l'installation.

Le rejet incidentel d'une bouffée de 185 GBq de  $^{11}\text{C}$  conduit, quelle que soit la condition météorologique envisagée, au maximum à une dose de **7,1  $\mu\text{Sv}$**  à une centaine de mètres au sud du SHFJ, après le passage du panache. A proximité du SHFJ, à la pharmacie Dubreuil, la dose pour l'adulte ne dépasse pas **4,5  $\mu\text{Sv}$** .

Le rejet incidentel d'une bouffée de 111 GBq de  $^{18}\text{F}$  conduit, quelle que soit la condition météorologique envisagée, au maximum à une dose de **74,2  $\mu\text{Sv}$**  à une centaine de mètres au sud du SHFJ, après le passage du panache. A proximité du SHFJ, à la pharmacie Dubreuil, la dose pour l'adulte ne dépasse pas **4,1  $\mu\text{Sv}$** .

Enfin le rejet accidentel de radionucléides, en cas d'incendie généralisé du bâtiment 830, conduit à une dose maximale, après le passage du panache, de **1,85 mSv** pour l'adulte à la pharmacie Dubreuil.

Quel que soit le scénario incidentel ou accidentel considéré, les doses sont, toutes, inférieures à 10 mSv qui est le premier niveau d'intervention présenté dans le code de la santé publique (article D.1333-84). Il n'y aurait donc pas lieu de prévoir la mise en œuvre de mesures de protection des populations.

Tableau 11 : Récapitulatif des doses efficaces maximales calculées dans le cadre de cette étude.

<b>Fonctionnement normal : dose efficace maximale (en <math>\mu</math>Sv)</b>				
<b>Limite pour la protection des populations</b>		<b>10 000</b>	<b>10 000</b>	<b>10 000</b>
<b>Lieu d'impact maximum</b>		<b>2021-2022</b>	<b>2022-2023</b>	<b>Année type</b>
rue Archangé		5,9	1,0	5,8
<b>Groupe de population</b>				
Pharmacie Dubreuil	Adulte	2,0	0,4	2,4
Crèche les Trot's menus	Enfant 1 an	2,7	0,6	3,5
Ecole primaire Sainte-Suzanne	Enfant 10 ans	0,25	0,08	0,4
<b>Fonctionnement incidentel : dose efficace maximale (en <math>\mu</math>Sv)</b>				
<b>Limite pour la protection des populations</b>		<b>10 000</b>	<b>10 000</b>	<b>10 000</b>
<b>Lieu d'impact maximum</b>		<b>Bouffée 185 GBq <math>^{11}\text{C}</math></b>		<b>Bouffée 111 GBq <math>^{18}\text{F}</math></b>
Environ 100 m au sud du SHFJ		7,1		74,2
<b>Groupe de population</b>				
Pharmacie Dubreuil	Adulte	4,5		4,1
Crèche les Trot's menus	Enfant 1 an	3,4		13,7
Ecole primaire Sainte-Suzanne	Enfant 10 ans	0,8		0,5
<b>Fonctionnement accidentel : dose efficace maximale (en mSv)</b>				
<b>Limite pour la protection des populations</b>		<b>10</b>	<b>10</b>	<b>10</b>
Pharmacie Dubreuil (max)	Adulte	1,85		
Crèche les Trot's menus	Enfant 1 an	0,55		
Ecole primaire Sainte-Suzanne	Enfant 10 ans	0,03		