

# CYCLOPHARMA LABORATOIRES

Site de Marseille (13)

## 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 <sup>18</sup> 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	Capotages + 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	15
4.3.1	Entreprises, sociétés, industries ou activités assimilées voisines (bureaux ou laboratoires)	15
4.3.2	Etablissements recevant du public (ERP) voisins	15
4.3.3	Habitations voisines	15
4.4	SYNTHESE DES CIBLES DE L'IMPACT SANITAIRE POTENTIEL	16
5	ANALYSE PRELIMINAIRE ET CHOIX DES POLLUANTS TRACEURS DE RISQUE	17
5.1	INVENTAIRE DES SUBSTANCES EMISES / MODE D'EMISSION	17
5.2	DESCRIPTION DES DANGERS PRESENTES PAR LES SUBSTANCES : EFFETS SUR LA SANTE HUMAINE & COMPORTEMENT DANS L'ENVIRONNEMENT	17
5.2.1	Effets biologiques sur la santé humaine	17
5.2.2	Comportement dans l'environnement	19
5.3	DETERMINATION DES VOIES DE TRANSFERT RETENUES	19
5.4	DEFINITION DE LA RELATION DOSE-REPONSE	20
5.5	SCENARIOS D'EXPOSITION RETENUS / SCHEMA CONCEPTUEL	21
6	EVALUATION DES NIVEAUX D'EXPOSITION	22
6.1	PREAMBULE	22
6.2	LOGICIEL UTILISE POUR LA MODELISATION	22
6.3	DONNEES D'ENTREES	23
6.3.1	Calcul de la concentration en Fluor 18 en Bq/m <sup>3</sup>	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'un enfant résidant au niveau des habitations les plus proches	27
7.2.2	Exposition d'un adolescent (12-17 ans) exposé au niveau du collège	28
7.3	COMPARAISON AUX VALEURS LIMITEES ET DOSES AMBIANTES	30
7.3.1	Exposition d'un nourrisson résidant au niveau des habitations les plus proches	30

# EVALUATION DES RISQUES SANITAIRES EMISSIONS DE FLUOR 18 DANS L'ATMOSPHERE

Octobre 2013

7.3.2	Exposition d'un collégien au niveau du collège André Malraux	30
7.4	CONCLUSION	30
8	ANALYSE QUALITATIVE DES INCERTITUDES LIEES A L'EVALUATION	31
9	BIBLIOGRAPHIE ET SOURCES D'INFORMATION	31

## 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 <sup>18</sup>FDG 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 monter, 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 GLUCOTEPE® (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 GLUCOTEPE® (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)). 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-Gratzenstaden (67) - 2009
- Janneynias (38) - 2009
- Gilly (60) - 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 détonation. Ils ne sont pas non plus considérés comme installations nucléaires de base (INB). Les activités de la société sont encadrées par l'authenticité 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 Fluor 18 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 Marseille (13).  
L'évaluation des risques sanitaires ne vise que le rejet de ce composé.*

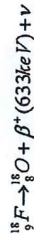
## 2 PRODUCTIONS DE L'INSTALLATION

### 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 (<sup>18</sup>O, isotope stable non radioactif naturel), cette dernière pouvant être récupérée pour recyclage. Cette cible est alimentée par un circuit électrique 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 (<sup>18</sup>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<sup>+</sup>) 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 antiparticule, 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 rayons 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<sup>+</sup>, 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 <sup>+</sup>	0,5	2,9
β <sup>+</sup>	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 GLUCOTEPE® (<sup>18</sup>F)DG, mais pour faire face aux besoins d'un marché en pleine croissance, la société exploite désormais plusieurs spécialistes 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 <sup>18</sup>FFDG

A titre d'information, les principales étapes de synthèse du <sup>18</sup>F)DG sont les suivantes :

Produit utilisé	Opération chimique
<sup>18</sup> F provenant de l'irradiation de <sup>18</sup> O (possibilité de recyclage de l'eau enrichie)	Piégeage du <sup>18</sup> F dans une cartouche standard d'échange d'anion
K <sub>2</sub> CO <sub>3</sub> et Kryptofix dans un mélange d'eau et d'acétonitrile	Elution du <sup>18</sup> 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 65°C, sous vide et dans un flux d'azote
Acétonitrile	Dissolution du précurseur et dissolution du complexe <sup>18</sup> F/Kryptofix/K <sup>+</sup>
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 (C18) : les impuretés finales sont ainsi éliminées
HCl / citrate de sodium	Elution du <sup>18</sup> F)DG 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 <sup>18</sup>F)DG

### 2.3.2 Caractéristiques de ce produit fini

Le produit obtenu est du <sup>18</sup>F)DG (2-fluoro-2-desoxy-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 <sup>18</sup>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 <sup>18</sup>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 <sup>18</sup>F)DG est éliminée dans les urines.

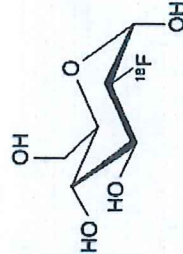


Figure 1 : Structure chimique du 18F)DG

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 :

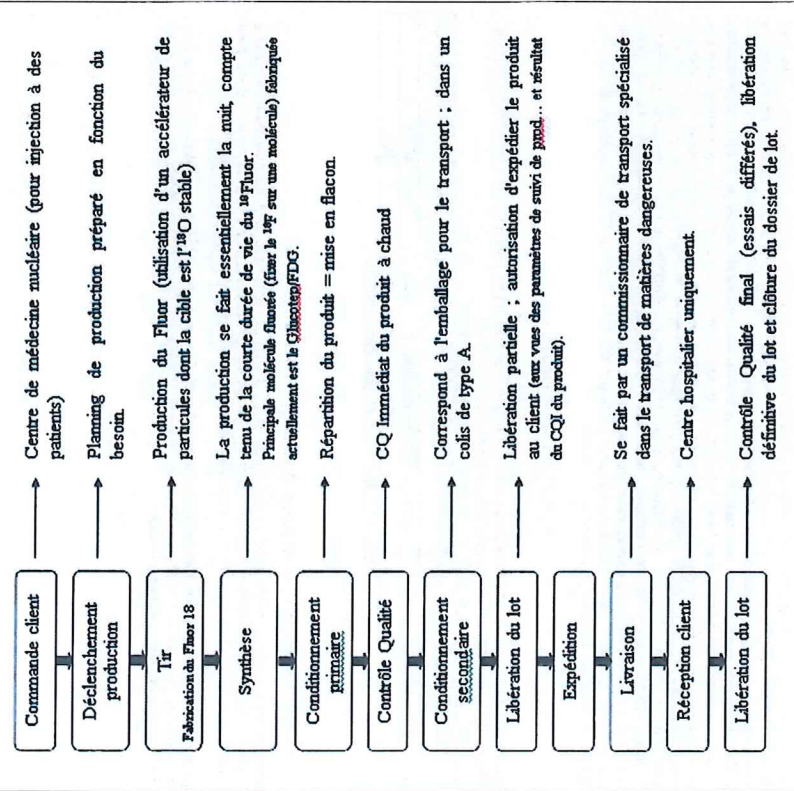


Figure 2 : Rappel du synoptique général de production

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)

Exemple d'une représentation synthétique des activités d'un site Cyclopharma pour la production du <sup>18</sup>F-DG

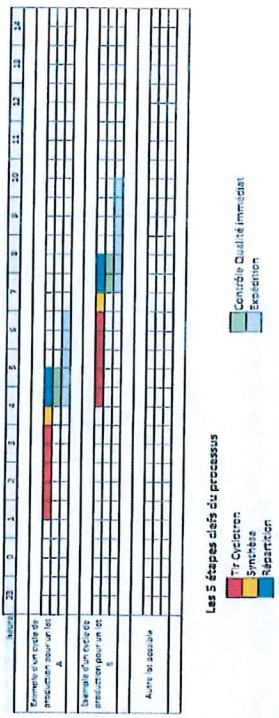


Figure 3 : cycles de production

Les émissions sont canalisées vers une cheminée dont l'émissaire est situé en toiture du bâtiment (cf § 6.3).

Dimensions	Débit	Hauteur du point de rejet	Orientation du rejet
1 m X 0,7 m	9 000 m <sup>3</sup> /h	8 m	vertical

Tableau 3 : description des cheminées

2.5 QUANTIFICATION DES EMISSIONS

L'établissement fait réaliser à minima une mesure annuelle sur cet émissaire 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/m<sup>3</sup> 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.

Sur la base de ces concentrations et du débit de rejets de l'extraction, nous relierons 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	25 000	25 000	25 000	25 000	25 000	25 000	25 000	25 000	25 000	25 000	25 000	25 000	0

Tableau 4 : Flux de F18 rejetés

Flux en Bq/s = concentration (Bq/m<sup>3</sup>) X débit de rejet (m<sup>3</sup>/s) 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<sup>er</sup> 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 Marseille.

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  $^{18}F$ ), vis à vis de l'homme (population sensible), dans le cadre d'une exposition chronique (exposition alliant 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 DÉFINITION DE LA ZONE D'ÉTUDE

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

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  $0,43359 \text{ Bq/m}^3$  (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'isococoncentration correspondant au  $1/10^{ème}$  de cette concentration maximale.

La superficie de la zone d'étude est environ  $0,275 \text{ km}^2$  ( $550 \text{ m} \times 500 \text{ m}$ ).

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

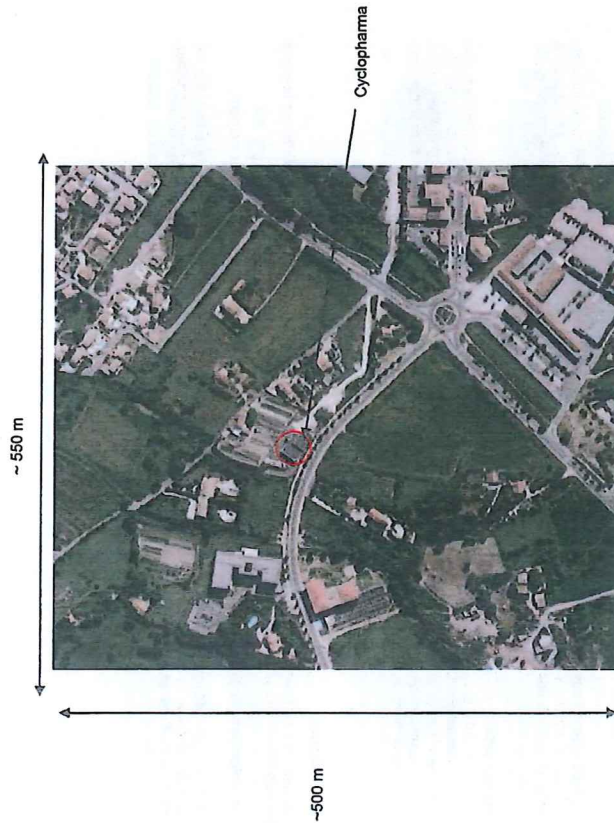


Figure 4 : vue aérienne de la zone d'étude

##### 4.2 DESCRIPTION DE LA ZONE D'INTERET GENERAL

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

##### 4.2.1 Populations

L'établissement Cyclopharma est implanté rue LEPRINCE RINGJET dans un secteur à dominante résidentiel au Nord-Est du territoire de la commune de Marseille à 600 mètres à l'ouest de la limite communale avec Plan de Cuques.

Commune et Communauté d'agglomération	Population totale année 2010 (source : www.insee.fr)
Marseille	859 368

Tableau 5 : population communale et intercommunale

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

##### 4.2.2 Hydrogéologie / nappes

L'établissement est situé sur le bassin hydrographique Rhône-Méditerranéennes, sur la masse d'eau souterraine « Formations oligocènes région de Marseille » – FRDG 215.

D'après les informations extraites de la fiche dossier du sous-sol 10441X0417/S30 du BRGM sur le site Info-terre réalisé dans le cadre d'une campagne de sondage pour la création de la rocade 7, la zone d'étude est constituée d'une alternance de marne et de grès du Stampien.

##### 4.2.3 Captages + usages de l'eau

Aucun point de prélèvement d'eau (usage industriel ou alimentation eau potable) n'est identifié dans la zone d'étude (source : <http://ades-saufrance.fr>).

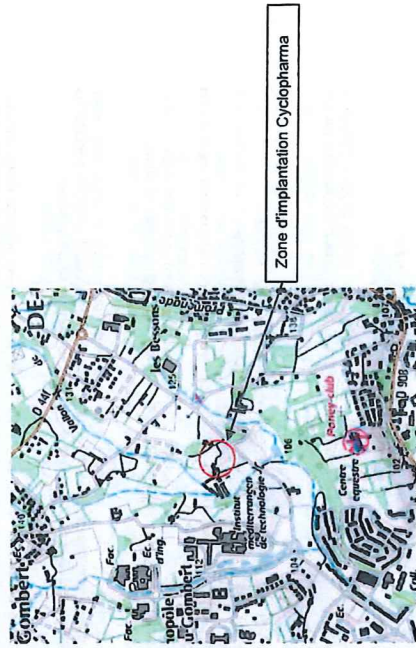


Figure 5 : Extrait de carte ADES-sau France : aucun captage d'eau

4.2.4 Elevages et cultures

Aucune zone d'élevage ou de culture n'a été identifiée dans la zone d'étude au niveau du registre parcellaire 2010.

Source : Géoportail - Registre parcellaire graphique RPG (2010) - <http://www.geoportail.gouv.fr/reccueil>

Les vues aériennes de la zone d'étude suggèrent également l'existence de zones cultivées. On note également la présence de jardins potagers au niveau des habitations individuelles.

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 Midi-Pyrénées : ORAMP

L'association ATMOPACA a pour rôles la surveillance de la qualité de l'air sur la région Provence Alpes Côte d'Azur (6 départements) l'information et l'analyse des données relatives à la surveillance.

L'ATMOPACA dispose de 6 stations sur la commune de Marseille. Aucune surveillance de la radioactivité atmosphérique n'est réalisée au niveau de ce réseau.

Source : <http://www.atmopaca.org>

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

Le Réseau national est développé sous l'égide de l'Autorité de Sûreté Nucléaire. Sa gestion est confiée à l'Institut de Radioprotection et de Sûreté 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 Sûreté 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
Marseille	Débit de dose gamma ambiant mesuré par dosimétrie active (sonde de télémesure)	01/01/2009 au 30/09/2013	Dose moyenne : 75,35 nSv/h Maxi mesuré : 93,7 nSv/h Mini mesuré : 60 nSv/h
Marseille	Débit de dose gamma ambiant mesuré par dosimétrie active (sonde de télémesure)	31/01/2012 au 30/10/2013	Dose moyenne : 71,86 nSv/h Maxi mesuré : 73 nSv/h Mini mesuré : 71 nSv/h

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



Figure 6 : Localisation de la station de Marseille

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

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

On trouve au niveau de la commune de Marseille, des valeurs de débit d'équivalent de dose moyen et de doses horaires moyennes suivantes :

Station	Méthode de surveillance	Période de mesure	Dose ambiante
Marseille-AGG CM et AGG CP	Débit d'équivalent de dose moyen par dosimétrie active (sonde de mesure)	24/11/1999 au 29/10/2013	Maxi mesuré : 93 nSv/h (01/2009) Mini mesuré : 61 nSv/h (09/2012) Dernière mesure : 69 nSv/h (29/10/2013)
Marseille Caserne Strasbourg	Dose horaire moyenne (dosimétrie environnemental)	13/04/2001 au 09/06/2011 (1 à 2 mesures annuelles)	Maxi mesuré : 64 nSv/h (04/2008) Mini mesuré : 30 nSv/h (04/2003) Dernière mesure : 52 nSv/h (06/2011)

Tableau 7 : Mesures de débit de dose sur 2 stations de Marseille



Figure 7 : Localisation des stations de Marseille et du site

4.3 DESCRIPTION ZONE D'INTERET PARTICULIER

La zone d'intérêt particulier est constituée :

- D'établissements recevant du public (Collège André Malraux au sud-Est de la zone d'étude)
- Des maisons d'habitations et petits immeubles résidentiels
- Quelques commerces de proximité
- Des espaces verts
- Des espaces agricoles

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

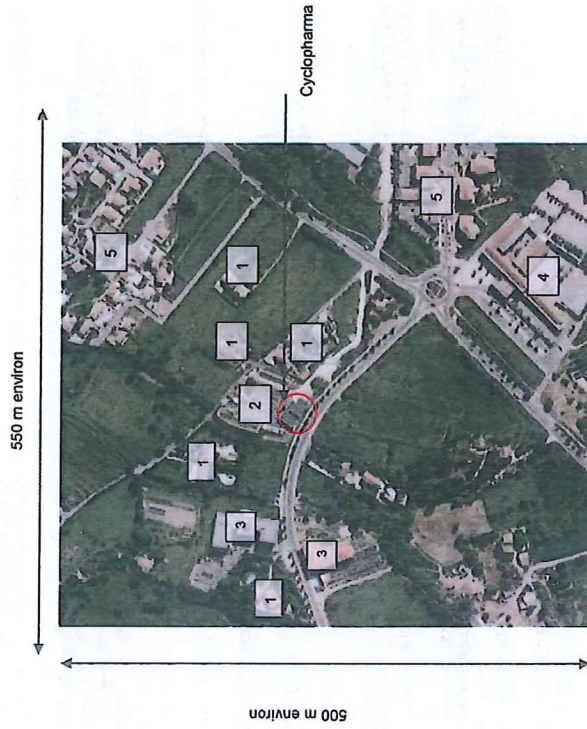


Figure 8 : Vue aérienne l'environnement de l'établissement avec localisation des affectations

- 4.3.1 Entreprises, sociétés, industries ou activités assimilées voisines (bureaux ou laboratoires)  
Aucune entreprise ou industrie n'a été identifiée dans la zone d'étude. On note la présence de petits commerces de proximités (pharmacie, boulangerie...) au niveau des points 5.
- 4.3.2 Etablissements recevant du public (ERP) voisins

Localisation	Dénomination
4	Collège André Malraux
5	Commerces de proximité (pharmacie, librairie, agence bancaire...)

Tableau 8 : Etablissements recevant du public présents sur la zone d'étude

4.3.3 Habitations voisines

Localisation	Dénomination
1	Habitation individuelle
2	Habitation et Sore
3	Immeuble résidentiel
5	Secour résidentiel avec pavillons et immeubles résidentiels, de petites villas (+ commerces de proximité)

Tableau 9 : habitations présentes sur 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 dans la zone d'étude : collège André Malraux
		Présence de petits commerces de proximité
Sol / exposition externe après dépôt au sol		Présence d'habitations individuelles ou collectives
		Pas de captage destiné à l'alimentation en eau potable au niveau de la zone d'étude.
Eau / Ingestion directe		Absence de zone d'usage récréatif de l'eau
	Sol	Présence d'habitations collectives ou individuelles avec piscines et jardins
Ingestion		Pas de zones agricoles officiellement identifiées sur le registre parcellaire –
	Cultures	Les vues aériennes de la zone d'étude suggèrent toutefois l'existence de zones cultivées. On note également la présence de jardins potagers au niveau des habitations individuelles
	Elevages	Pas de prairies identifiées dans la zone d'étude

Tableau 10 : 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  $3,52 \cdot 10^9$  Bq/g.

Le Fluor-18 se désintègre principalement (97%) par émission de positons ( $\beta^+$ ) 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
	$E_{max}$	$E_{moy}$	
$\beta^+$ (spectre continu)	634	290	96,7
Photons d'annihilation	511		194

Tableau 11 : Principales émissions du Fluor-18

Produit de fission	Oxyène-18 (stable)
Equation	${}_{19}F \rightarrow {}_{18}O + \beta^+$

Tableau 12 : Fission 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, radodermites) 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

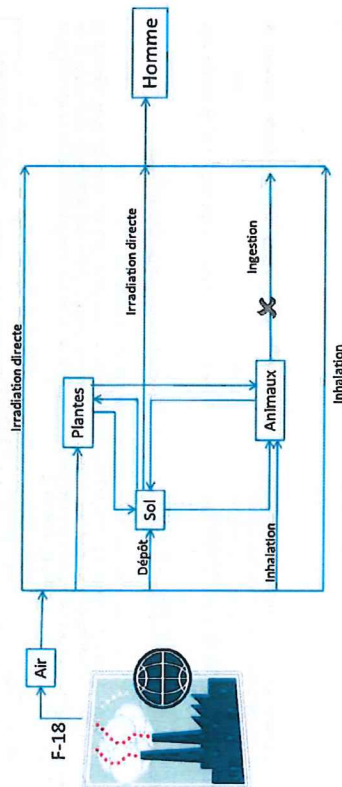


Figure 9 : schéma descriptif des voies de transfert

5.4 DEFINITION DE LA RELATION DOSE-REPOSE

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

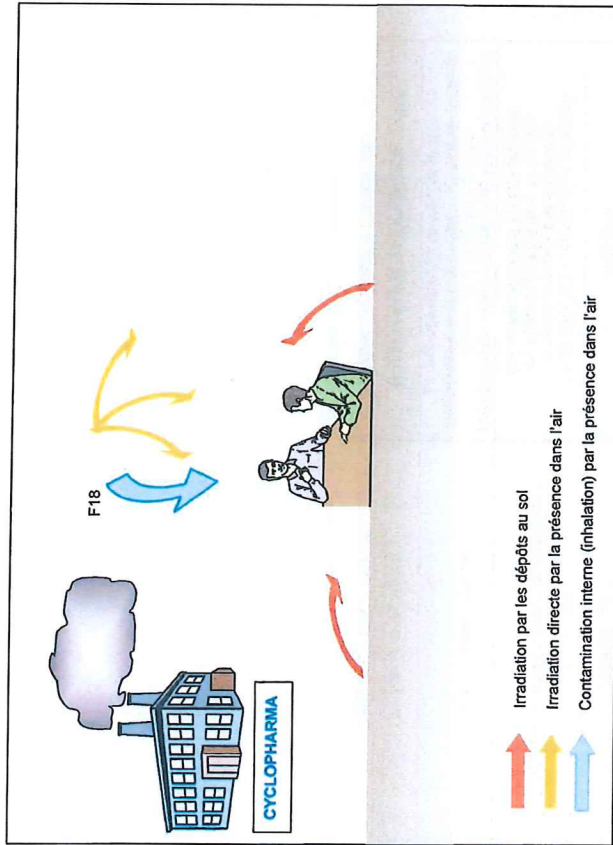


Figure 10.: Schéma conceptuel retenu

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 Marseille.

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/m<sup>3</sup> 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 diffusées), 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-processus 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 :

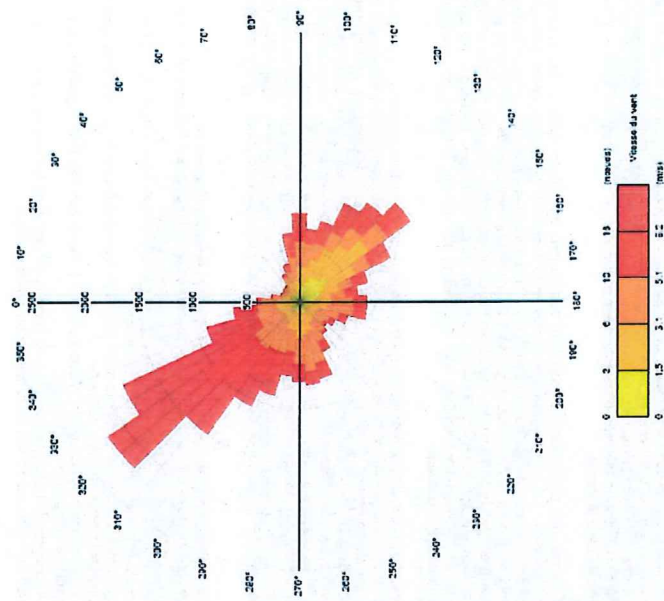
- ✓ Les propriétés et caractéristiques des sources et émissions (taux d'émission, dimensions des cheminées et des ateliers émetteurs, propriétés des rejets...);
- ✓ Les données météorologiques locales (vitesse et direction du vent, température de l'air, rayonnement solaire, couverture nuageuse...);
- ✓ 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 (cf détail au §2.5)
Direction du rejet	Emissaire avec rejet en direction vertical
Concentration en Fluor 18 dans les rejets	Voir détail au §2.5 : quantification des émissions 10 000 Bq/m <sup>3</sup> pendant les 3 cycles de production
Type de polluant	Isotope F18 radioactif sous forme gazeuse - Gaz réactif
Dimensions de l'émissaire de rejet	1 m X 0,7 m
Hauteur du point de rejet	8 m
Température	T° retenue pour le modèle ; T° ambiante (issues des données météo locales)
Vitesse d'éjection	3,57 m/s
Débit de rejet	9000 m <sup>3</sup> /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 Marseille-Biagnac (température, nébulosité, vitesse et direction du vent) La rose des vents est donnée page suivante
Obstacles à la dispersion	Non pris en compte en première approche

Tableau 13 : Synthèse des données d'entrée pour la modélisation de dispersion atmosphérique



6.3.1 Calcul de la concentration en Fluor 18 en Bq/m<sup>3</sup>

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 <sup>18</sup>F dans l'environnement du site en Bq/m<sup>3</sup>.

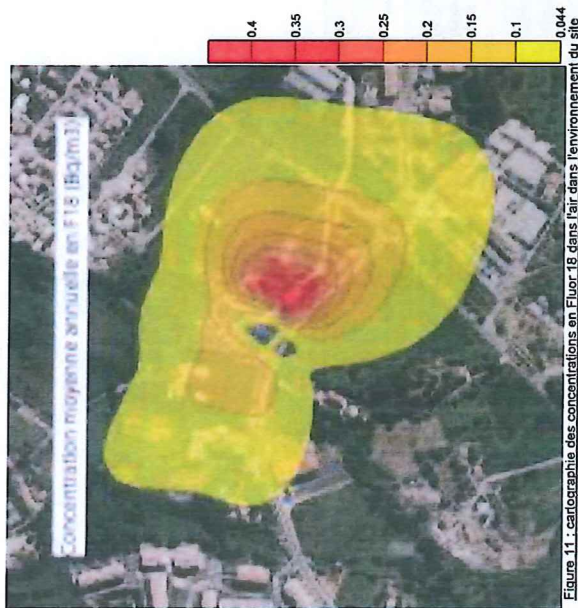


Figure 11 : cartographie des concentrations en Fluor-18 dans l'air dans l'environnement du site

Le secteur concerné par les concentrations les plus élevées forme un disque à l'Est de l'émissaire de rejet. Il atteint le terrain en friche à l'est. On note une atteinte, pour des concentrations un peu moindres, des habitations situées en limite Est- et Nord-Nord-Est de l'établissement (voir les valeurs dans le tableau ci-dessous).

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 0,43959 Bq/m<sup>3</sup> (point situé à X = 25 et Y = -25 m par rapport au point de rejet. Ce point est localisé sur le terrain à l'Est immédiat de la limite de l'établissement. Ce terrain est aujourd'hui en friche.

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	
Habitations voisines au Nord Est	Habitations les plus proches dans la zone de retombée maximale	20	0	0,705376.10 <sup>-1</sup> Bq/m <sup>3</sup>
Collège	Zone sensible la plus proche	135	-205	0,703201.10 <sup>-1</sup> Bq/m <sup>3</sup>
Terrain en friche à l'Est du site Point Max	Zone la plus impactée - potentiellement constituible	25	-25	0,43959 Bq/m <sup>3</sup>

Tableau 14 : 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 fluor18 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
Habitations voisines au Nord Est	4,35238.10 <sup>-15</sup>	1,56886.10 <sup>-11</sup>	1,37257.10 <sup>4</sup>	0,705376.10 <sup>-1</sup> Bq/m <sup>3</sup>
Collège	1,21401.10 <sup>-15</sup>	4,37044.10 <sup>-12</sup>	3,82850.10 <sup>5</sup>	0,703201.10 <sup>-1</sup> Bq/m <sup>3</sup>
Point Max	5,37692.10 <sup>-15</sup>	1,93569.10 <sup>-11</sup>	1,69567.10 <sup>4</sup>	0,43959 Bq/m <sup>3</sup>

Tableau 15 : valeur des doses reçues par irradiation externe sur les points retenus

### 6.3.3 Niveau ambiant

Pour mémoire, les débits de doses ambiants mesurés au niveau du centre de secours principal de Marseille sont redonnés dans le tableau ci-dessous (cf § 4.2.5) :

Station	Méthode de surveillance	Période de mesure	Dose ambiante
Marseille	Débit de dose gamma ambiant mesuré par dosimétrie active (sonde de télémesure)	01/01/2009 au 30/09/2013	Dose moyenne : 75,35 nSv/h Maxi mesuré : 93,75nSv/h Mini mesuré : 60 nSv/h

Tableau 16 : niveau de débit de dose ambiant à proximité du site

### 6.3.4 Contribution de l'établissement

Le tableau ci-dessous fournit le pourcentage de contribution du site au débit de dose ambiant mesuré dans l'environnement sur la station la plus proche.

DEBIT DE DOSE MOYEN SUR LA ZONE D'ETUDE (STATION DE MARSEILLE)	DEBIT DE DOSE MOYEN SUR LES POINTS PARTICULIERS (cf § 6.3.2 En Sv/h)		CONTRIBUTION DE L'ETABLISSEMENT
	Habitations voisines au Nord Est : 1,56886.10 <sup>-11</sup>		
75,35.10 <sup>-9</sup> Sv/h	Collège : 4,37044.10 <sup>-12</sup>		2,08.10 <sup>-2</sup>
	Point Max : 1,93569.10 <sup>-11</sup>		5,80.10 <sup>-3</sup>

Tableau 17 : 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 n'étant pas prise en compte dans cette 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'un enfant résidant au niveau des habitations les plus proches

##### 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	0,705376.10 <sup>-1</sup> Bq/m <sup>3</sup>	Résultat du calcul de dispersion
Dose en Sv/s (irradiation par le panache et par les dépôts au sol)	4.35238.10 <sup>-15</sup> 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 nourrisson un résidant 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 <sup>-10</sup> Sv/Bq Type M : h = 4,1.10 <sup>-10</sup> Sv/Bq Type S : h = 4,2.10 <sup>-10</sup> 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 <sup>er</sup> 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 <sup>3</sup> /minute	Hypothèse majorante retenue (volume équivalent à celui d'un travailleur (cf 7.2.1 ci-dessus))

### 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 :

$$D_{\text{externe}} = 4,35238 \cdot 10^{-15} \times 3600 \times 24 \times 7 \times 52 = 1,37 \cdot 10^{-7} \text{ Sv/Jan}$$

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

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

$$\text{Quantité inhalée en Bq} : 18 \cdot 10^{-3} \times 24 \times 7 \times 52 \times 0,705376 \cdot 10^{-1} = 665,51 \text{ Bq/Jan de F18}$$

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

$$D_{\text{engage}} = 665,51 \times 4,2 \cdot 10^{-10} = 2,80 \cdot 10^{-7} \text{ Sv/Jan}$$

Dose en Sv/Jan = (Quantité inhalée en Bq/Jan) X (h en Sv/Bq)

- Calcul de la dose efficace totale :

$$\text{Dose efficace totale} = D_{\text{externe}} + D_{\text{engage}} = 1,37 \cdot 10^{-7} + 2,80 \cdot 10^{-7} = 4,17 \cdot 10^{-7} \text{ Sv/Jan}$$

#### 7.2.2 Exposition d'un adolescent (12-17 ans) exposé au niveau du collège

##### a. Données d'entrées et hypothèses

Données	Valeurs	Source
Type de population considérée	Jeune 12-17 ans	Hypothèse d'un collégien présent dans la zone d'étude durant la seule période de cours au collège
Concentration dans l'air	0,703201.10 <sup>-1</sup> Bq/m <sup>3</sup>	Résultat du calcul de dispersion
Dose en Sv/s (irradiation par le panache et par les dépôts au sol)	1,21401.10 <sup>-15</sup> Sv/s	Résultat du calcul de dispersion
Temps d'exposition retenue	40 heures par semaine 37 semaines par an	Hypothèse pour un collégien présente 9 heures les lundi mardi jeudi et vendredi, 4 heures les mercredi hors vacances scolaires.
Dose efficace engagée par unité d'incorporation par inhalation	Type F : h = 3,4.10 <sup>-11</sup> Sv/Bq Type M : h = 6,9.10 <sup>-11</sup> Sv/Bq Type S : h = 7,3.10 <sup>-11</sup> 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 <sup>er</sup> 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 <sup>3</sup> /minute	INRS : Document dmi ergonomie 76T123 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 :

$$D_{\text{externe}} = 1,21401 \cdot 10^{-15} \times 3600 \text{ secondes} \times 40 \text{ heures} \times 37 \text{ semaines} = \text{Dose en Sv/an}$$

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

$$\text{Quantité inhalée en Bq} : 18 \cdot 10^{-3} \times 60 \text{ X } 40 \text{ X } 37 \text{ X } 0,703201 \cdot 10^{-1} = 112,40 \text{ Bq/an de F18}$$

$$\text{Quantité inhalée en Bq} = 18 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3/\text{min} \times 60 \text{ minutes} \times 40 \text{ heures} \times 37 \text{ semaines} \times \text{concentration en Bq/m}^3$$

$$D_{\text{engagée}} = 112,40 \times 7,3 \cdot 10^{-11} = 8,21 \cdot 10^{-9} \text{ Sv/an}$$

$$D_{\text{engagée en Sv/an}} = (\text{Quantité inhalée en Bq/an}) \times (n \text{ en Sv/Bq})$$

- Calcul de la dose efficace totale :

$$\text{Dose efficace totale} = D_{\text{externe}} + D_{\text{engagée}} = 6,47 \cdot 10^{-9} + 8,21 \cdot 10^{-9} = 1,47 \cdot 10^{-8} \text{ Sv/an}$$

7.3 COMPARAISON AUX VALEURS LIMITES ET DOSES AMBIANTES

- 7.3.1 Exposition d'un nourrisson résidant au niveau des habitations les plus proches

Dose efficace reçue du fait des émissions de l'établissement (§7.2.1)	4,17.10 <sup>-4</sup> 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 nourrisson résidant au niveau des habitations les plus proches de l'établissement représente :

→ 4,17.10<sup>-2</sup> % de la dose maximale admissible

→ 1,74.10<sup>-2</sup> % de la dose moyenne d'exposition en France

- 7.3.2 Exposition d'un collégien au niveau du collège André Malraux

Dose efficace reçue du fait des émissions de l'établissement (§ 7.2.2)	1,47.10 <sup>-5</sup> 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 collégien scolarisé au collège André Malraux représente :

→ 1,47.10<sup>-3</sup> % de la dose maximale admissible

→ 6,13.10<sup>-4</sup> % 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 4.10<sup>-2</sup> % de la dose annuelle admissible au niveau des habitations les plus proches et de 1.5.10<sup>-3</sup>% au niveau du collège. Elle représente également une contribution de l'ordre de 2.10<sup>-2</sup> % au maximum de la dose moyenne d'exposition en France.

Toutes les configurations étudiées démontrent que l'établissement Cyclopharma de Marseille génère une contribution supplémentaire à la dose annuelle reçue maximale de 0,417 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 <sup>3</sup> . 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 d'un nourrisson au niveau des habitations les plus proches - la présence de collégiens au niveau du collège André Malraux	Majorante Majorante
Durée d'exposition des personnes dans la zone de concentrations et de retombées	Étude réalisée en considérant : - la présence d'un nourrisson en permanence au niveau des habitations les plus proches - la présence de collégiens pendant le seul temps scolaire au niveau du collège André Malraux	Surestimation 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 18 : tableaux d'analyse des incertitudes

\* configuration de fonctionnement de référence prise en compte donc les conditions sont expliquées dans l'étude (cf § 2.4 et 2.5)

### 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<sup>er</sup> 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.insee.fr>
  - <http://www.atmopaca.org>
  - <http://www.mesure-radioactivite.fr>
  - <http://svs.insr.fr/svs/mesure>



## BILAN DES ETUDES D'IMPACT

SBZ

### 2.5 QUANTIFICATION DES EMISSIONS

L'établissement fait réaliser à minima une mesure annuelle sur cet émissaire 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/m<sup>3</sup> 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.

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	6-8	7-8	8-9	9-10	10-11	11-12	12-13	13-14
Flux (Bq/s)	0	6844	6844	6844	6844	6844	6844	6844	6844	6844	6844	6844	0

Tableau 1 : Flux de F10 rejetés  
Flux en Bq/s = (concentration (Bq/m<sup>3</sup>) x débit de rejet (m<sup>3</sup>/s) x temps de fonctionnement (heures comptées dans la cas présent)).  
La concentration ne variant pas en fonction de l'époque considérée du cycle et l'on compte de la juxtaposition des cycles.

### 7.4 CONCLUSION

L'exposition générée par l'établissement aux rayonnements ionisants est de l'ordre de 7,5.10<sup>-4</sup> % de la dose annuelle admissible au niveau de la zone de réverbération maximale hors site (Jacquet) et de 3.7.10<sup>-2</sup> % au niveau des habitations les plus proches (les majorant d'un nourisson présent en permanence sur la zone d'exposition). Elle représente également une contribution de l'ordre de 1.5.10<sup>-3</sup> % au maximum de la dose moyenne d'exposition en France.

Toutes les configurations étudiées démontrent que l'établissement Cyclopharma de Saint-Beauzire génère une contribution supplémentaire à la dose annuelle reçue maximale de 0,0371 µSv/an.

Vents dominants majoritaires = Nord Nord-Ouest et Sud Sud-Est

VDL

### 7.5 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/m<sup>3</sup> 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.

Conclusions :

- La concentration en F10 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 est très inférieur à celui de la cheminée principale.

Nous considérons dans la suite de l'étude un rejet continu de 10 000 Bq/m<sup>3</sup> sur la cheminée principale, sur le débit total de tout le site pendant toute l'activité du site (est approximativement de 4 heure à 13 heures). Cette hypothèse majorante représente une situation très conservatrice 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	6-8	7-8	8-9	9-10	10-11	11-12	12-13	13-14
Flux (Bq/s)	0	41.004	41.000	41.000	41.000	41.000	41.000	41.000	41.000	41.000	41.000	41.000	0

Tableau 1 : Flux de F10 rejetés

Flux en Bq/s = (concentration (Bq/m<sup>3</sup>) x débit de rejet (m<sup>3</sup>/s) x temps de fonctionnement (heures comptées dans le cas présent)).  
La concentration ne variant pas en fonction de l'époque considérée du cycle et l'on compte de la juxtaposition des cycles.

### 7.4 CONCLUSION

L'exposition générée par l'établissement aux rayonnements ionisants est de l'ordre de 7.10<sup>-3</sup> % de la dose annuelle admissible au niveau des bureaux les plus proches (Jacquet) et de 1.5.10<sup>-2</sup> % au niveau des habitations les plus proches (les majorant d'un nourisson présent en permanence sur la zone d'exposition).

Elle représente également une contribution de l'ordre de 5.10<sup>-3</sup> % 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.

Vents dominants majoritaires = Sud-Ouest voire Nord-Est

**2.5 QUANTIFICATION DES ÉMISSIONS**

Le débit de rejet de l'extraction sur le site (Illich-Graffenstaden) est de 3 000 m<sup>3</sup>/h.

L'emblissement fait réaliser à minima une mesure annuelle sur cet émissaire de rejets.

Sur la base des résultats des campagnes de mesures, il a été décidé de réajuster pour la présente étude une concentration constante de 10 000 Bq/m<sup>3</sup> pendant les 3 cycles de production consécutifs d'une durée totale annuelle de 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 émise en configuration maximale pour l'évaluation du risque sanitaire ne correspondant actuellement pas à l'actualisation de rejet.

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

Heure	01	12	23	34	43	50	57	70	81	910	1011	1110	1213	1314
Flux (Bq/h)	0	25000	25000	25000	25000	25000	25000	25000	25000	25000	25000	25000	25000	0

Flux en Bq/s : [Concentration (Bq/m<sup>3</sup>) \* Débit de rejet (m<sup>3</sup>/h) / 3600]. X temps de fonctionnement (heures comptable dans le cas présent).

La concentration va varier par un facteur de 10 en fonction de l'étape considérée du cycle et bien entendu de la disposition des cycles.

**7.4 CONCLUSION**

L'exposition générale par l'établissement aux rayonnements ionisants est de l'ordre de 7.10<sup>-3</sup> % de la dose annuelle admissible. Elle représente également la contribution de l'ordre de 2.10<sup>-3</sup> % au maximum de la dose moyenne d'exposition en France.

Toutes les configurations étudiées démontrent que l'établissement Cyclopharma d'Illich apporte une contribution supplémentaire à la dose annuelle reçue très inférieure à 0,01 µSv/an.

Vents dominants majoritaires = Sud Sud-Ouest

**7.4 CONCLUSION**

L'exposition générale par l'établissement aux rayonnements ionisants est de l'ordre de 5.5.10<sup>-3</sup> % de la dose annuelle admissible au niveau de la zone de retombée maximale et de 1.8.10<sup>-3</sup> % au niveau des habitations les plus proches. Elle représente également une contribution de l'ordre de 7.3.10<sup>-3</sup> % au maximum de la dose moyenne d'exposition en France.

Toutes les configurations étudiées démontrent que l'établissement Cyclopharma de Jamneyrias génère une contribution supplémentaire à la dose annuelle reçue maximale de 0,175 µSv/an.

Vents dominants majoritaires = Nord Nord-Ouest

**7.4 Conclusion**

L'exposition générée par l'établissement aux rayonnements ionisants est de l'ordre de  $5.10^{-3}$  % de la dose annuelle admissible au niveau de l'établissement Loc facile (zone de retombée maximale en dehors du site) et  $10^{-5}$  % au niveau de l'établissement Kiddy Teuf.  
Elle représente également une contribution de l'ordre de  $10^{-3}$  % au maximum de la dose moyenne d'exposition en France.

Les configurations étudiées démontrent que l'établissement Cyclopharma de Gisy génère une contribution supplémentaire à la dose annuelle reçue maximale de  $0.0481 \mu\text{Sv/an}$ .

Vents dominants majoritaires = Sud-Ouest

**7.4 Conclusion**

L'exposition générée par l'établissement aux rayonnements ionisants est de l'ordre de  $3.10^{-3}$  % de la dose annuelle admissible au niveau du bâtiment Cyceron (zone de retombée maximale en dehors du site) et  $8.10^{-6}$  % au niveau de l'Hôtel Mercure.

Elle représente également une contribution de l'ordre de  $3.10^{-3}$  % au maximum de la dose moyenne d'exposition en France.

Les configurations étudiées démontrent que l'établissement Cyclopharma de Coen génère une contribution supplémentaire à la dose annuelle reçue maximale de  $0.798 \mu\text{Sv/an}$ .

Vents dominants majoritaires = Ouest

**7.4 CONCLUSION**

L'exposition générée par l'établissement aux rayonnements ionisants est de l'ordre de  $3,10^{-3}$  % de la dose annuelle admissible au niveau de la zone de retombée maximale et de  $2,10^{-3}$  % au niveau du futur mémorial AZE. Elle représente également une contribution de l'ordre de  $10^{-3}$  % au maximum de la dose moyenne d'exposition en France.

Toutes les configurations étudiées démontrent que l'établissement Cyclopharma de Toulouse génère une contribution supplémentaire à la dose annuelle reçue maximale de  $0,033 \mu\text{Sv/an}$ .

Vents dominants majoritaires = Ouest Nord-Ouest

**7.4 CONCLUSION**

L'exposition générée par l'établissement aux rayonnements ionisants est de l'ordre de  $4,10^{-2}$  % de la dose annuelle admissible au niveau des habitations les plus proches, et de  $1,5,10^{-3}$  % au niveau du collège. Elle représente également une contribution de l'ordre de  $2,10^{-3}$  % au maximum de la dose moyenne d'exposition en France.

Toutes les configurations étudiées démontrent que l'établissement Cyclopharma de Marseille génère une contribution supplémentaire à la dose annuelle reçue maximale de  $0,417 \mu\text{Sv/an}$ .

Vents dominants majoritaires = Nord-Ouest

DIJ

N/A

LIL

N/A

