

CYCLOPHARMA LABORATOIRES

Site de Tours (37)

EVALUATION DES RISQUES SANITAIRES

EMISSIONS DE FLUOR 18 DANS L'ATMOSPHERE

Septembre 2013

SOMMAIRE

1	INTRODUCTION / CONTEXTE DE L'ETUDE	4
1.1	LA SOCIETE CYCLOPHARMA LABORATOIRES	4
1.2	CONTEXTE DE L'ETUDE	4
2	PRODUCTIONS DE L'INSTALLATION	5
2.1	PRINCIPE DE PRODUCTION DU FLUOR 18 – LE CYCLOTRON	5
2.2	CARACTERISTIQUES DU FLUOR 18	5
2.3	PRINCIPE DE PRODUCTION DES MOLECULES FLUOREES	5
2.3.1	Fabrication du ¹⁸ FDG	6
2.3.2	Caractéristiques de ce produit fini	6
2.4	CONDITIONS D'EMISSIONS A L'ATMOSPHERE DU FLUOR 18	7
2.5	QUANTIFICATION DES EMISSIONS	8
3	PRESENTATION GENERALE DE LA METHODOLOGIE "EVALUATION DES RISQUES SANITAIRES"	9
3.1	OBJECTIFS	9
3.2	METHODOLOGIE	10
4	DESCRIPTION DE L'ENVIRONNEMENT DU SITE	11
4.1	DEFINITION DE LA ZONE D'ETUDE	11
4.2	DESCRIPTION DE LA ZONE D'INTERET GENERAL	12
4.2.1	Populations	12
4.2.2	Hydrogéologie / nappes	12
4.2.3	Captages + usages de l'eau	12
4.2.4	Elevages et cultures	13
4.2.5	Données relatives à la qualité de l'air : surveillance de la radioactivité	13
4.3	DESCRIPTION ZONE D'INTERET PARTICULIER	16
4.3.1	Entreprises, sociétés, industries ou activités assimilées voisines (bureaux)	16
4.3.2	Etablissements recevant du public (ERP) voisins	16
4.3.3	Habitations voisines	17
4.4	SYNTHESE DES CIBLES DE L'IMPACT SANITAIRE POTENTIEL	17
5	ANALYSE PRELIMINAIRE ET CHOIX DES POLLUANTS TRACEURS DE RISQUE	18
5.1	INVENTAIRE DES SUBSTANCES EMISES / MODE D'EMISSION	18
5.2	DESCRIPTION DES DANGERS PRESENTES PAR LES SUBSTANCES : EFFETS SUR LA SANTE HUMAINE & COMPORTEMENT DANS L'ENVIRONNEMENT	18
5.2.1	Effets biologiques sur la santé humaine	18
5.2.2	Comportement dans l'environnement	20
5.3	DETERMINATION DES VOIES DE TRANSFERT RETENUES	20
5.4	DEFINITION DE LA RELATION DOSE-REPONSE	21
5.5	SCENARIOS D'EXPOSITION RETENUS / SCHEMA CONCEPTUEL	22

6	EVALUATION DES NIVEAUX D'EXPOSITION	23
6.1	PREAMBULE	23
6.2	LOGICIEL UTILISE POUR LA MODELISATION	23
6.3	DONNEES D'ENTREES	24
6.3.1	Calcul de la concentration en Fluor 18 en Bq/m ³	24
6.3.2	Calcul de la dose externe reçue en quelques points particuliers	26
6.3.3	Niveau ambiant	26
6.3.4	Contribution de l'établissement	26
7	ESTIMATION DU RISQUE SANITAIRE	27
7.1	METHODOLOGIE	27
7.2	CALCUL DE LA DOSE EFFICACE TOTALE	27
7.2.1	Exposition d'une personne adulte située dans la zone de retombées maximales (en dehors du site)	27
7.2.2	Exposition d'un enfant au niveau des habitations les plus proches (population la plus sensible et temps d'exposition le plus long)	28
7.3	COMPARAISON AUX VALEURS LIMITES ET DOSES AMBIANTES	29
7.3.1	Exposition d'une personne adulte située dans la zone de retombées maximales	29
7.3.2	Exposition d'un enfant au niveau des habitations les plus proches (population la plus sensible et temps d'exposition le plus long)	29
7.4	CONCLUSION	29
8	ANALYSE QUALITATIVE DES INCERTITUDES LIEES A L'EVALUATION	30
9	BIBLIOGRAPHIE ET SOURCES D'INFORMATION	30

1 INTRODUCTION / CONTEXTE DE L'ETUDE

1.1 LA SOCIETE CYCLOPHARMA LABORATOIRES

La société « Les Laboratoires Cyclopharma » a été créée en Aout 2000 avec les premières productions industrielles de ¹⁸FDG sur un site de Nice en juillet 2001. Elle est spécialisée dans la radiopharmacie.

L'utilisation simultanée de la technologie TEP (utilisée en particulier dans le diagnostic et le suivi thérapeutique du traitement des cancers) et de cyclotrons médicaux a permis de montrer, tant en Europe qu'aux États-Unis, l'immense intérêt de cette nouvelle voie d'investigation médicale.

C'est devant cet état de fait qu'ont été créés les Laboratoires CYCLOPHARMA, avec pour objectif de structurer un réseau français de sites de production et de commercialisation du GLUCOTEP® (18FDG).

Le projet des Laboratoires CYCLOPHARMA (pour faire face aux besoins d'un marché en pleine croissance) consiste à mettre en œuvre un réseau de plusieurs cyclotrons de production d'isotopes à courte durée de vie dans des sites pharmaceutiques et à proximité de services médicaux. Ces Laboratoires sont spécialisés pour produire des doses de GLUCOTEP® (18FDG) et de plus en plus d'autres spécialités radiopharmaceutiques /traceurs, à livrer rapidement aux services de Médecine Nucléaire, conformément aux réglementations en vigueur (Santé, Industrie, Environnement, Radioprotection, Sécurité, Environnement). La production est organisée en réseau pour garantir aux utilisateurs des livraisons compatibles avec le fonctionnement des services.

Chaque implantation est sélectionnée en fonction des besoins médicaux et des facilités de livraisons. Le maillage du territoire français est lié à la spécificité du 18-F : perte de la moitié de son activité toutes les 2 heures. Produire au plus près des utilisateurs constitue la principale contrainte pour les Laboratoires CYCLOPHARMA.

La société dispose aujourd'hui de 8 sites en fonctionnement répartis sur le territoire français :

- Saint-Beauzire (63) – 2007 (également le Siège de la société)
- Tours (37) - 2008
- Illkirch-Graffenstaden (67) - 2009
- Janneyrias (38) - 2009
- Glisy (80) - 2009
- Caen (14) - 2010
- Toulouse (31) - 2010
- Marseille (13) – 2010

1.2 CONTEXTE DE L'ETUDE

Les différents établissements de la société ne sont plus soumis à la réglementation sur les installations classées pour la protection de l'environnement (ICPE) au titre de leur activité radiologique/activité de détention. Ils ne sont pas non plus considérés comme installations nucléaires de base (INB). Les activités de la société sont encadrées par l'autorité de sûreté nucléaire (ASN).

La société CYCLOPHARMA à l'heure actuelle a obtenu dans le cadre de la procédure d'autorisation de l'ASN de rejeter dans l'air 15 GBq par an et par site.

Suite à des discussions avec l'ASN et bien que la réglementation n'impose pas aux établissements Cyclopharma la réalisation de ce type d'étude, la société CYCLOPHARMA a décidé de faire réaliser une étude de dispersion de ses rejets de Fluor¹⁸ et l'évaluation associée des risques sanitaires sur les populations environnantes pour chacun des 8 sites du territoire Français.

Le présent rapport constitue l'évaluation des risques sanitaires liés à l'émission de Fluor 18 dans l'atmosphère par le processus de production de l'établissement de Tours (37).

L'évaluation des risques sanitaires ne vise que le rejet de ce composé.

2 PRODUCTIONS DE L'INSTALLATION

2.1 PRINCIPE DE PRODUCTION DU FLUOR 18 – LE CYCLOTRON

Schématiquement, on extrait du cyclotron un faisceau de protons de 15 MeV dirigé vers une cible d'eau enrichie en oxygène-18 (^{18}O , isotope stable non radioactif naturel), cette dernière pouvant être récupérée pour recyclage. Cette cible est alimentée par un circuit étanche asservi par un automate permettant de transférer l'eau dans la cible, de pressuriser la cible par de l'hélium, de transférer avec l'hélium en retour l'eau activée en fluor 18 (^{18}F) de manière sécurisée vers l'enceinte blindée sélectionnée, puis de sécher le circuit.

2.2 CARACTERISTIQUES DU FLUOR 18

C'est un traceur radioactif émetteur de positons (électron positif ou e^+) utilisé pour le marquage de molécules d'intérêt biologique. Cet isotope a une carence en neutrons et se désintègre lorsqu'un proton se transforme spontanément en neutron, provoquant ainsi l'émission d'un positon.

On utilise cet isotope surtout parce qu'il se désintègre en émettant uniquement des positons. Le positon, c'est-à-dire une antimatière, est un électron à charge positive. Après son émission et dissipation de son énergie cinétique dans la matière, le positon entre en collision avec un électron et entreprend un processus d'annihilation antimatière-matière. Au cours de ce processus, les deux masses équivalentes du positon et de l'électron sont converties en rayonnement électromagnétique qui prend la forme de deux photons à rayonnements égaux (511 keV) émis à 180° l'un de l'autre. C'est cette émission de rayon gamma qui est détectée. Étant donnée sa courte période (109,8 minutes soit 1,83 heure), cet isotope doit être produit immédiatement avant son utilisation. Il est produit dans un cyclotron qui se trouve nécessairement à proximité. Le fluor 18 se désintègre en donnant de l'oxygène 18 stable en émettant un positon et un neutrino.



Malgré l'émission β^+ , le fluor 18 fait partie du groupe 4 (faible radiotoxicité) en raison de la brièveté de sa période. Le tableau ci-dessous donne les caractéristiques d'émission du fluor 18.

Type d'émission	Energie (keV)	Pourcentage (%)
e^-	0,5	2,9
β^+	Max. 633,5 – moy. 249,3	96,8
γ	511	194

Tableau 1 : Caractéristiques d'émission du fluor 18

2.3 PRINCIPE DE PRODUCTION DES MOLECULES FLUOREES

L'établissement produit majoritairement du GLUCOTEP® (18FDG), mais pour faire face aux besoins d'un marché en pleine croissance, la société exploite désormais plusieurs spécialités radiopharmaceutiques, donc peut également produire d'autres types de molécules fluorées sur un principe de production similaire.

Certaines sont utilisées pour le diagnostic et le suivi thérapeutique des cancers et de la maladie de Alzheimer. Cyclopharma en couvrant la totalité du territoire participe activement à cette activité médicale que l'on peut situer dans le cadre de la médecine personnalisée.

2.3.1 Fabrication du ^{18}F FDG

A titre d'information, les principales étapes de synthèse du ^{18}F FDG sont les suivantes :

Produit utilisé	Opération chimique
^{18}F provenant de l'irradiation de ^{18}O	Piégeage du ^{18}F dans une cartouche standard d'échange d'anion (possibilité de recyclage de l'eau enrichie)
K_2CO_3 et Kryptofix dans un mélange d'eau et d'acétonitrile	Elution du ^{18}F (sec) et transfert dans un réacteur chimique, le Kryptofix étant le catalyseur de la réaction
Acétonitrile	Synthèse du FDG Evaporation par solvant à une température de 85°C, sous vide et dans un flux d'azote
Acétonitrile	Dissolution du précurseur et dissolution du complexe $^{18}\text{F}/\text{Kryptofix}/\text{K}^+$
NaOH	Hydrolyse alcaline de la solution afin d'obtenir du FDG pur
Eau	La solution entraînée par de l'eau et filtrée dans une cartouche de carbone TC18 ; les impuretés finales sont ainsi éliminées
HCl / citrate de sodium	Elution du ^{18}F FDG avec de l'eau, neutralisation à l'acide et solution tampon pour obtenir un pH compatible avec l'injection au patient.

Tableau 2 : Les différentes étapes de la synthèse du ^{18}F FDG

2.3.2 Caractéristiques de ce produit fini

Le produit obtenu est du ^{18}F FDG (2-fluoro-2-deoxy-d-glucose-(18F)).

Pour chaque lot fabriqué 5 flacons supplémentaires sont élaborés : X pour les clients, 3 pour les contrôles et 2 pour l'échantillonnage. Chaque lot représente un volume de quelques mL pour une radioactivité d'une centaine de GBq dont l'activité volumique au moment de la répartition est variable en fonction des besoins (chaque flacon (X) rempli de 0,2 à 10 mL).

Les productions sont réalisées à la demande et il ne peut pas se passer plus de 12 heures maximum entre la fabrication et l'injection au patient. Cette durée de péremption du produit est courte pour 2 raisons :

- Demi-vie très courte du ^{18}F (109,8 minutes)
- Stérilité/stabilité du produit injectable

Ce sucre actif est injecté sous forme liquide au patient.

Une fois injecté au patient le rayonnement du ^{18}F (resté lié à la molécule de FDG est piégé dans la cellule et s'accumule sous forme d'une hyperfixation dans le tissu tumoral) est détecté par une caméra TEP qui peut être couplée à un Scanner est donc capté en fonction de l'activité des cellules.

Une partie de la dégradation du ^{18}F FDG est éliminée dans les urines.

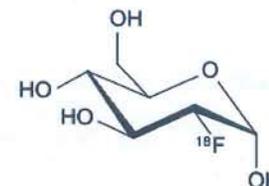


Figure 1 : Structure chimique du 18FDG

2.4 CONDITIONS D'EMISSIONS A L'ATMOSPHERE DU FLUOR 18

L'établissement peut réaliser en moyenne (configuration de référence pour cette étude) 3 cycles de production sur la journée du Lundi au Vendredi sur 52 semaines.

Rappel du synoptique général du process de fabrication d'un radiopharmaceutique au sein de Cyclopharma :

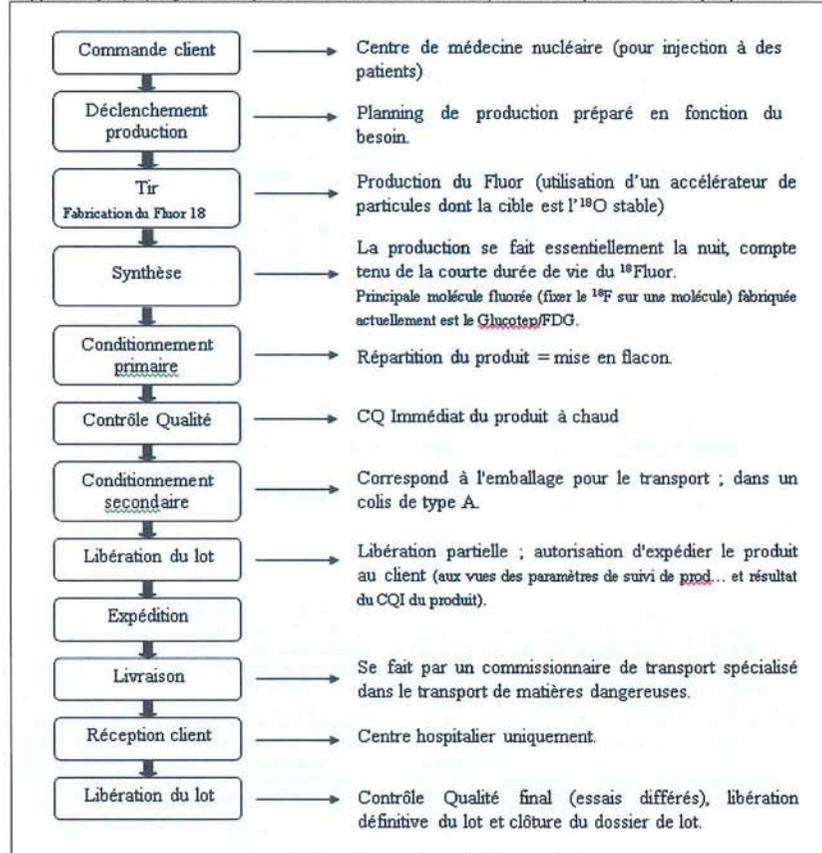


Figure 2 : Rappel du synoptique général de production

L'émission de Fluor 18 à l'atmosphère a lieu un peu pendant les tirs cyclotron puis principalement pendant les phases de synthèse et de répartition (et un peu pendant le contrôle qualité réalisé souvent en parallèle de la répartition).

On peut décomposer ces cycles de production comme suit :

- ≈ 2h30 de tirs dans le cyclotron (en rouge ci-dessous)
- ≈ 30 minutes de synthèse (en jaune ci-dessous)
- ≈ 1 heure de répartition (en bleu ci-dessous)

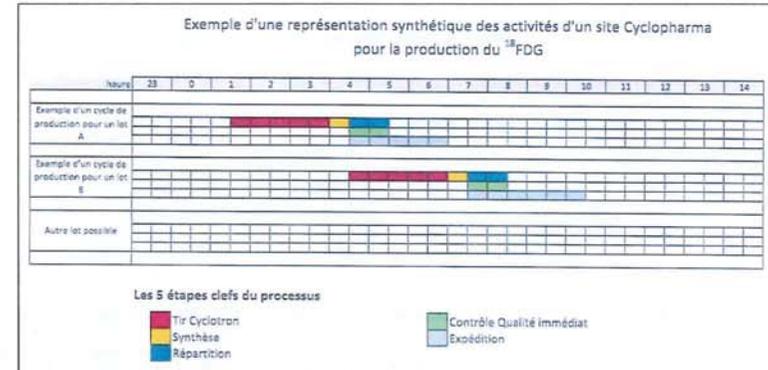


Figure 3 : cycles de production

Les émissions sont canalisées vers deux cheminées dont les émissaires sont situés en toiture du bâtiment :

Cheminée	Dimensions	Rejets canalisés	Débit	Hauteur du point de rejet
Principale	1,8 m X 0,7 m	Rejets Cyclopharma (sauf cyclotron) Rejets CERRP	16 000 m³/h (dont environ 10 000 m³/h pour Cyclopharma)	8,3 m
Secondaire	Diamètre : 0,4 m	Rejets du Cyclotron	1 200 m³/h	8 m

Tableau 3 : description des cheminées

2.5 QUANTIFICATION DES EMISSIONS

L'établissement fait réaliser à minima une mesure annuelle sur ces émissaires de rejets.

Sur la base des résultats des campagnes de mesures, il a été décidé de retenir pour la présente étude une concentration constante de 10 000 Bq/m³ pendant les 3 cycles de production consécutifs d'une durée totale arrondie à 4 heures chacun (soit de 1h du matin à 13 heures). Cette valeur de concentration est considérée comme représentative d'un rejet en fin de cycle de vie de l'installation de filtration des émissions. Cette hypothèse est donc une configuration maximale pour l'évaluation du risque sanitaire ne correspondant actuellement pas à l'autorisation de rejet.

Compte-tenu que :

- La concentration en F18 dans les rejets dus au cyclotron est faible au regard des rejets de la phase de synthèse.
- le débit de rejet de la cheminée secondaire et très inférieur à celui de la cheminée principale,

Nous considérerons dans la suite de l'étude un rejet continu de 10 000 Bq/m³ sur la cheminée principale sur le débit total de tout le site pendant toute l'activité du site (soit approximativement de 1 heure à 13 heures). Cette hypothèse majorante représente une situation très conservatoire pour la suite de l'évaluation du risque.

Sur la base de ces concentrations et du débit de rejets de l'extraction, nous retiendrons les flux de rejet suivants dans la suite de l'étude :

Heure	0-1	1-2	2-3	3-4	4-5	5-6	6-7	7-8	8-9	9-10	10-11	11-12	12-13	13-14
Flux (Bq/s)	0	44 444	44 444	44 444	44 444	44 444	44 444	44 444	44 444	44 444	44 444	44 444	44 444	0

Tableau 4 : Flux de F18 rejetés

Flux en Bq/s = [concentration (Bq/m³) X débit de rejet (m³/h)/3600] X temps de fonctionnement (heure complète dans le cas présent)

La concentration ne variant pas en fonction de l'étape considérée du cycle et tient compte de la juxtaposition des cycles.

3 PRESENTATION GENERALE DE LA METHODOLOGIE "EVALUATION DES RISQUES SANITAIRES"

Potentiellement, les atteintes à la santé publique peuvent se faire par la transmission de composés dangereux à l'homme principalement par l'intermédiaire des eaux, de l'air et des émissions sonores.

Seuls les niveaux d'exposition en fonctionnement normal ou transitoire (démarrage, arrêt programmé...) de l'installation sont envisagés. Le fonctionnement accidentel étant envisagé dans l'étude de dangers.

Ce chapitre, relatif aux impacts sur la santé doit viser spécifiquement les effets potentiels des éventuels polluants sur la santé publique. Il concerne donc exclusivement les tiers situés dans l'environnement du site et non le personnel associé aux activités de CYCLOPHARMA pour lesquels la protection de la santé est encadrée par le Code du Travail.

Cette évaluation a été réalisée :

- en adaptant la méthodologie "Evaluation des risques sanitaires dans les études d'impact des Installations Classées pour la Protection de l'Environnement – Substances chimiques" [bibliographie 1].
- sur la base des données disponibles dans l'arrêté du 1^{er} septembre 2003 [bibliographie 3] définissant les modalités de calcul des doses efficaces et des doses équivalentes résultant de l'exposition des personnes aux rayonnements ionisants.

3.1 OBJECTIFS

L'objectif est l'évaluation quantitative des risques sanitaires (conséquences éventuelles de l'activité sur la santé des populations) liés à l'activité de la société CYCLOPHARMA, site de Tours

L'évaluation des risques est menée sur la base des connaissances techniques et scientifiques du moment.

Elle a pour but de conclure quant à un éventuel effet sur la santé imputable à l'activité de production de molécules fluorées (émissions atmosphériques associées de ¹⁸F), vis à vis de l'homme (population sensible), dans le cadre d'une exposition chronique (exposition allant de quelques années à la vie entière).

3.2 METHODOLOGIE

Le modèle d'évaluation des risques pour la santé repose sur le concept "sources – vecteurs - cibles" :

- source de substances à impact potentiel ;
- transfert des substances par un "vecteur" vers un point d'exposition ;
- exposition à ces substances des populations (ou "cibles") situées au point d'exposition.

Les étapes constituant la démarche d'évaluation des risques pour la santé sont les suivantes :

1. **Description de l'environnement du site** : cette étape consiste à cadrer la zone d'étude et effectuer un bilan des données existant au niveau de cette zone (types d'occupations du sol, populations concernées, activités humaines, etc....).
2. **Analyse préliminaire et choix des polluants traceurs de risques** : il s'agit :
 - de sélectionner les polluants traceurs de risque, pour lesquels on va réaliser une évaluation quantitative du risque sanitaire ;
 - d'identifier les effets indésirables que ces polluants sont intrinsèquement capables de provoquer chez l'homme ;
 - d'évaluer la relation dose – réponse : elle consiste à estimer la relation entre la dose ou le niveau d'exposition aux polluants, et l'incidence et la gravité de ces effets.
3. **Evaluation des niveaux d'exposition** : elle comprend notamment le choix des voies d'exposition retenues, la définition des scénarios d'exposition et le calcul, pour les populations cibles, des quantités de polluants absorbées sous la forme d'une dose d'exposition.
4. **Estimation du risque sanitaire** : elle consistera à comparer la dose efficace totale annuelle générée par l'établissement à la valeur limite d'exposition définie par la réglementation et au niveau ambiant mesuré dans l'environnement de l'établissement.
5. **Analyse qualitative des incertitudes liées à l'évaluation.**

4 DESCRIPTION DE L'ENVIRONNEMENT DU SITE

4.1 DEFINITION DE LA ZONE D'ETUDE

La zone d'étude pertinente est définie selon le rayon d'influence des émissions atmosphériques du Fluor 18 de l'établissement de Tours

La zone impactée retenue est celle pour laquelle les concentrations dans l'air ambiant calculées sont au moins égales au $1/10^{ème}$ de la concentration maximale modélisée [bibliographie 2] pour le Fluor 18.

Une première modélisation de la dispersion atmosphérique met en évidence une concentration maximale de Fluor 18 dans l'air ambiant qui se situe à $0,38066 \text{ Bq/m}^3$ (concentration moyenne permanente dans l'environnement du site générée par les émissions de celui-ci durant toute l'année).

La zone d'étude retenue se définit par carré qui s'inscrit dans la courbe d'isoconcentration correspondant au $1/10^{ème}$ de cette concentration maximale.
La superficie de la zone d'étude est environ $0,64 \text{ km}^2$ ($800 \text{ m} \times 800 \text{ m}$).

Elle s'inscrit sur le seul territoire de la commune de Tours Cette zone est représentée ci-dessous :

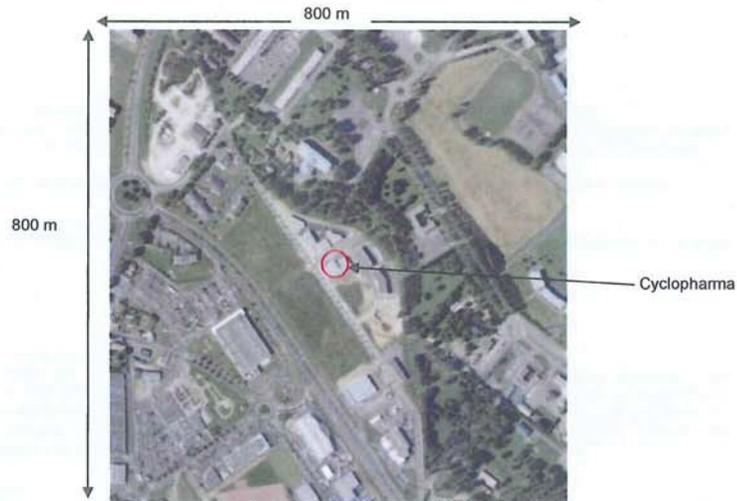


Figure 4 : vue aérienne de la zone d'étude

4.2 DESCRIPTION DE LA ZONE D'INTERET GENERAL

La zone d'intérêt général correspond au territoire de la commune de Tours, seule commune de la zone d'étude.

4.2.1 Populations

L'établissement Cyclopharma est implanté au Nord-Est du territoire de la commune de Tours à 4600 m environ au Nord-Est du centre-ville. Tours appartient à la communauté d'agglomération Tours plus qui compte 19 communes.

Commune et Communauté d'agglomération	Population totale (recensement de 2010)
Tours	138 268
Communauté d'agglomération Tours plus	284 885

Tableau 5 : population communale et intercommunale

4.2.2 Hydrogéologie / nappes

L'établissement est située sur le bassin hydrographique Loire-Bretagne, sur le masse d'eau souterraine «Sables et grès captifs du Cénomaniens unité de la Loire - GG142 - FRGG142».

Les données ci-dessous sont extraites de la fiche dossier du sous-sol 04574X0159/SP2 du BRGM sur le site Info-terre réalisé dans le cadre de l'implantation d'un forage pour utilisation de l'eau au niveau de la base aérienne à environ 300 m au Nord-Est du site.

Sous un recouvrement argileux peu épais (environ 3 m), se trouvent environ 10 mètres de sables argileux à sables fins. Le tout repose sur des marnes (substratum du Turonien).

Une nappe phréatique existe au droit du site à une profondeur comprise entre 12 et 16 m.

On trouve par ailleurs à une profondeur de plus 120 mètres une nappe plus importante (nappe artésienne).

4.2.3 Captages + usages de l'eau

La Ville de Tours exploite essentiellement la nappe alluviale située dans le lit de la Loire pour satisfaire ses besoins en eau potable. L'eau produite est issue des deux champs captants situés sur l'île Aucard et l'île de Rochecorbon respectivement à 3400 mètres environ au Sud-Ouest et 4300 m au Sud-Est du site.

La consultation du site INFOTERRE du BRGM a permis de mettre en évidence la présence de captages ou forages pour divers usages dans l'environnement de l'établissement. Les points d'eau les plus proches sont les puits de la base aérienne qui captent de l'eau à une profondeur d'environ 16 mètres (environ 300 m au Nord-Est) ainsi qu'un forage dont l'eau captée à environ 15 mètres de profondeur est utilisée pour de l'aspersion (250 m environ au Sud-Ouest du site).



Figure 5 : localisation des points d'eau

4.2.4 Elevages et cultures

Aucune zone d'élevage ou de culture n'a été identifiée dans la zone d'étude.

Source : [Géoportail – Registre parcellaire graphique RPG \(2010\)](http://www.geoportail.gouv.fr/accueil) - <http://www.geoportail.gouv.fr/accueil>

4.2.5 Données relatives à la qualité de l'air : surveillance de la radioactivité

a. L'association pour la surveillance de la qualité de l'air en région Centre : Lig'Air

L'association Lig'Air a pour rôle la surveillance de la qualité de l'air sur les 6 départements de la région Centre (Cher, Eure-et-Loir, Indre, Indre-et-Loire, Loir-et-Cher et Loiret), l'information et la diffusion de ses résultats.

Lig'Air dispose de 4 stations sur l'agglomération de Tours. Aucune surveillance de la radioactivité atmosphérique n'est réalisée au niveau de ce réseau.

Source : <http://www.liqair.fr>

b. Réseau national de mesure de la radioactivité de l'environnement

Le Réseau national est développé sous l'égide de l'Autorité de Sécurité Nucléaire. Sa gestion en a été confiée à l'Institut de Radioprotection et de Sécurité Nucléaire (IRSN). Les autres acteurs du réseau comprennent des représentants des principaux ministères concernés, des agences sanitaires, des instituts publics, des industriels du nucléaire et des associations de protection de l'environnement et des consommateurs.

Le réseau national de mesures de la radioactivité de l'environnement a pour mission de contribuer à l'estimation des doses dues aux rayonnements ionisants auxquels la population est exposée et à l'information du public. Pour atteindre cet objectif, le réseau national rassemble et met à la disposition du public :

- des résultats de mesures de la radioactivité de l'environnement ;
- des documents de synthèse sur la situation radiologique du territoire et sur l'évaluation des doses dues aux rayonnements ionisants auxquels la population est exposée.

Les données sont accessibles à l'adresse suivante : <http://www.mesure-radioactivite.fr>

Les données sur la radioactivité de l'environnement comprennent notamment les résultats des mesures réalisées :

- dans le cadre de dispositions législatives ou réglementaires visant à évaluer les doses auxquelles la population est soumise, notamment celles résultant des activités nucléaires ;
- à la demande des collectivités territoriales, des services de l'Etat et de ses établissements publics ;
- par tout organisme public, privé ou associatif, et dont l'organisme détenteur des résultats demande leur diffusion sur le réseau national.

Ces mesures doivent obligatoirement être effectuées par des laboratoires agréés ou par l'Institut de radioprotection et de Sécurité Nucléaire (IRSN).

Les mesures réalisées au niveau des stations les plus proches du site montrent les résultats suivants

Station	Méthode de surveillance	Période de mesure	Dose ambiante
Parcay-Meslay	Débit de dose gamma ambiant mesuré par dosimétrie active (sonde de télémétrie)	01/06/2012 au 31/05/2013	Dose moyenne : 100,69 nSv/h Maxi mesuré : 117,78 nSv/h Mini mesuré : 92,36 nSv/h

Tableau 6 : Débit de dose gamma ambiant mesuré sur la station la plus proche



Figure 6 : Localisation de la station de Parcay-Meslay et du site

c. Portail de la mesure de la radioactivité dans l'environnement

Le portail de l'IRSN (<http://sws.irsn.fr/sws/mesure>) fournit également des résultats de surveillance de la radioactivité dans l'environnement de l'établissement.

Les données ci-dessous sont issues du collecteur d'aérosols sur filtre le plus proche du site (au nord de l'aéroport de Tours)

Station	Méthode de surveillance	Période de mesure	Valeur
Tours	Prélèvement sur filtre Béta Global dans l'air ambiant	Dernières mesures : 31 décembre 2008	0,001244 Bq/m ³

Tableau 7 : mesures bêta global sur la station de Tours

On trouve également au niveau de la station de Tours des valeurs de débit d'équivalent de dose moyen :

Station	Méthode de surveillance	Période de mesure	Dose ambiante
Tours	Débit d'équivalent de dose moyen par dosimétrie active (sonde de mesure)	01/08/2012 au 01/08/2013	Maxi mesuré : 117 nSv/h Mini mesuré : 93 nSv/h

Tableau 8 : mesures de débit de dose sur la station de Tours



Figure 7 : Localisation des stations de Tours et du site

4.3 DESCRIPTION ZONE D'INTERET PARTICULIER

La zone d'intérêt particulier est constituée :

- D'établissements recevant du public (commerces divers, hôtels et restaurants) ;
- D'immeubles de bureau
- De quelques habitations plutôt localisées sur la périphérie de la zone d'étude
- De terrains de sports ;

Le plan ci-dessous donne une représentation de cette occupation :

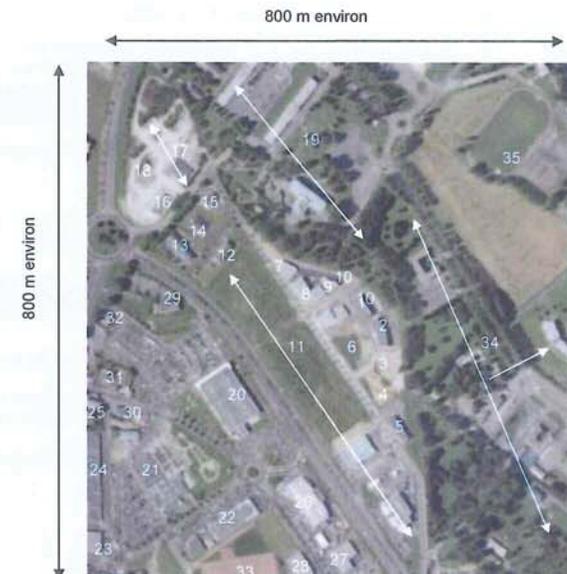


Figure 8 : Vue aérienne l'environnement de l'établissement avec localisation, des affectations

4.3.1 Entreprises, sociétés, industries ou activités assimilées voisines (bureaux)

Localisation	Société
1	Bureaux des Douanes
2	Bureaux d'avocats
3	Bureaux
4	Bureaux
5	Bureaux
6	Bureaux (STREGO)
18	Bureaux
19	Probable zone d'activités (sociétés)
34	Probable zone d'activités (sociétés et bâtiment de l'aéroport)

Tableau 9 : Entreprises société ou bureaux (non ERP)

4.3.2 Etablissements recevant du public (ERP) voisins

Localisation	Dénomination
7	Magasin de peinture
8	Impression numérique, reprographie
9	Portes et fenêtres (Habitec automatisme) / Carré Golf

Localisation	Dénomination
10	Surface de ventes innocuée
11	Zone regroupant des commerces et restaurants
12	Quick Palace Hôtel
13	BB Hôtel
14	Restaurant poivre rouge
15	Coiffure- esthétique
16	Restaurant KFC
17	Zone commerciale
20	Déathlon
21	Jardiland
22	Concessions automobiles
23	Magasin de loisirs créatif
24	Zone commerciale (Cello, Bata, Blue Box, Easy cash, La grande récré, La halle aux chaussures..)
25	Magasin d'usine cuirs et peaux
26	Concession automobiles
27	Concession automobiles
28	Magasin de mobilier
29	BB Hôtel
32	Restaurant la Boucherie et magasin automobile
33	Complexe sportif Vaucanson
35	Complexe sportif

Tableau 10 : Etablissements recevant du public présents sur la zone d'étude

4.3.3 Habitations voisines

Localisation	Dénomination
30	Pavillons d'habitation
31	Pavillons d'habitation

Tableau 11 : habitations dans la zone d'étude

4.4 SYNTHÈSE DES CIBLES DE L'IMPACT SANITAIRE POTENTIEL

VOIE DE TRANSFERT	POPULATION SENSIBLE EXPOSEE	
Air / inhalation directe et exposition externe directe	Présence d'ERP à moins de 500 m autour du site : surfaces commerciales, hôtel, restaurants,	
Sol / exposition externe après dépôt au sol	Présence de pavillons d'habitation dans la zone d'étude Présence de bureaux et sociétés	
Eau / ingestion directe	Pas de captage destiné à l'alimentation en eau potable au niveau de la zone d'étude. Absence de zone d'usage récréatif de l'eau	
Ingestion	Sol	Présence de pavillons d'habitation dans la zone d'étude
	Cultures	Pas de zone de cultures identifiées sur la zone d'étude
	Élevages	Pas de prairies identifiées dans la zone d'étude

Tableau 12 : Synthèse des cibles

5 ANALYSE PRELIMINAIRE ET CHOIX DES POLLUANTS TRACEURS DE RISQUE

5.1 INVENTAIRE DES SUBSTANCES EMISES / MODE D'EMISSION

Seul le Fluor 18 émis sous forme gazeuse à l'atmosphère par la société CYCLOPHARMA est retenu pour l'étude.

5.2 DESCRIPTION DES DANGERS PRESENTES PAR LES SUBSTANCES : EFFETS SUR LA SANTE HUMAINE & COMPORTEMENT DANS L'ENVIRONNEMENT

Le fluor est l'élément chimique le plus électronégatif et donc le plus réactif. Il fait partie de la famille des halogènes.

Le Fluor-18 a une période radioactive de 110 minutes et une activité massique de $3,52 \cdot 10^8$ Bq/g.

Le Fluor-18 se désintègre principalement (97%) par émission de positons (β^+) qui ensuite sont ralentis et s'annihilent avec des électrons en émettant 2 photons de même énergie dans des directions opposées. Il se désintègre également (3%) par capture électronique suivie d'émissions de RX dont l'énergie et le rendement sont faibles (non reportés dans le tableau ci-dessous).

Principales émissions	Energie (keV)		Pourcentage d'émission
	E_{max}	E_{moy}	
β^+ (spectre continu)	634	250	96,7
Photons d'annihilation	511		194

Tableau 13 : Principales émissions du fluor-18

Produit de filiation	Oxygène-18 (stable)
Equation	${}^{18}_9F \rightarrow {}^{18}_8O + \beta^+$

Tableau 14 : Filiation du Fluor-18

5.2.1 Effets biologiques sur la santé humaine

Les rayonnements ionisants sont émis lors de la désintégration de ces radionucléides qui donne naissance à de nouveaux éléments, radioactifs ou non. Ces rayonnements sont appelés ionisants car l'énergie qu'ils génèrent est suffisamment importante pour ioniser les molécules.

Cette énergie peut entraîner des modifications de la matière vivante, au niveau cellulaire où ces rayonnements induisent des lésions. Deux approches sont utilisées pour étudier leurs différents effets biologiques : l'épidémiologie et l'expérimentation sur des molécules ou cellules d'organismes vivants. Les effets des rayonnements ionisants sur l'organisme varient en fonction de la dose reçue et de différents facteurs : la source (activité ou intensité de fonctionnement, nature, énergie ...), le mode d'exposition (temps, débit ...) et la cible (tissus ou organes touchés, âge de l'individu ...).

Les radionucléides présents dans l'air, se déposent sur les sols et les sédiments, migrent dans les chaînes alimentaires et peuvent atteindre l'homme. Les particules et les gaz radioactifs présents dans l'air délivrent une dose à l'homme par irradiation externe, mais également par irradiation interne pour les particules inhalées (aérosols).

Il existe deux types d'effets biologiques :

- **Les effets immédiats (ou déterministes) :** Une forte irradiation par des rayonnements ionisants provoque des effets immédiats sur les organismes vivants comme, par exemple, des brûlures plus ou moins importantes. En fonction de la dose et selon l'organe touché, le délai d'apparition des symptômes varie de quelques heures (nausées, radiodermites) à plusieurs mois. Des effets secondaires peuvent même être observés des années après une irradiation (fibroses, cataracte).

→ La présente étude ne considère pas ces effets

- **Les effets à long terme (effets aléatoires ou stochastiques) :** Les expositions à des doses plus ou moins élevées de rayonnements ionisants peuvent avoir des effets à long terme sous la forme de cancers et de leucémies. La probabilité d'apparition de l'effet augmente avec la dose. Le délai d'apparition après l'exposition est de plusieurs années.

Une pathologie radioinduite n'a pas de signature particulière : il n'existe pas de marqueur biologique permettant de différencier, par exemple, un cancer pulmonaire dû au tabac, d'un cancer pulmonaire radio-induit.

Afin d'exprimer dans une même unité le risque de survenue des effets différés associés à l'ensemble des situations d'exposition possibles, les physiciens ont développé un indicateur appelé " dose efficace ", dont l'unité de mesure est le sievert (Sv), du nom du physicien suédois qui fut un des pionniers de la protection contre les rayonnements ionisants.

La dose efficace totale s'entend comme la somme de la dose équivalente corps entier résultant de l'exposition externe et de la dose engagée résultant d'une contamination interne (ingestion et inhalation).

La réglementation nationale de la santé publique et du travail fixe, pour le public et les travailleurs, des limites de doses individuelles annuelles cumulées admissibles :

- Pour le public, la limite de la dose efficace, par exemple, est fixée à 1 mSv/an.
- Pour les travailleurs, cette limite est fixée à 20 mSv/an.

Informations issues du Réseau national de mesures de la radioactivité dans l'environnement (portail développé par ASN et IRSN)

5.2.2 Comportement dans l'environnement

❖ La contamination de l'atmosphère

La contamination de l'atmosphère résulte de la dispersion dans l'atmosphère de gaz radioactif (ici le Fluor-18). Le gaz a tendance à se disperser et à se diluer dans l'air ambiant en fonction des conditions météorologiques. Les particules ou gaz lourds retombent aux environs immédiats du point d'émission.

La contamination de l'atmosphère est à l'origine d'une contamination des sols, des eaux, des personnes.

❖ La contamination des sols et des eaux

Elle résulte du dépôt sur les sols d'aérosols ou de gaz radioactifs plus lourds que l'air, de la dispersion de liquides radioactifs ou de la solubilisation de substances radioactives solides.

❖ La contamination des chaînes alimentaires

La dispersion dans l'environnement de radionucléides entraîne un risque de contamination des chaînes alimentaires constituées de séries d'espèces végétales et animales qui se nourrissent les unes des autres.

Les principales voies de transfert d'une étape à une autre dans une chaîne alimentaire sont :

- L'eau de boisson qui peut être directement contaminée par dépôt ou indirectement par infiltration ou ruissellement.
- Les végétaux contaminés par dépôts sur les parties aériennes ou indirectement à la suite de pollution du sol, qui sont broués par le bétail ; l'homme se contamine en consommant le lait, la viande ou des légumes contaminés.

En pratique, la donnée essentielle qui permet de calculer la dose efficace engagée résultant de la consommation de produits contaminés est leur activité. Les activités trouvées en France dans les produits alimentaires en situation normale ne présentent aucun risque pour la santé des populations.

5.3 DETERMINATION DES VOIES DE TRANSFERT RETENUES

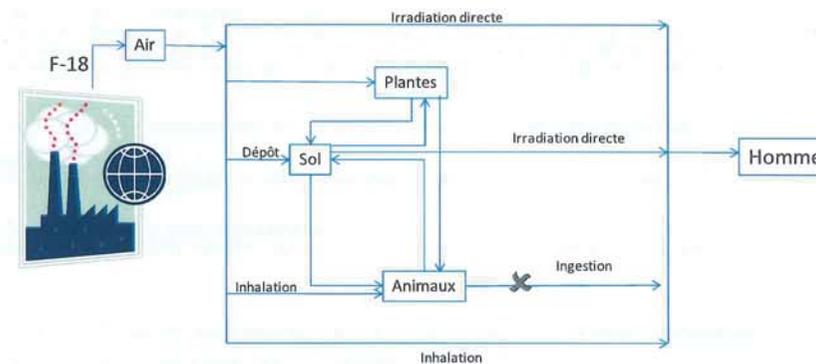


Figure 9 : schéma descriptif des voies de transfert

5.4 DEFINITION DE LA RELATION DOSE-REPONSE

Pour ce qui concerne les pollutions par des substances chimiques, les valeurs sont à rechercher dans diverses bases de données conformément à la circulaire du 30 mai 2006 relative aux modalités de sélection des substances chimiques et de choix des valeurs toxicologiques de référence (VTR) pour mener les évaluations des risques sanitaires dans le cadre des études d'impact.

Pour ce qui concerne les pollutions par des substances radioactives, il n'existe pas de VTR. Les valeurs de gestion sont à rechercher dans les dispositions du code de la santé publique. Elles peuvent définir un niveau de qualité pour un milieu et un usage donnés. Dans ce cas, elles peuvent être généralement directement comparées à une valeur mesurée. En l'absence de valeur réglementaire applicable à un usage constaté, l'évaluation de la compatibilité entre le niveau de pollution et les usages repose sur une évaluation des expositions radiologiques. Les valeurs de gestion sont donc à rechercher dans le référentiel de radioprotection (code de la santé publique, CIPR, AIEA, OMS,...).

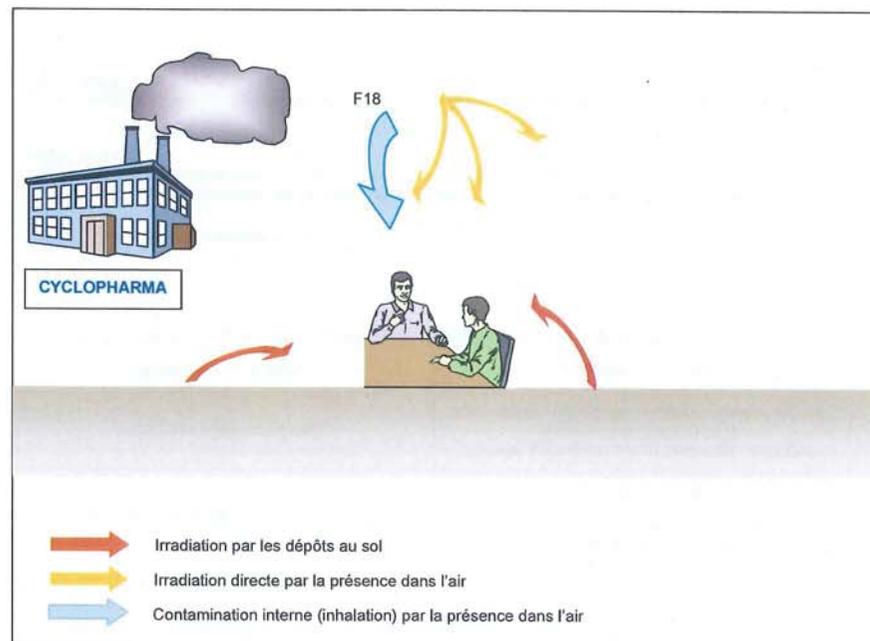
Dans le domaine radiologique, la gestion du risque radiologique n'est pas fondée sur des seuils en termes de risque mais de dose ; Aucune correspondance simple ne peut être effectuée entre dose et excès de risque individuel.

La dose efficace totale, exprimée en sievert (Sv), constitue un indicateur de risque sanitaire spécifique aux expositions aux rayonnements ionisants. Celui-ci peut être mis en regard de l'excès de risque individuel (ERI) applicable aux substances chimiques sans seuil.

Les dispositions relatives à la protection des populations contre le danger des rayonnements ionisants sont fixées par le code de la santé publique.

Celui-ci fixe à 1 mSv/an la limite maximale des expositions que peuvent recevoir les membres de la population du fait des activités nucléaires (cf. article R1333-8 du code de la santé publique).

5.5 SCENARIOS D'EXPOSITION RETENUS / SCHEMA CONCEPTUEL



Nous retiendrons dans la suite de l'étude, l'exposition des personnes par irradiation directe du fait de l'exposition au Fluor 18 présent dans l'atmosphère ou déposé au sol (dose externe) ainsi que l'exposition par contamination interne du fait de l'inhalation d'air contaminé dans l'environnement du site.

L'exposition par ingestion ne sera pas étudiée, en l'absence de facteur de transfert dans les végétaux pour le Fluor 18.

6 EVALUATION DES NIVEAUX D'EXPOSITION

6.1 PREAMBULE

Ce chapitre a pour objectif d'évaluer les niveaux d'exposition des populations voisines du site Cyclopharma de Tours.

L'évaluation du risque sera conduite comme suit :

- Modélisation de la dispersion dans l'environnement du Fluor 18 émis par l'établissement pour :
 - déterminer les niveaux de concentration de Fluor 18 en Bq/m³ dans l'air dans l'environnement du site et les dépôts au sol
 - déterminer la dose gamma générée dans l'environnement du site par le Fluor 18 présent dans le panache et déposé au sol
- A partir de ces résultats de modélisation, il sera calculé la dose efficace totale pour une année d'exposition (Dose externe+ Dose engagée) au niveau du point d'exposition maximale et au niveau du point le plus sensible (habitations les plus proches en l'absence de crèche, école, hôpitaux, maisons de retraites,..).
- La dose efficace totale sera comparée à la limite annuelle admissible (1mSv/an)

6.2 LOGICIEL UTILISE POUR LA MODELISATION

Le modèle utilisé pour cette étude est un modèle mathématique de dispersion atmosphérique (ADMS), spécialement développé pour évaluer l'impact des rejets atmosphériques d'une grande variété de sources industrielles. Cet outil numérique est largement utilisé et reconnu sur le territoire. Parmi les utilisateurs français, on citera l'INERIS, l'IPSN, Météo France, l'Ecole Centrale de Lyon... Il se base en effet sur les technologies et les connaissances les plus récentes dans le domaine. Le modèle permet principalement de déterminer la trajectoire des panaches polluants émis et d'identifier (et de quantifier) les zones de fortes concentrations en surface autour des sites. Les sources d'émission prises en compte peuvent être ponctuelles (des cheminées par exemple), mais aussi surfaciques et volumiques (sources diffuses), linéiques (routes) et provenant de « jets ». Ces émissions peuvent être variables dans le temps.

Le modèle tient compte des dimensions et propriétés des sources émettrices (hauteur des cheminées, débit, température des émissions...). Il prend également en compte l'influence du relief, de la nature des sols (rugosité) et de la présence des bâtiments du site ou de l'environnement proche susceptibles de perturber la dispersion des polluants. Il permet de simuler la dispersion et le dépôt de panaches composés de gaz et/ou de particules. Les simulations reposent en grande partie sur les conditions météorologiques locales. Ces données météorologiques nous renseignent bien sûr sur le vent (vitesse et direction), mais permettent également de caractériser la structure verticale de l'atmosphère (stabilité, vent ascendant, turbulence, inversion de température...) qui conditionne la dispersion des polluants.

Le modèle intègre, d'une part, un pré-processeur météorologique qui rassemble les paramètres spécifiques à la couche limite atmosphérique (couche entre la surface et environ 1500 mètres d'altitude) à partir des données de surface fournies par Météo France. Il intègre, d'autre part, un module de trajectoire qui calcule précisément la trajectoire des panaches. Un module de dynamique des fluides incorpore le relief (nature des sols et topographie) dans les données de surface utilisées par le modèle. A partir des données Météo France locales, ce module dynamique calcule les champs de vent et de turbulence sur tout le domaine d'étude avec une grande précision (résolution de 50 mètres). Un module prenant en compte l'influence aérodynamique des bâtiments est également intégré au modèle. Enfin, grâce à son interface graphique, le logiciel permet une visualisation conviviale et précise du domaine étudié et des zones de fortes concentrations éventuellement rencontrées (cartographie des résultats).

Les paramètres et processus pris en compte par le modèle sont résumés ci-dessous :

- ✓ Les propriétés et caractéristiques des sources et émissions (taux d'émission, dimensions des cheminées et des ateliers émetteurs, propriétés des rejets...);
- ✓ Les données météorologiques locales (vitesse et direction du vent, température de l'air, rayonnement solaire, couverture nuageuse...);
- ✓ Les principaux bâtiments du site et du voisinage, susceptibles par effet aérodynamique de modifier la dispersion des polluants;
- ✓ La nature des sols (sol urbain, plaine agricole...), via un paramètre de rugosité de la surface, qui influence la dispersion des rejets;
- ✓ La topographie (relief), qui perturbe les champs de vent et de turbulence, paramètres prépondérants pour l'étude de la dispersion atmosphérique.

6.3 DONNEES D'ENTREES

Les données qui ont été utilisées pour modéliser la dispersion du Fluor 18 dans l'environnement puis son accumulation sont synthétisées dans le tableau suivant :

Données	Valeurs
Nombre d'émissaire de rejet	1 émissaire retenu pour l'ensemble des rejets (Emissaire dont le débit est le plus important cf détail au §2.5)
Direction du rejet	Emissaire coudé avec rejet en direction du Nord
Concentration en Fluor 18 dans les rejets	Voir détail au §2.5 : quantification des émissions 10 000 Bq/m ³ pendant les 3 cycles de production
Type de polluant	Isotope F18 radioactif sous forme gazeuse - Gaz réactif
Dimensions de l'émissaire de rejet	1,2 m X 0,7 m
Hauteur du point de rejet	8,3 m
Température	T° retenue pour le modèle : T° ambiante (issues des données météo locales)
Vitesse d'éjection	3,73 m/s
Débit de rejet	16 000 m ³ /h
Fréquence de fonctionnement de l'installation	Voir détail au §2.4 : conditions d'émissions 3 cycles de production consécutifs de 4 heures (entre 01h et 13 heures) du lundi au Vendredi sur 52 semaines.
Données météorologiques	Données tri-horaires de la station de Tours des années 2010, 2011 et 2012. (température, nébulosité, vitesse et direction du vent)
Obstacles à la dispersion	Non pris en compte en première approche

Tableau 15 : Synthèse des données d'entrée pour la modélisation de dispersion atmosphérique

6.3.1 Calcul de la concentration en Fluor 18 en Bq/m³

Il s'agit de la valeur de concentration moyenne annuelle cumulée générée par l'activité de l'établissement. (Concentration moyenne permanente dans l'environnement du site générée par les émissions de celui-ci durant toute l'année).

La Cartographie donnée page suivante présente donc la concentration moyennée en ¹⁸F dans l'environnement du site en Bq/m³.

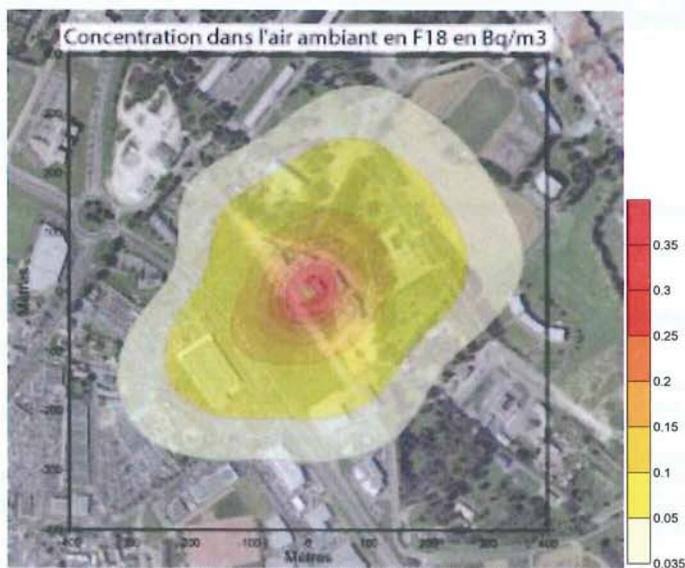


Figure 11 : cartographie des concentrations en Fluor 18 dans l'air dans l'environnement du site

La concentration moyenne maximale constatée de Fluor 18 dans l'air ambiant à une hauteur de 1 m par rapport au sol calculée sur la zone d'étude est de $0,38066 \text{ Bq/m}^3$ (point situé à $X = 20$ et $Y = 0$ m par rapport au point de rejet. Ce point est localisé au niveau du site lui-même.

Le secteur concerné par les concentrations les plus élevées forme un croissant sur les îlots et son pourtour direct du nord-est vers l'est et le sud-est. Il atteint une partie du parking à l'est du site sans atteindre le bâtiment concerné.

On note un étirement du panache selon l'axe Nord-Est/Sud-Ouest. En dehors des limites des l'établissement, la zone de retombées maximales (bâtiment le plus impacté) est située au niveau du bâtiment des douanes au nord-est ($0,37 \text{ Bq/m}^3$).

Outre le point correspondant à cette concentration moyenne maximale, quelques points ont fait l'objet d'une analyse spécifique. Les critères de choix de ces points et les résultats sont donnés dans le tableau ci-dessous :

Localisation	Critère de choix	Coordonnées par rapport au point de rejet		Concentration dans l'air à 1 m en ce point
		X	Y	
Magasin Habitec au nord immédiat du site	ERP le plus proche	-20	35	$0,288671 \text{ Bq/m}^3$
Bâtiment des Douanes (à l'est immédiat de l'établissement)	Bâtiment le plus proche	27	15	$0,372550 \text{ Bq/m}^3$
Hôtel Quick Palace	Hôtel le plus proche	-150	95	$0,53759 \cdot 10^{-1} \text{ Bq/m}^3$
Complexe sportif au Nord-Est	Stade le plus proche	205	225	$0,439165 \cdot 10^{-1} \text{ Bq/m}^3$
Habitations au sud -Ouest	Habitations les plus proches	-340	-140	$0,323362 \cdot 10^{-1} \text{ Bq/m}^3$
Site lui-même Point max	Le plus impacté : concentration maximale dans l'air à 1 m	20	0	$0,38066 \text{ Bq/m}^3$

Tableau 16 : valeurs des concentrations de contamination atmosphérique sur les points retenus

6.3.2 Calcul de la dose externe reçue en quelques points particuliers

Le modèle utilisé pour le calcul de dispersion, permet de calculer le débit de dose gamma de rayonnement (irradiation externe) reçue par une personne en un point du fait de la présence du fluor 18 dans l'air et déposé au sol.

Le débit de dose moyen reçu (irradiation externe) au niveau des points sélectionnés ci-dessus (§6.3.1) est donnée dans le tableau suivant :

Localisation	Débit de Dose gamma calculée par le modèle en Sv/s	Débit de Dose Gamma calculée en Sv/h	Dose Gamma calculée en mSv/an	Rappel de la concentration dans l'air à 1 m en ce point
Magasin Habitec	$3,69226 \cdot 10^{-15}$	$1,33 \cdot 10^{-11}$	$1,16 \cdot 10^{-4}$	$0,288671 \text{ Bq/m}^3$
Bâtiment des Douanes	$4,29147 \cdot 10^{-15}$	$1,54 \cdot 10^{-11}$	$1,35 \cdot 10^{-4}$	$0,372550 \text{ Bq/m}^3$
Hôtel Quick Palace	$1,43881 \cdot 10^{-15}$	$5,18 \cdot 10^{-12}$	$4,54 \cdot 10^{-5}$	$0,53759 \cdot 10^{-1} \text{ Bq/m}^3$
Complexe sportif	$1,07722 \cdot 10^{-15}$	$3,88 \cdot 10^{-12}$	$3,40 \cdot 10^{-5}$	$0,439165 \cdot 10^{-1} \text{ Bq/m}^3$
Habitations les plus proches	$8,40 \cdot 10^{-16}$	$3,03 \cdot 10^{-12}$	$2,65 \cdot 10^{-5}$	$0,323362 \cdot 10^{-1} \text{ Bq/m}^3$
Point correspondant à la concentration maximale dans l'air à 1 m (sur le site)	$4,13656 \cdot 10^{-15}$	$1,49 \cdot 10^{-11}$	$1,30 \cdot 10^{-4}$	$0,38066 \text{ Bq/m}^3$

Tableau 17 : valeur des doses reçues par irradiation externe sur les points retenus

6.3.3 Niveau ambiant

Pour mémoire, les doses ambiantes mesurées sur la station de Parçay-Meslay sont données dans le tableau ci-dessous :

Station	Méthode de surveillance	Période de mesure	Dose ambiante
Parçay-Meslay	Débit de dose gamma ambiant mesuré par dosimétrie active (sonde de mesure)	Données mesurées sur la période du 01/08/2012 au 01/08/2013	Dose moyenne : $100,69 \text{ nSv/h}$ Maxi mesuré : $117,78 \text{ nSv/h}$ Mini mesuré : $92,36 \text{ nSv/h}$

Tableau 18 : niveau de dose ambiante à proximité du site

6.3.4 Contribution de l'établissement

DEBIT DE DOSE MOYEN SUR LA ZONE D'ETUDE (STATION DE PARÇAY-MESLAY)	DEBIT DE DOSE MOYEN SUR LES POINTS PARTICULIERS	CONTRIBUTION DE L'ETABLISSEMENT
$100,69 \cdot 10^{-9} \text{ Sv/h}$	Habitec : $1,33 \cdot 10^{-11} \text{ Sv/h}$	$1,32 \cdot 10^{-2} \%$
	Douanes : $1,54 \cdot 10^{-11} \text{ Sv/h}$	$1,53 \cdot 10^{-2} \%$
	Hôtel Quick Palace : $5,18 \cdot 10^{-12} \text{ Sv/h}$	$5,14 \cdot 10^{-3} \%$
	Complexe sportif : $3,88 \cdot 10^{-12} \text{ Sv/h}$	$3,85 \cdot 10^{-3} \%$
	Habitations les plus proches : $3,03 \cdot 10^{-12}$	$3,00 \cdot 10^{-3} \%$
	Point Max (site) : $1,49 \cdot 10^{-11} \text{ Sv/h}$	$1,48 \cdot 10^{-2} \%$

Tableau 19 : contribution du site au niveau ambiant

7 ESTIMATION DU RISQUE SANITAIRE

7.1 METHODOLOGIE

Il n'existe pas de notion de VTR pour l'exposition aux rayonnements ionisants.

L'évaluation des risques consiste à situer l'exposition des personnes dans l'environnement de l'établissement vis-à-vis de la limite pour le public (1 mSv par an).

Cet impact ajouté pour le public est comparé à la dose moyenne annuelle en France (2,4 mSv).

Pour les populations des groupes de référence, les voies d'exposition considérées sont l'irradiation externe par le panache et les dépôts (rejets radioactifs uniquement) et la dose reçue par inhalation. La voie ingestion ne sera pas prise en compte dans la suite de l'étude en l'absence de données sur le transfert du fluor 18 du sol vers les autres compartiments.

Le rayonnement (irradiation) généré par l'installation elle-même est considéré comme négligeable à plus d'un rayon de 50 mètres.

7.2 CALCUL DE LA DOSE EFFICACE TOTALE

7.2.1 Exposition d'une personne adulte située dans la zone de retombées maximales (en dehors du site)

a. Données d'entrées et hypothèses

Données	Valeurs	Source
Type de population considérée	Personnes adultes > 17 A	Hypothèse pour une personne sur son lieu de travail
Concentration dans l'air	0,372550 Bq/m ³	Résultat du calcul de dispersion
Dose en Sv/s (irradiation par le panache et par les dépôts au sol)	4,29.10 ⁻¹⁵ Sv/s	Résultat du calcul de dispersion
Temps d'exposition retenue	8 heures par jour 5 jours par semaine 47 semaines par an	Hypothèse pour une personne sur son lieu de travail
Dose efficace engagée par unité d'incorporation par inhalation	Type F : h = 2,8.10 ⁻¹¹ Sv/Bq Type M : h = 5,6.10 ⁻¹¹ Sv/Bq Type S : h = 5,9.10 ⁻¹¹ Sv/Bq Type F : clairance pulmonaire rapide, Type M clairance pulmonaire moyenne, Type S : clairance pulmonaire lente Type retenu = type S pour calcul majorant	Arrêté du 1 ^{er} septembre 2003 définissant les modalités de calcul des doses efficaces et doses équivalentes résultant de l'exposition des personnes aux rayonnements ionisants – Annexe III - Tableau 1.2
Débit respiratoire moyen retenu	18 L/minute Soit 0,018m ³ /minute	INRS : Document dmt ergonomie 76TL23 Débit Ventilatoire de travail - 1998 Classe d'activité : « Léger »

b. Calculs associés

- **Calcul de la dose équivalente corps entier pour l'exposition externe=irradiation reçue du à la présence d'une contamination atmosphérique dans l'air :**

$$D_{\text{externe}} = 4,29 \cdot 10^{-15} \times 3600 \times 8 \times 5 \times 47 = 2,90 \cdot 10^{-8} \text{ Sv /an}$$

Débit de dose en Sv/seconde X 3600 secondes X 8 heures X 5 jours X 47 semaines = Dose en Sv/an

- **Calcul de la dose efficace engagée par inhalation de cette contamination atmosphérique :**

Quantité inhalée en Bq : $18 \cdot 10^{-3} \times 60 \times 8 \times 5 \times 47 \times 0,372550 = 756,42 \text{ Bq/an de F18}$

Quantité inhalée en Bq = $18 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3/\text{min} \times 60 \text{ minutes} \times 10 \text{ heures} \times 5 \text{ jours} \times 47 \text{ semaines} \times \text{concentration en Bq/m}^3$

$$D_{\text{engagée}} = 756,42 \times 5,9 \cdot 10^{-11} = 4,46 \cdot 10^{-8} \text{ Sv /an}$$

D_{engagée} en Sv/an = (Quantité inhalée en Bq/an) X (h en Sv /Bq)

- **Calcul de la dose efficace totale :**

$$\text{Dose efficace totale} = D_{\text{externe}} + D_{\text{engagée}} = 2,90 \cdot 10^{-8} + 4,46 \cdot 10^{-8} = 7,36 \cdot 10^{-8} \text{ Sv /an}$$

7.2.2 Exposition d'un enfant au niveau des habitations les plus proches (population la plus sensible et temps d'exposition le plus long)

Pour rappel, les habitations les plus proches sont situées à environ 380 m Sud-Ouest de l'établissement.

a. Données d'entrées et hypothèses

Données	Valeurs	Source
Type de population considérée	Enfant < 1 an	Hypothèse pour un nourrisson résidant dans une des ces habitations
Concentration dans l'air	0,323362.0 ¹ Bq/m ³	Résultat du calcul de dispersion
Dose en Sv/s (irradiation par le panache et par les dépôts au sol)	8,40.10 ⁻¹⁶ Sv/s	Résultat du calcul de dispersion
Temps d'exposition retenue	24 heures par jour 7 jours par semaine 52 semaines par an	Hypothèse pour un résident en permanence au niveau des zones d'habitations les plus proches
Dose efficace engagée par unité d'incorporation par inhalation	Type F : h = 2,6.10 ⁻¹⁰ Sv/Bq Type M : h = 4,1.10 ⁻¹⁰ Sv/Bq Type S : h = 4,2.10 ⁻¹⁰ Sv/Bq Type F : clairance pulmonaire rapide, Type M clairance pulmonaire moyenne, Type S : clairance pulmonaire lente Type retenu = type S pour calcul majorant	Arrêté du 1 ^{er} septembre 2003 définissant les modalités de calcul des doses efficaces et doses équivalentes résultant de l'exposition des personnes aux rayonnements ionisants – Annexe III - Tableau 1.2
Débit respiratoire moyen retenu	18 L/minute Soit 0,018 m ³ /minute	Hypothèse majorante retenue (volume équivalent à celui d'un travailleur (cf 7.2.1 ci-dessus))

b. Calcul

- **Calcul de la dose équivalente corps entier pour l'exposition externe=irradiation reçue du à la présence d'une contamination atmosphérique dans l'air :**

$$D_{\text{externe}} = 8,40 \cdot 10^{-16} \times 3600 \times 24 \times 7 \times 52 = 2,64 \cdot 10^{-8} \text{ Sv /an}$$

Débit de dose en Sv/seconde X 3600 secondes X 24heures X 7 jours X 52 semaines = Dose en Sv/an

- **Calcul de la dose efficace engagée par inhalation de cette contamination atmosphérique :**

Quantité inhalée en Bq : $18 \cdot 10^{-3} \times 60 \times 24 \times 7 \times 52 \times 0,323362 \cdot 10^{-1} = 305,10 \text{ Bq/an de F18}$

Quantité inhalée en Bq = $18 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3/\text{min} \times 60 \text{ minutes} \times 24 \text{ heures} \times 7 \text{ jours} \times 52 \text{ semaines} \times \text{concentration en Bq/m}^3$

$$D_{\text{engagée}} = 305,10 \times 4,2 \cdot 10^{-10} = 1,28 \cdot 10^{-7} \text{ Sv /an}$$

D_{engagée} en Sv/an = (Quantité inhalée en Bq/an) X (h en Sv /Bq)

- **Calcul de la dose efficace totale :**

$$\text{Dose efficace totale} = D_{\text{externe}} + D_{\text{engagée}} = 2,64 \cdot 10^{-8} + 1,28 \cdot 10^{-7} = 1,54 \cdot 10^{-7} \text{ Sv /an}$$

7.3 COMPARAISON AUX VALEURS LIMITES ET DOSES AMBIANTES

7.3.1 Exposition d'une personne adulte située dans la zone de retombées maximales

Dose efficace reçue du fait des émissions de l'établissement (§7.2.1)	7,36.10 ⁻⁶ mSv/an
Dose efficace maximale admissible pour le public	1 mSv/an
Dose efficace moyenne annuelle en France	2,4 mSv

La dose efficace totale reçue en une année par un adulte travaillant dans la zone de retombée maximale des émissions de l'établissement représente :

→ 7,36.10⁻³ % de la dose maximale admissible

→ 3,07.10⁻³ % de la dose moyenne d'exposition en France

7.3.2 Exposition d'un enfant au niveau des habitations les plus proches (population la plus sensible et temps d'exposition le plus long)

Dose efficace reçue du fait des émissions de l'établissement (§ 7.2.2)	1,54.10 ⁻⁴ mSv/an
Dose efficace maximale admissible pour le public	1 mSv/an
Dose efficace moyenne annuelle en France	2,4 mSv

La dose efficace totale reçue en une année par un enfant au niveau des habitations les plus proches représente :

→ 1,54.10⁻² % de la dose maximale admissible

→ 6,42.10⁻³ % de la dose moyenne d'exposition en France

7.4 CONCLUSION

L'exposition générée par l'établissement aux rayonnements ionisants est de l'ordre de 7.10⁻³ % de la dose annuelle admissible au niveau des bureaux les plus proches (Douanes) et de 1,5.10⁻² % au niveau des habitations les plus proches (cas majorant d'un nourrisson présent en permanence sur la zone d'exposition). Elle représente également une contribution de l'ordre de 6.10⁻³ % au maximum de la dose moyenne d'exposition en France.

Toutes les configurations étudiées démontrent que l'établissement Cyclopharma de Tours génère une contribution supplémentaire à la dose annuelle reçue maximale de 0,154 µSv/an.

8 ANALYSE QUALITATIVE DES INCERTITUDES LIEES A L'EVALUATION

L'évaluation des risques sanitaires est basée sur des hypothèses qui sont assorties de facteurs d'incertitude. Ces facteurs peuvent conduire à une surestimation ou à une sous-estimation des risques. Pour certains facteurs, l'incidence est difficile à établir.

INCERTITUDE	COMMENTAIRES	INFLUENCE SUR LE RESULTAT
Flux pour les émissions canalisées	Flux défini sur la base d'une concentration maximale de 10 000 Bq/m ³ . Flux appliqué à l'ensemble des étapes de production.	Surestimation
Fréquence de fonctionnement	Prise en compte dans le modèle des fréquences et périodes de fonctionnement de l'installation	Non déterminable *
Modèle utilisé	Incertitudes liées au modèle de dispersion gaussien ADMS	Non déterminable
Non prise en compte des phénomènes de recirculation liés aux bâtiments	Influence de l'implantation des bâtiments sur les phénomènes de dispersion	Non déterminable
Existence d'une population sensible dans la zone d'étude retenue	Étude réalisée en considérant : - la présence de travailleurs (personnes adultes) dans la zone de concentrations et de retombées maximales. - la présence de nourrisson au niveau des zones d'habitations les plus proches	Hypothèse conservatoire
Durée d'exposition des personnes dans la zone de concentrations et de retombées	Présence 8 heures par jour, 5 jours par semaines, 47 semaines par an pour les adultes travaillant au niveau de la zone d'exposition maximale (Douanes) Présence permanente (24h/24, 7j/7, 365 jours par an) de nourrisson au niveau des zones d'habitations les plus proches	Non déterminable
Taux de pénétration des polluants à l'intérieur des habitations	Équilibre des concentrations à l'intérieur et à l'extérieur des bâtiments.	Non déterminable
Non prise en compte du transfert dans la chaîne alimentaire	Influence négligeable compte tenu du mode d'émission (atmosphère), du caractère gazeux de la substance concernée et de sa réactivité	Négligeable

Tableau 20 : tableaux d'analyse des incertitudes

* configuration de fonctionnement de référence prise en compte donc les conditions sont expliquées dans l'étude

9 BIBLIOGRAPHIE ET SOURCES D'INFORMATION

- [1] Evaluation des risques sanitaires dans les études d'impact des Installations Classées pour la Protection de l'Environnement – Substances chimiques, Guide méthodologique, INERIS, 2003.
- [2] Guide pour l'évaluation du risque sanitaire dans l'étude d'impact d'une UIOM, Association Scientifique et Technique de l'Eau et de l'Environnement (ASTEE), novembre 2003.
- [3] Arrêté du 1^{er} septembre 2003 définissant les modalités de calcul des doses efficaces et des doses équivalentes résultant de l'exposition des personnes aux rayonnements ionisants
 - <http://www.geoportail.gouv.fr>
 - <http://www.infoterre.brgm.fr>
 - <http://www.ligair.net>
 - <http://www.mesure-radioactivite.fr>
 - <http://sws.irsn.fr/sws/mesure>