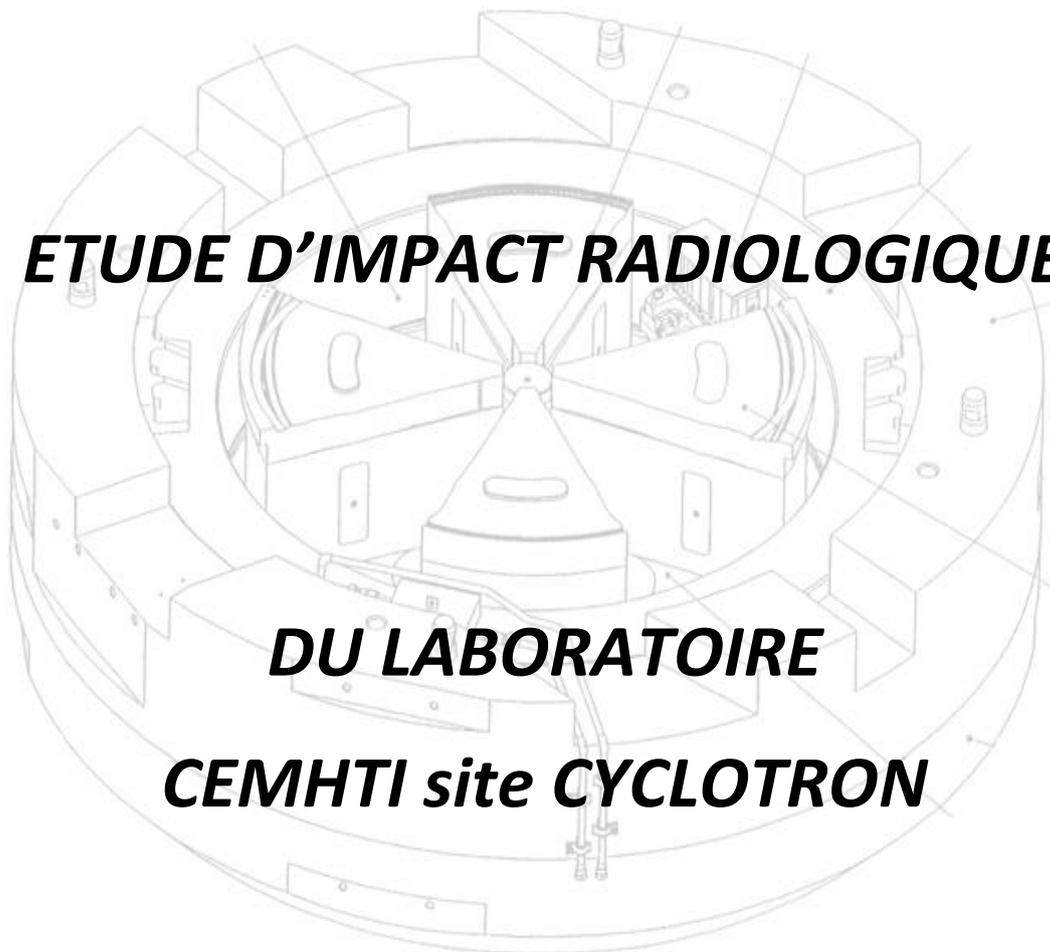




# ***ETUDE D'IMPACT RADIOLOGIQUE***

## ***DU LABORATOIRE***

### ***CEMHTI site CYCLOTRON***



# ETUDE D'IMPACT RADIOLOGIQUE

---

## Sommaire

I.	Définition des paramètres de simulations .....	3
1.	Terme source des rejets gazeux .....	3
2.	Voies d'exposition .....	4
a.	Exposition interne par inhalation .....	4
b.	Exposition externe due au passage du panache .....	5
c.	Exposition par dépôt au sol .....	5
d.	Exposition interne par ingestion .....	5
3.	Hauteur de rejet .....	6
4.	Groupes de référence.....	6
5.	Données météorologiques .....	7
II.	Impact radiologique en fonctionnement normal .....	8
1.	Résultats .....	8
III.	Impact radiologique en fonctionnement accidentel.....	9
1.	Résultats .....	9
	LISTE DES ANNEXES .....	12

Ce document présente l'impact radiologique des rejets gazeux radioactifs en fonctionnement normal et accidentel sur la population, l'environnement et les travailleurs exposés du CEMHTI Site Cyclotron du CNRS d'Orléans.

## I. Définition des paramètres de simulations

### 1. Terme source des rejets gazeux

Une étude concernant les effluents gazeux susceptibles d'être produit avec le cyclotron du CEMHTI a été réalisée et nous a permis d'identifier ces radioéléments. Une estimation théorique des activités associées à ses radioéléments a été réalisée. Tous ces résultats ont été recensés dans le tableau 1.

Radioéléments	période	Activité rejetée
<sup>14</sup> C	5700 ans	24kBq/an
<sup>7</sup> Be	53,24 jours	0,917 kBq/an
<sup>18</sup> F	109,77 minutes	4 580 kBq/an
<sup>41</sup> Ar	109,61 minutes	950 kBq/an
<sup>42</sup> K	12,321 heures	58,7 kBq/an
<sup>43</sup> K	22,3 heures	14,1 kBq/an
<sup>11</sup> C	20,334 minutes	Théorique : 2,59 GBq / production Expérimentale : 1,33 GBq/production
<sup>13</sup> N	9,965 minutes	3609 kBq/an

**Tableau 1: Liste des radioéléments produits par le cyclotron et leurs activités**

Nous pouvons constater que les principaux radioéléments rejetés sont le carbone 11, le fluor 18 et l'azote 13.

Le fluor 18 possédant une période plus longue que le C11, il pourrait être considéré comme une composante du terme source. Afin de vérifier cette hypothèse, nous avons réalisé quelques simulations pour évaluer l'impact radiologique du fluor 18. L'impact radiologique du fluor 18 est 10 fois moins élevé que celui du carbone 11, nous pouvons donc éliminer le fluor 18.

L'azote 13 possédant une période plus courte que le carbone 11, qui lui représente 99,97% de l'activité annuelle totale théoriquement rejetée, ne sera pas pris en compte dans la composition du terme source.

Des préleveurs d'air automatiques sont présents dans la casemate et chaque voie d'irradiation. Ils fonctionnent en continu 24h/24. Chaque mois, leurs filtres sont contrôlés afin de vérifier la non contamination de l'air par des radioéléments de longue période. Les résultats sont négatifs ce qui prouve l'absence de radioéléments de longue période tels que le C14 et le Be7.

Nous avons donc choisi le carbone 11 comme terme source pour réaliser cette étude. Il est rejeté dans l'atmosphère sous forme de dioxyde de carbone CO<sub>2</sub> [11].

L'activité annuelle moyenne est calculée à l'aide des fiches d'émanation de 2012 à 2014. Ces fiches permettent d'assurer la traçabilité des rejets gazeux et répertorient l'activité rejetée lors de chaque irradiation.

Le tableau 2 présente les caractéristiques du terme source carbone 11 rejeté en fonctionnement normal.

Isotope	Période	Activité annuelle rejetée
Carbone 11	20 minutes	1 144,52MBq

**Tableau 2 : Caractéristiques du terme source en fonctionnement normal**

En fonctionnement accidentel, le scénario retenu implique un rejet de 12 768 MBq de C11 par voie atmosphérique sur 4 h. Cette activité représente l'activité maximale pouvant être rejetée par le CEMHTI pendant la production de C11 en considérant que le gaz produit n'est pas synthétisé mais directement rejeté dans les ventilations du cyclotron durant 4 heures de fonctionnement.

## 2. Voies d'exposition

En cas de rejets de gaz radioactifs dans l'atmosphère, il existe différentes voies d'exposition de l'homme:

- l'immersion dans le panache conduit à une exposition interne par inhalation et une exposition externe par irradiation
- la présence de dépôt au sol entraîne une exposition externe par irradiation
- la consommation de végétaux dont l'activité résulte des dépôts d'aérosols et de gouttes de pluie ainsi que les transferts des dépôts au sol induit une exposition interne par ingestion.
- l'ingestion d'animaux ayant consommé des végétaux contaminés par les rejets gazeux radioactifs entraîne une exposition interne par ingestion.

### a. Exposition interne par inhalation

Cette voie d'exposition résulte de l'activité inhalée durant le passage du panache. Les débits respiratoires considérés sont calculés à partir des volumes d'air inhalés quotidiennement indiqués dans la CIPR 66 en fonction de l'âge de l'individu (cf. Tableau 3).

	Activité physique	Enfant de 1-2 ans	Enfant de 10 ans	Adulte
Débit respiratoire (m <sup>3</sup> /h)	normale	0,22	0,64	0,96
	modérée	0,30	0,90	1,20

**Tableau 3 : Débits respiratoires définis par la CIPR 66**

Pour le calcul des doses efficaces internes par inhalation, les coefficients de dose utilisés proviennent de l'arrêté du 1er septembre 2003. Ces coefficients de dose correspondent à un diamètre de particules de 1 µm.

Age	Enfant de 1-2 ans	Enfant de 10 ans	Adulte
<b>Inhalation (Sv/Bq)</b>	1,20x 10 <sup>-11</sup>	4,10 x 10 <sup>-12</sup>	2,20 x10 <sup>-12</sup>

Tableau 4: Coefficients de dose utilisés pour évaluer l'exposition interne par inhalation de <sup>11</sup>C

### b. Exposition externe due au passage du panache

On ne tient pas compte de la protection apportée par les habitations vis-à-vis de cette voie d'exposition. Les coefficients de dose sont donnés par le rapport Federal Guidance n°12. Le coefficient de dose est de  $4,89 \times 10^{-14} (\text{Sv/s})/(\text{Bq/m}^3)$  pour l'exposition externe par contamination.

### c. Exposition par dépôt au sol

Dans le cas des rejets par voie atmosphérique, les dépôts sur le sol résultent de mécanismes de diffusion, et sédimentation sur la surface du sol par temps sec et du lavage de l'atmosphère par temps de pluie. Ces facteurs, combinés avec les paramètres de diffusion (hauteur du rejet, vitesse du vent, écart-type de diffusion verticale), permettent d'évaluer les coefficients d'appauvrissement des constituants du panache ainsi que les dépôts au sol.

La pluie conduit à des dépôts plus importants. On calcule un taux de lavage du panache en fonction de la répartition de l'intensité des pluies. Ce taux de lavage permet d'évaluer une vitesse de dépôt par temps de pluie, qui varie selon la distance au point de rejet.

Les coefficients de dose pour l'irradiation externe par les dépôts sont issus du rapport Federal Guidance n°12. Ce coefficient de dose est de  $1,01 \times 10^{-15} (\text{Sv/s})/(\text{Bq/m}^2)$  pour l'exposition externe par dépôt au sol.

La vitesse de dépôt correspond au rapport du parcours moyen de la molécule sur le rayon de la molécule. Dans notre cas, le C11 est sous forme de CO<sub>2</sub>, les particules qui composent ce gaz sont tellement fines de l'ordre de 146 pm de diamètre que nous ne sommes pas sûrs d'avoir des résultats interprétables lors de la simulation avec DOSIMEX.

### d. Exposition interne par ingestion

#### **Activité transférée aux produits d'origine végétale**

Le transfert d'activité aux végétaux s'effectue, soit directement, par captation des aérosols et des gouttes de pluie par le couvert végétal, soit indirectement, par voie racinaire à partir du sol. Lorsque l'organe consommé est un fruit, un tubercule ou une racine, les transferts internes à la plante sont pris en compte.

L'activité présente dans les parties comestibles des végétaux suite à un dépôt de particules radioactives se déduit :

- du rapport de captation qui représente la fraction de dépôt interceptée par les parties aériennes de la plante
- du temps de croissance des végétaux : l'activité diminue par un phénomène biologique de dilution durant la croissance des végétaux

- du rendement de la culture qui correspond à la masse végétale en kg frais au moment de la récolte
- des facteurs de transfert interne au végétal.

Le transfert indirect de l'activité du sol aux végétaux prend en compte les dépôts au sol, les facteurs d'élimination de ces dépôts, eux-mêmes dépendant de la nature du sol (densité, profondeur racinaire), les facteurs de transfert aux végétaux et les durées de croissance de ceux-ci.

L'exposition interne résultant de l'ingestion de végétaux est obtenue à partir de l'activité dans ou sur les parties consommées au moment de la récolte.

### **Activité transférée aux produits d'origine animale**

L'incorporation par les animaux de l'activité rejetée s'effectue essentiellement par l'ingestion de végétaux.

Les coefficients de dose pour le calcul de dose efficace par ingestion sont définis par l'arrêté du 1<sup>er</sup> septembre 2003.

Âge	Enfant de 1-2 ans	Enfant de 10 ans	Adulte
<b>Ingestion (Sv/Bq)</b>	$1,5 \times 10^{-10}$	$4,3 \times 10^{-11}$	$2,4 \times 10^{-11}$

**Tableau 5: Coefficients de dose utilisés pour évaluer l'exposition interne par ingestion de <sup>11</sup>C**

En fonctionnement accidentel, nous allons prendre en compte l'exposition à court terme et l'exposition à long terme.

La dose efficace pour une exposition à court terme après le rejet accidentel prend en compte l'exposition due au panache (exposition externe par irradiation et interne par inhalation) et l'exposition externe due aux dépôts pendant une période définie. Cette période est fixée à 4h (environ 10 périodes de décroissance du carbone 11).

Pour une exposition à long terme après le rejet accidentel, nous étudions toutes les voies d'exposition. Le carbone possédant une période de 20 minutes (inférieure à 1 h), la dose par ingestion est négligeable car l'impact par dépôt aux sols est nul donc il n'y a pas de contamination des végétaux ni des animaux qui consomment les végétaux.

## **3. Hauteur de rejet**

Les rejets gazeux se font par l'intermédiaire d'une cheminée située sur le toit du bâtiment cyclotron. La hauteur de cette cheminée est de 8 mètres, ce qui correspond à la hauteur de rejets que nous allons considérer.

## **4. Groupes de référence**

Les groupes de référence sont choisis en fonction des conditions météorologiques, de l'existence d'habitations, de cultures et d'élevages. Chaque groupe est considéré comme présent en permanence sur le lieu étudié.

Situées sous les vents les plus fréquents, les populations de référence retenues sont les suivantes:

- Les travailleurs des laboratoires proches du CEMHTI :
  - le TAAM
  - l'IRAMAT
  - le CIPA.
- Les enfants et les adultes à la garderie du CNRS
- Les enfants et les adultes à la crèche familiale de la source
- Les enfants et les adultes dans les habitations les plus proches.

Le tableau 6 présente les caractéristiques des groupes de référence étudiés, leurs localisations ainsi que les conditions météorologiques:

Provenance du vent	Distance	Lieu	Age
207°	38 m	Parking avant	Adulte
348°	44 m	CIPA	Adulte
75°	56 m	Parking arrière	Adulte
163°	77m	IRAMAT	Adulte
190°	200m	Garderie	Enfant 1-2 ans Enfant 10 ans
29°	207 m	TAAM	Adulte
40°	330 m	Petit bâtiment du TAAM	Adulte
201°	740 m	Habitations les plus proches	Enfant 1-2 ans Enfant 10 ans Adulte
143°	1000 m	Crèche familiale de la source	Enfant 1-2 ans Enfant 10 ans Adulte

**Tableau 6 : Groupes de références**

## 5. Données météorologiques

Les données météorologiques utilisées sont fournies par Météo France sur une période de 20 ans. Elles permettent de connaître la répartition des vents en fonction de leur provenance et de leur vitesse (cf. annexe 1).

## II. Impact radiologique en fonctionnement normal

L'impact radiologique des rejets gazeux est évalué à l'aide du code de calcul Dosimex. Ce code permet, à partir d'un rejet gazeux émis dans l'atmosphère en fonctionnement normal et à débit annuel constant, en différents points de l'environnement de calculer l'impact radiologique en tenant compte des différents voies d'exposition et de leur impact sur l'homme.

### 1. Résultats

Le calcul d'impact est réalisé sur 1 an et 50 ans de rejet à débit constant pour les adultes, les travailleurs exposés et 1 an et 70 ans de rejet pour les enfants quel que soit leur âge.

Le radioélément ayant une période inférieure à 1 heure, l'impact radiologique est considéré comme identique après 1 an, 50 ans et 70 ans de fonctionnement.

Les groupes les plus exposés ont été choisis à l'aide de l'annexe 2 qui présente les résultats de l'impact radiologique en fonctionnement normal des populations les plus exposées pour chaque groupe de référence et chaque catégorie d'âge. Le tableau 7 synthétise les résultats de l'impact radiologique pour les groupes les plus exposés en fonction de l'âge.

Age	Enfant 1-2 ans	Enfant de 10 ans	Adulte
Impact par inhalation (mSv/an)	$1,80.10^{-06}$	$6,16.10^{-07}$	$6,44.10^{-07}$
Impact par immersion (mSv/an)	$7,61.10^{-07}$	$7,61.10^{-07}$	$1,48.10^{-06}$
Impact total (mSv/an)	$2,56.10^{-06}$	$1,38.10^{-06}$	$2,13.10^{-06}$

Tableau 7: Résultats de l'impact radiologique en fonctionnement normal

L'impact annuel en fonctionnement normal est de  $2,56.10^{-06}$  mSv/an pour les enfants de 1-2 ans soit 390 625 fois moins élevée que la dose efficace au public fixée à 1mSv/an par l'article R1333-8 du Code de la Santé Publique.

### III. Impact radiologique en fonctionnement accidentel

Nous avons réalisé une étude comparative en fonctionnement accidentel. Cette étude nous permet d'évaluer l'efficacité et la fiabilité du code de calcul Dosimex. Pour cela, nous avons utilisé les données d'une étude d'impact réalisée en fonctionnement accidentel avec le logiciel MITHRA. Nous avons constaté une marge d'erreur d'un facteur 100. Nous devons multiplier par 100 les résultats obtenus afin de refléter au mieux la réalité.

En fonctionnement accidentel, nous utilisons également le code de calcul Dosimex avec une correction d'un facteur 100.

#### 1. Résultats

Le calcul d'impact est réalisé sur 4h, 1 an et 50 ans de rejet à débit constant pour les adultes, les travailleurs exposés et de 1 an et 70 ans pour les enfants quelque soit leur âge.

L'impact par des dépôts aux sols ainsi que l'impact par ingestion sont négligeables vue la période courte du carbone 11 qui est de 20 minutes.

Le radioélément ayant une période inférieure à 1 heure, l'impact radiologique est considéré comme identique après 4h, 1 an, 50 ans et 70 ans de fonctionnement.

Les groupes les plus exposés ont été choisis à l'aide de l'annexe 3 qui présente les résultats de l'impact radiologique en fonctionnement accidentel des populations les plus exposées pour chaque groupe de référence et chaque catégorie d'âge. Les tableaux ci-dessous présentent les résultats de l'impact radiologique en fonctionnement accidentel des groupes les plus exposés pour chaque catégorie d'âge (cf. annexe 3) pour les expositions à court terme et à long terme :

##### ❖ **Exposition court terme:**

En fonctionnement accidentel, nous considérons que les adultes sont présents pendant toute la période étudiée (4h de fonctionnement) quelque soit la localisation.

Les enfants situés à de faibles distances (moins de 600m) sont considérés en exposition à court terme.

##### ➤ **Après 4h de fonctionnement**

Age	Enfant 1-2 ans	Enfant de 10 ans	Adulte
Impact par inhalation 4h (mSv)	$1,97.10^{-03}$	$6,87.10^{-04}$	$3,68.10^{-04}$
Impact par immersion 4h (mSv)	$8,49.10^{-05}$	$8,49.10^{-05}$	$8,49.10^{-05}$
Impact total (mSv)	$2,05. 10^{-03}$	$7,72.10^{-04}$	$4,53.10^{-04}$

Tableau 8 : Résultats de l'impact radiologique en fonctionnement accidentel en diffusion faible

Age	Enfant 1-2 ans	Enfant de 10 ans	Adulte
Impact par inhalation 4h (mSv)	$7,64.10^{-04}$	$2,60.10^{-04}$	$7,19.10^{-04}$

<b>Impact par immersion 4h (mSv)</b>	3,22.10 <sup>-05</sup>	3,22.10 <sup>-05</sup>	1,66.10 <sup>-04</sup>
<b>Impact total (mSv)</b>	7,95.10 <sup>-04</sup>	2,93.10 <sup>-04</sup>	<b>8,84.10<sup>-04</sup></b>

Tableau 9 : Résultats de l'impact radiologique en fonctionnement accidentel en diffusion normale

Après 4 h de fonctionnement, les populations les plus exposées sont les enfants de 1-2 en diffusion faible et les adultes en diffusion normale.

L'impact radiologique en fonctionnement accidentel est de 2,05. 10<sup>-03</sup>mSv/an pour les enfants de 1-2 ans. Cette valeur est 4878 fois moins élevée que le seuil de 10 mSv fixé pour la mise à l'abri par l'arrêté du 20 novembre 2009 homologuant la décision n° 2009 DC-0153 de l'Autorité de Sûreté Nucléaire du 18 août 2009 relative aux niveaux d'intervention en situation d'urgence radiologique.

❖ **Exposition long terme :**

Les enfants situés à de longues distances (plus de 600m) sont considérés en exposition à long terme.

En fonctionnement accidentel, nous considérons que les adultes sont présents pendant toute la période étudiée (1 an et 50 ans de fonctionnement) quelque soit la localisation.

Age	Enfant 1-2 ans	Enfant de 10 ans	Adulte
<b>Impact par inhalation (mSv/an)</b>	5,92.10 <sup>-04</sup>	4,89.10 <sup>-05</sup>	3,68.10 <sup>-04</sup>
<b>Impact par immersion (mSv/an)</b>	2,50.10 <sup>-05</sup>	6,16.10 <sup>-06</sup>	8,49.10 <sup>-05</sup>
<b>Impact total (mSv/an)</b>	<b>6,17.10<sup>-04</sup></b>	5,60.10 <sup>-05</sup>	4,53.10 <sup>-04</sup>

Tableau 10 : Résultats de l'impact radiologique en fonctionnement accidentel en diffusion faible

Age	Enfant 1-2 ans	Enfant de 10 ans	Adulte
<b>Impact par inhalation (mSv/an)</b>	3,11.10 <sup>-04</sup>	8,40.10 <sup>-06</sup>	7,19.10 <sup>-04</sup>
<b>Impact par immersion (mSv/an)</b>	1,31.10 <sup>-05</sup>	1,04.10 <sup>-06</sup>	1,66.10 <sup>-04</sup>
<b>Impact total (mSv/an)</b>	3,24.10 <sup>-04</sup>	9,44.10 <sup>-06</sup>	<b>8,84.10<sup>-04</sup></b>

Tableau 11 : Résultats de l'impact radiologique en fonctionnement accidentel en diffusion normale

Après 4 h de fonctionnement, la population les plus exposées sont les enfants de 1-2 ans en diffusion faible et les adultes en diffusion normale.

L'impact radiologique en fonctionnement accidentel pour les enfants de 1-2 ans est plus faible en exposition à long terme **6,17.10<sup>-04</sup> mSv/an** qu'à court terme **2,05. 10<sup>-03</sup> mSv/an**.

❖ **Estimation réalisée par le calcul**

Nous supposons qu'un travailleur effectue des travaux sur le toit. Il est proche de la cheminée et inhale le C11 rejeté sous forme de CO<sub>2</sub> par cette cheminée. Et un rejet accidentel à lieu.

Nous allons considérer deux situations :

- **Situation 1** : Ce cas représente une situation représentative de la réalité.  
Un rejet de C11 de 1330 MBq pendant 25 minutes dans l'atmosphère. Cette activité correspond à l'activité maximale produite lors d'une irradiation d'une durée de 25 minutes en considérant que le gaz n'est pas synthétisé mais directement rejeté dans l'environnement:
- **Situation 2** : un rejet de C11 de 13 406,4 MBq par voie atmosphérique pendant 4,2 heures. Cette activité correspond à près de 10 fois celle produite lors d'une irradiation de 25 minutes en considérant qu'aucune synthèse de C11 n'est effectuée et qu'il est directement rejeté dans l'environnement.

Nous allons calculer la dose efficace E que le travailleur est susceptible de recevoir par contamination interne à l'aide de la formule suivante :

$$E = I \times DPUI_{inh}$$

Avec I : activité de C11 incorporée par le travailleur en Bq

Et  $DPUI_{inh}$  : coefficient de dose pour évaluer l'exposition interne par inhalation de C11 en Sv/Bq. Il est de  $2,20 \cdot 10^{-12}$  Sv/Bq pour le C11 sous forme de  $CO_2$

$$\text{De plus, } I = Q \times f_v \times \frac{1}{V} \times D_{resp} \times t \times \frac{1}{k_s} \times n$$

Avec Q : activité rejetée de C11 en Bq

$f_v$  : facteur de volatilité du gaz, il est égal à 1 pour le  $CO_2$

V : volume de gaz inhalé en  $m^3$ . Nous considérerons ce volume comme égal à  $1 m^3$ .

$D_{resp}$  : débit respiratoire en  $m^3/h$ . Celui-ci est égal à  $1,20 m^3/h$  lors d'une activité physique modérée.

T : temps d'exposition en heure(s)

$k_s$  : facteur de sécurité / de protection. Dans le cas étudié, il est égal à 1.

n : nombre d'expériences réalisées avec le C11

$$\text{D'où : } I = Q \times t \times D_{resp}$$

Nous obtenons les résultats suivants pour les deux situations étudiées :

- **Situation 1** :

$$I = 1330 \cdot 10^6 \times 1,20 \times 0,42 = 6,70 \cdot 10^8 Bq$$
$$E = 6,70 \cdot 10^8 \times 2,20 \cdot 10^{-12} = 1,47 \cdot 10^{-03} Sv \text{ soit } 1,47 mSv$$

Pour une exposition de 25 minutes soit 0,42h, le travailleur est susceptible de recevoir une dose de 1,47 mSv par inhalation qui est 6,8 fois moins élevée que le seuil fixé à 10 mSv par l'arrêté du 20 novembre 2009 pour la mise à l'abri de la population

- **Situation 2** :

$$I = 1330 \cdot 10^6 \times 1,20 \times 4,2 = 6,70 \cdot 10^9 Bq$$

$$E = 6,70.10^9 \times 2,20.10^{-12} = 1,47.10^{-02} Sv \text{ soit } 14,7 mSv$$

Pour une exposition de 4,2 heures, le travailleur est susceptible de recevoir une dose de 14,7 mSv par inhalation qui est 3,4 fois moins élevée que le seuil fixé à 50 mSv pour l'évacuation de la population par l'arrêté du 20 novembre 2009.

# LISTE DES ANNEXES

Annexe 1: <i>Rose des vents fournie par Météo France</i> .....	13
Annexe 2 : Résultats de l'impact radiologique des populations les plus exposées en fonctionnement normal .....	14
Annexe 3 : Résultats de l'impact radiologique des populations les plus exposées en fonctionnement accidentel .....	17

# NORMALES DE ROSE DE VENT

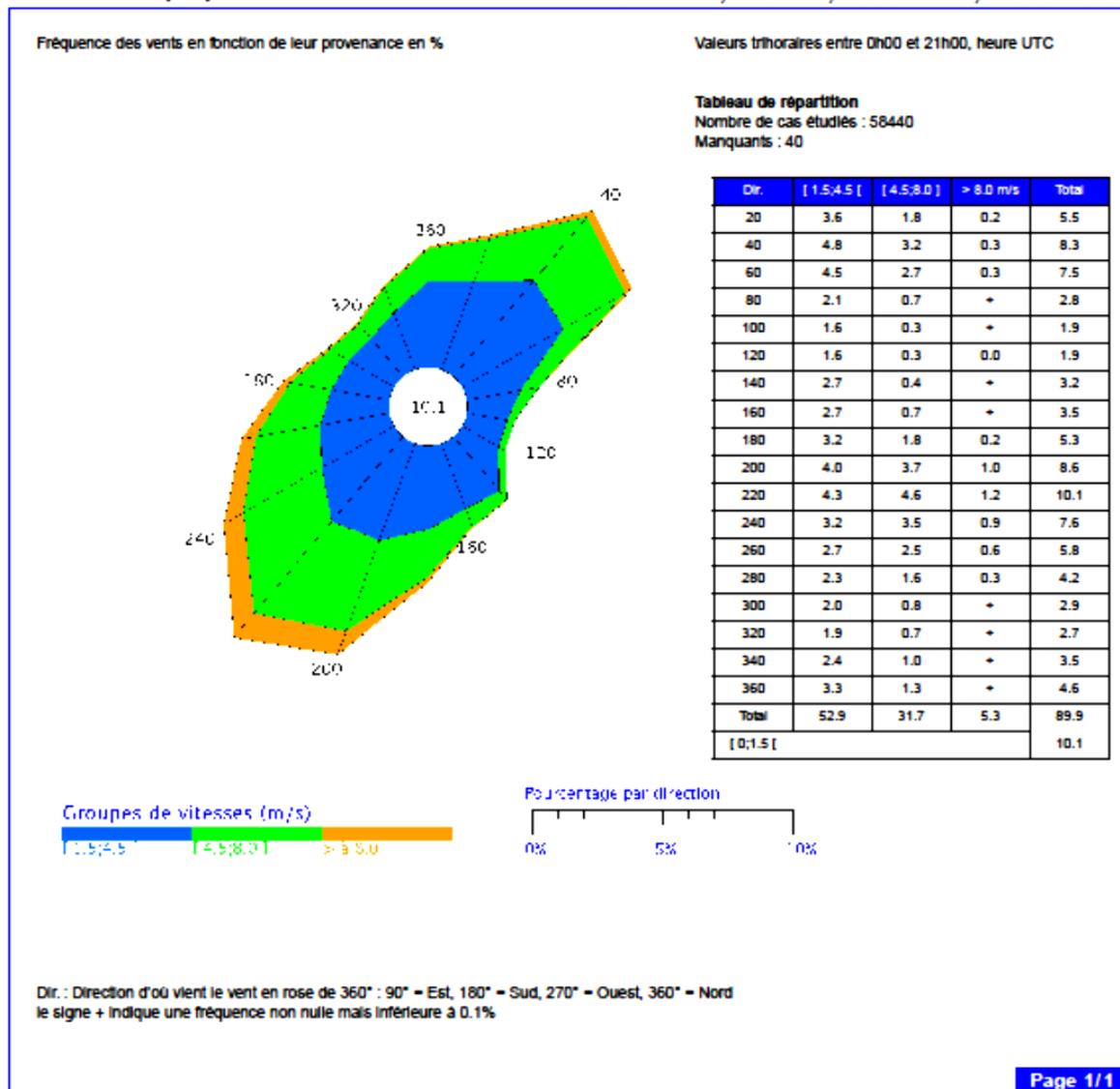
Vent horaire à 10 mètres, moyenné sur 10 mn

Période 1991-2010

5912304

ORLEANS (45)

Indicatif : 45055001, alt : 125 m., lat : 47°59'24"N, lon : 01°46'42"E



Edité le : 04/05/2015 dans l'état de la base

N.B. : La vente, redistribution ou rediffusion des informations reçues, en l'état ou sous forme de produits dérivés, est strictement interdite sans l'accord de METEO-FRANCE

Météo-France  
73 avenue de Paris 94165 SAINT MANDE  
Tél. : 0 890 71 14 15 – Email : contactmail@meteo.fr

## Annexe 1: Rose des vents fournie par Météo France

## Annexe 2 : Résultats de l'impact radiologique des populations les plus exposées en fonctionnement normal

Les tableaux ci - dessous présentent les résultats d'impact radiologique en fonctionnement des catégories de population les plus exposées pour chaque groupe de référence. Pour chaque catégorie de population, les résultats sont classés du groupe le plus exposé au groupe le moins exposé.

### Chez l'adulte

Lieu	Vitesse du vent (m/s)	Impact radiologique par inhalation (mSv/an)	Impact radiologique par immersion panache (mSv/an)	Impact radiologique par dépôt au sol (mSv/an)	Impact total (mSv/an)
<b>CIPA</b>	1	<b>6,44E-07</b>	<b>1,48E-06</b>	<b>0</b>	<b>2,13E-06</b>
Petit bâtiment du TAAM	5	1,60E-07	3,68E-07	0	5,27E-07
Parking arrière	1	1,58E-07	3,64E-07	0	5,21E-07
Parking avant	1	1,47E-07	3,38E-07	0	4,85E-07
Garderie	1	1,25E-07	2,89E-07	0	4,14E-07
IRAMAT	1	9,35E-08	2,16E-07	0	3,09E-07
TAAM	1	9,04E-08	2,08E-07	0	2,99E-07
Crèche familiale de la source	10	5,12E-08	1,18E-07	0	2,23E-07
Habitations les plus proches	1	4,04E-09	9,32E-09	0	1,34E-08

**Tableau 12 : Résultat de l'impact radiologique chez l'adulte en diffusion normale**

En diffusion normale, les adultes les plus exposés sont situés au CIPA avec un impact annuel de  **$2,13 \cdot 10^{-06}$  mSv/an** qui est inférieur à 1mSv/an

Lieu	Vitesse du vent (m/s)	Impact radiologique par inhalation (mSv/an)	Impact radiologique par immersion panache (mSv/an)	Impact radiologique par dépôt au sol (mSv/an)	Impact total (mSv/an)
Garderie	1	3,30E-07	7,61E-07	0	1,09E-06
Petit bâtiment du TAAM	1	2,99E-07	6,89E-07	0	9,87E-07
TAAM	1	2,43E-07	5,60E-07	0	8,04E-07
CIPA	1	1,98E-07	4,57E-07	0	6,56E-07
Crèche familiale de la source	4	9,72E-08	2,24E-07	0	1,72E-07
IRAMAT	1	4,19E-08	9,65E-08	0	1,38E-07
Parking arrière	1	2,80E-08	6,45E-08	0	9,25E-08
Habitations les plus proches	1	2,40E-08	5,53E-08	0	7,92E-08
Parking avant	1	2,20E-08	5,06E-08	0	7,26E-08

**Tableau 13 : Résultat de l'impact radiologique chez l'adulte en diffusion faible**

En diffusion faible, les adultes les plus exposés sont situés à la garderie du CNRS avec un impact annuel de  $1,09.10^{-06}$  mSv/an qui est inférieur à 1mSv/an.

### Chez l'enfant de 1-2 ans

Lieu	Vitesse du vent (m/s)	Impact radiologique par inhalation (mSv/an)	Impact radiologique par immersion panache (mSv/an)	Impact radiologique par dépôt au sol (mSv/an)	Impact total (mSv/an)
Garderie	1	6,84E-07	2,89E-07	0	9,73E-07
Crèche familiale de la source	10	2,79E-07	1,18E-07	0	3,97E-07
Habitations les plus proches	1	2,21E-08	9,32E-09	0	3,14E-08

**Tableau 14 : Résultats de l'impact radiologique chez l'enfant 1-2 ans en diffusion normale**

Lieu	Vitesse du vent (m/s)	Impact radiologique par inhalation (mSv/an)	Impact radiologique par immersion panache (mSv/an)	Impact radiologique par dépôt au sol (mSv/an)	Impact total (mSv/an)
Garderie	1	1,80E-06	7,61E-07	0	2,56E-06
Crèche familiale de la source	4	5,30E-07	2,24E-07	0	7,54E-07
Habitations les plus proches	1	1,31E-07	5,53E-08	0	1,86E-07

Tableau 15 : Résultat de l'impact radiologique chez l'enfant 1-2 ans en diffusion faible

Quelque soit le mode de diffusion les enfants de 1-2 ans les plus exposés sont situés à la garderie du CNRS. Nous pouvons constater que l'impact radiologique annuel est plus élevé en diffusion faible ( $2,56.10^{-06}$  mSv/an) qu'en diffusion normale ( $9,73.10^{-07}$  mSv/an) mais reste inférieur à 1mSv/an.

### Chez l'enfant de 10 ans

Lieu	Vitesse du vent (m/s)	Impact radiologique par inhalation (mSv/an)	Impact radiologique par immersion panache (mSv/an)	Impact radiologique par dépôt au sol (mSv/an)	Impact total (mSv/an)
Garderie	1	2,34E-07	2,89E-07	0	5,22E-07
Habitations les plus proches	1	3,38E-08	9,32E-09	0	4,31E-08

Tableau 16 : Résultats de l'impact radiologique chez l'enfant de 10 ans en diffusion normale

Lieu	Vitesse du vent (m/s)	Impact radiologique par inhalation (mSv/an)	Impact radiologique par immersion panache (mSv/an)	Impact radiologique par dépôt au sol (mSv/an)	Impact total (mSv/an)
Garderie	1	6,16E-07	7,61E-07	0	1,38E-06
Habitations les plus proches	1	1,36E-07	1,68E-08	0	1,53E-07

Tableau 17 : Résultats de l'impact radiologique chez l'enfant de 10 ans en diffusion faible

Les enfants de 10 ans les plus exposés sont situés à la garderie du CNRS quelque soit le mode de diffusion. L'impact annuel radiologique est plus élevé en diffusion faible ( $1,38.10^{-06}$  mSv/an) qu'en diffusion normale ( $5,22.10^{-07}$  mSv/an) mais reste inférieur à 1mSv/an.

### Annexe 3 : Résultats de l'impact radiologique des populations les plus exposées en fonctionnement accidentel

Les tableaux ci-dessous présentent les résultats de l'impact radiologique des catégories de populations les plus exposés pour chaque groupe de référence.

#### *Chez l'adulte*

Lieu	Vitesse du vent (m/s)	Impact radiologique par inhalation (mSv/an)	Impact radiologique par immersion panache (mSv/an)	Impact radiologique par dépôt au sol (mSv/an)	Impact total (mSv/an)
<b>CIPA</b>	<b>1</b>	<b>7,19E-04</b>	<b>1,66E-04</b>	<b>0</b>	<b>8,84E-04</b>
Garderie	1	1,40E-04	3,87E-04	0	5,26E-04
Petit bâtiment TAAM	5	1,78E-04	4,10E-05	0	2,19E-04
Parking arrière	1	1,76E-04	4,06E-05	0	2,17E-04
IRAMAT	1	1,04E-04	2,40E-05	0	1,28E-04
Parking avant	1	1,64E-04	3,77E-05	0	2,01E-04
TAAM	1	1,01E-04	2,32E-05	0	1,24E-04
Crèche familiale de la source	10	5,70E-05	1,31E-05	0	7,02E-05
Habitations les plus proches	1	4,51E-06	1,04E-06	0	5,55E-06

*Tableau 18 : Impact radiologique chez l'adulte en diffusion normale*

Les adultes les plus exposés sont situés au CIPA en diffusion normale avec un impact annuel de  $8,84.10^{-04}$  mSv/an.

Lieu	Vitesse du vent (m/s)	Impact radiologique par inhalation (mSv/an)	Impact radiologique par immersion panache (mSv/an)	Impact radiologique par dépôt au sol (mSv/an)	Impact total (mSv/an)
Garderie	1	3,68E-04	8,49E-05	0	4,53E-04
Petit bâtiment TAAM	1	3,33E-04	7,68E-05	0	4,10E-04
TAAM	1	2,71E-04	6,25E-05	0	3,34E-04
CIPA	1	2,21E-04	5,10E-05	0	2,72E-04
Crèche familiale de la source	4	1,08E-04	2,50E-05	0	1,33E-04
IRAMAT	1	4,67E-05	1,08E-05	0	5,75E-05
Parking arrière	1	3,12E-05	7,19E-06	0	3,84E-05
Habitations les plus proches	1	2,67E-05	6,16E-06	0	3,29E-05
Parking avant	1	2,45E-05	5,64E-06	0	3,01E-05

**Tableau 19 : Impact radiologique chez l'adulte en diffusion faible**

En diffusion faible, les adultes les plus exposés sont à la garderie du CNRS avec un impact annuel de  $4,53 \cdot 10^{-04}$  mSv/an.

### ***Chez l'enfant de 1-2 ans***

Lieu	Vitesse du vent (m/s)	Impact radiologique par inhalation (mSv/an)	Impact radiologique par immersion panache (mSv/an)	Impact radiologique par dépôt au sol (mSv/an)	Impact total (mSv/an)
Garderie	1	7,62 <sup>E</sup> -04	3,22 <sup>E</sup> -05	0	7,95 <sup>E</sup> -04
Crèche familiale de la source	10	3,11 <sup>E</sup> -04	1,31 <sup>E</sup> -05	0	3,24 <sup>E</sup> -04
Habitations les plus proches	1	2,95 <sup>E</sup> -04	1,04 <sup>E</sup> -06	0	2,96 <sup>E</sup> -04

Tableau 20 : Impact radiologique chez l'enfant de 1-2 ans en diffusion normale

Lieu	Vitesse du vent (m/s)	Impact radiologique par inhalation (mSv/an)	Impact radiologique par immersion panache (mSv/an)	Impact radiologique par dépôt au sol (mSv/an)	Impact total (mSv/an)
Garderie	1	1,97E-03	8,49E-05	0	2,05E-03
Crèche familiale de la source	4	5,92E-04	2,50E-05	0	6,17E-04
Habitations les plus proches	1	1,46E-04	6,16E-06	0	1,52E-04

Tableau 21 : Impact radiologique chez l'enfant de 1-2 ans en diffusion faible

Quelque soit le mode de diffusion, les enfants de 1-2 ans les plus exposés sont situés à la garderie du CNRS avec un impact annuel plus élevé en diffusion faible  $2,05 \cdot 10^{-03}$  mSv/an qu'en diffusion normale  $7,95 \cdot 10^{-04}$  mSv/an.

### Chez l'enfant de 10 ans

Lieu	Vitesse du vent (m/s)	Impact radiologique par inhalation (mSv/an)	Impact radiologique par immersion panache (mSv/an)	Impact radiologique par dépôt au sol (mSv/an)	Impact total (mSv/an)
Garderie	1	2,60E-04	3,22E-05	0	2,93E-04
Habitations les plus proches	1	8,40E-06	1,04E-06	0	9,44E-06

Tableau 22 : Impact radiologique chez l'enfant de 10 ans en diffusion normale

Lieu	Vitesse du vent (m/s)	Impact radiologique par inhalation (mSv/an)	Impact radiologique par immersion panache (mSv/an)	Impact radiologique par dépôt au sol (mSv/an)	Impact total (mSv/an)
Garderie	1	6,87E-04	8,49E-05	0	7,72E-04
Habitations les plus proches	1	4,98E-05	6,16E-06	0	5,60E-05

Tableau 23 : Impact radiologique chez l'enfant 10 ans en diffusion faible

Quelque soit le mode de diffusion, les enfants de 10 ans les plus exposés sont situés à la garderie avec un impact annuel est plus élevé en diffusion faible  $7,72.10^{-04}$  mSv/an qu'en diffusion normale  $2,93.10^{-04}$  mSv/an.