

MARS 2016



Cyclotron Réunion Océan Indien (CYROI)

Etude de dispersion et Evaluation des risques sanitaires liés au fluor 18

“Un seul métier,
L’environnement Atmosphérique”

Références : Rapport ARIA/2016.019

Documents associés : -

Type de document : Rapport d'études

Avancement du document : Version 1

Accessibilité : Restreint

ARIA Technologies SA

8-10 rue de la Ferme – 92100 Boulogne Billancourt

Tél. : +33 (0)1 46 08 68 60 – Fax : +33 (0)1 41 41 93 17 – E-mail : info@aria.fr - <http://www.aria.fr>

S.A au capital de 779 947 € - SIRET 379 180 474 00049 – Code APE 6201Z – RCS Nanterre B 379 180 474

ARIA Technologies	Titre : CYROI - Etude de dispersion et Evaluation des risques sanitaires liés au fluor 18						
N° rapport ARIA	16.019						
N° action ARIA	15.231						
Nombre de pages	49	Nombre de figures	23	Nombre de tableaux	19	Nombre d'annexes	1
Auteur(s)	ARIA Technologies, Anne-Sophie SAFFRE						
Sous-traitants	-						
Intérêt documentaire		Accessibilité		Confidentielle		Libre	
Oui		Non		ARIA Technologies		Restreinte	
Etat du document		Rédacteurs Nom/Date		Relecteur Nom/Date			
Version V1		Anne-Sophie SAFFRE Le 21/03/2016		Lydia RICOLLEAU Le 31/03/2016			
Diffusion		Date	Destinataires				Nombre
Diffusion informatique		31/03/16	CYROI				-
Diffusion papier		-	-				-

SOMMAIRE

1. CADRE DE L'ETUDE.....	5
2. METHODOLOGIE MISE EN OEUVRE.....	6
3. INVENTAIRE DES EMISSIONS DANS L'AIR.....	7
3.1 Composé étudié.....	7
3.2 Concentrations et flux à l'émission	7
4. EVALUATION DES ENJEUX ET DES VOIES D'EXPOSITION	8
4.1 Populations	8
4.2 Etablissements Recevant du Public (ERP)	10
4.3 Usages autour du site.....	12
4.3.1 Usages agricoles	12
4.3.2 Recensement des points d'eau.....	14
5. ETUDE DE LA DISPERSION ATMOSPHERIQUE	15
5.1 Données d'entrée	15
5.1.1 Domaine d'étude	15
5.1.2 Topographie.....	16
5.1.3 Météorologie	17
5.2 Détermination des concentrations dans l'air et des dépôts au sol.....	22
5.2.1 Présentation du logiciel de dispersion et paramétrages du modèle.....	22
5.2.2 Présentation des résultats.....	23
5.2.3 Concentrations en moyenne annuelle	24
5.2.4 Dépôts au sol	26
6. EVALUATION DE L'IMPACT SANITAIRE.....	28
6.1 Identification des dangers	28
6.1.1 Effets sur la santé humaine et exposition des populations.....	28
6.1.2 Relation Dose-Réponse.....	29
6.2 Schéma conceptuel d'exposition	30
6.2.1 Voies d'exposition	30
6.2.2 Schéma conceptuel d'exposition.....	30
6.3 Estimation des doses d'exposition	31
6.3.1 Scénario d'exposition	31
6.3.2 Exposition externe (exposition par irradiation).....	32
6.3.3 Exposition interne par inhalation	34
6.4 Evaluation des risques.....	36
6.4.1 Méthodologie	36
6.4.2 Evaluation des risques sanitaires.....	36
6.5 Incertitudes	38
6.5.1 Incertitudes relatives à la modélisation atmosphérique.....	38
6.5.2 Incertitudes relatives à l'évaluation des risques sanitaires.....	40
7. CONCLUSION.....	42
ANNEXES	43
Annexe 1 : Description du modèle ARIA Impact	44

TABLE DES ILLUSTRATIONS

TABLEAUX

Tableau 1 : émissions	7
Tableau 2 : données de population (Source : Insee, Recensement de la population 2012, Données à l'IRIS)	9
Tableau 3 : fréquence d'apparition de chaque classe de vitesse de vent.....	19
Tableau 4 : statistiques relatives à la pluviométrie.....	21
Tableau 5 : paramètres de calcul des dépôts pour chacune des espèces étudiées.....	23
Tableau 6 : concentrations en moyenne annuelle en fluor 18 (Bq/m ³).....	24
Tableau 7 : dépôts totaux au sol moyens annuels	26
Tableau 8 : Coefficients de dose utilisés pour l'exposition externe.....	33
Tableau 9 : doses d'exposition par irradiation (panache + dépôts) – Zone la plus exposée	33
Tableau 10 : doses d'exposition par irradiation (panache + dépôts) – Habitation la plus exposée	34
Tableau 11 : doses d'exposition par irradiation (panache + dépôts) – Ecole la plus exposée.....	34
Tableau 12 : volumes d'air inhalés	35
Tableau 13 : doses d'exposition interne par inhalation – Zone la plus exposée	35
Tableau 14 : doses d'exposition interne par inhalation – Habitation la plus exposée	35
Tableau 15 : doses d'exposition interne par inhalation – Ecole la plus exposée	36
Tableau 16 : doses efficace totale – zone la plus exposée.....	36
Tableau 17 : doses d'exposition interne par inhalation – Habitation la plus exposée.....	37
Tableau 18 : doses d'exposition interne par inhalation – Ecole la plus exposée	37
Tableau 19 : doses d'exposition interne par inhalation – Zone la plus exposée.....	39

FIGURES

Figure 1 : position de la cheminée sur le site.....	7
Figure 2 : communes présentes dans un rayon de 3 km.....	8
Figure 3 : densité de la population sur le domaine d'étude (hab./km ²) (source : INSEE, Recensement 2012)	9
Figure 4 : localisation des habitations les plus proches	10
Figure 5 : localisation des ERP sensibles et des zones d'activités extérieures.....	11
Figure 6 : occupation du sol agricole 2014 (source : DAAF de la Réunion).....	12
Figure 7 : occupation du sol (données CORINE Land Cover).....	13
Figure 8 : ouvrages souterrains exploités pour l'AEP	14
Figure 9 : ouvrages souterrains exploités pour l'AEP	14
Figure 10 : carte du domaine d'étude	15
Figure 11 : topographie du domaine d'étude	16
Figure 12 : rose des vents générale – Toutes classes de vitesse	18
Figure 13 : rose des vents générale par classes de vitesses – Station Saint Denis/Gillot	18
Figure 14 : répartition des observations en fonction de la stabilité atmosphérique.....	20
Figure 15 : variation de la température sur l'année (période du 01/01/2013 au 31/12/2015)	20
Figure 16 : variation de la pluviométrie sur l'année (période du 01/01/2013 au 31/12/2015)	21
Figure 17 : rose des vents calculée à partir des échéances de pluie.....	21
Figure 18 : rose des vents calculée à partir des échéances sans pluie.....	21
Figure 20 : localisation des points cibles	24
Figure 21 : carte de concentration en moyenne annuelle en fluor 18 en Bq/m ³	25
Figure 22 : carte de dépôts en fluor 18 en Bq/m ² au bout d'un an	27
Figure 23 : schéma conceptuel d'exposition.....	31

1. CADRE DE L'ETUDE

Dans le cadre du renouvellement de son autorisation, le CYROI effectue une demande d'augmentation de l'autorisation des rejets atmosphériques en fluor 18 du site.

Dans ce contexte, le CYROI a demandé à ARIA Technologies de réaliser une étude de dispersion afin d'estimer l'impact des rejets atmosphériques en fluor 18 sur les riverains du site.

Le présent rapport présente l'évaluation des risques sanitaires liés aux rejets en fluor 18 dans l'atmosphère en fonctionnement normal du site. Il a été établi sur la base des informations transmises à ARIA Technologies, des données (scientifiques ou techniques) disponibles et objectives de la réglementation, en vigueur au moment de la réalisation du dossier (version 1).

La responsabilité d'ARIA Technologies ne pourra être engagée si les informations qui lui ont été fournies sont incomplètes ou erronées.

2. METHODOLOGIE MISE EN OEUVRE

Cette étude concerne l'étude de l'impact sur la santé des tiers situés dans l'environnement des rejets de l'installation en fonctionnement normal. Le fonctionnement accidentel est étudié dans l'étude de danger.

L'évaluation de l'impact sur la santé des rejets atmosphériques du site a été réalisée :

- en adaptant la méthodologie INERIS « Evaluation de l'état des milieux et des risques sanitaires – Démarche intégrée pour la gestion des émissions des substances chimiques par les installations classées » (août 2013) en application de la circulaire DGPR & DGS du 9 août 2013
- sur la base des données disponibles dans l'arrêté du 1^{er} septembre 2003 définissant les modalités de calcul des doses efficaces et des doses équivalentes résultants de l'exposition des personnes aux rayonnements ionisants.

Les étapes constituant la démarche sont les suivantes :

1. Evaluation des émissions de l'installation : caractérisation des émissions du site ;
2. Evaluation des enjeux et des voies d'exposition : schéma conceptuel décrivant les relations entre les sources de polluants, les milieux et vecteurs de transfert, les usages et les populations exposées ;
3. Evaluation prospective des risques sanitaires :
 - a. estimation de la dose efficace totale annuelle générée par les émissions du site ;
 - b. comparaison de la dose efficace annuelle à la valeur limite d'exposition définie par la réglementation et au niveau ambiant mesuré dans l'environnement du site ;
 - c. analyse des incertitudes.

3. INVENTAIRE DES EMISSIONS DANS L'AIR

3.1 COMPOSE ETUDIE

Seul le fluor 18 est étudié dans le cadre de ce rapport.

3.2 CONCENTRATIONS ET FLUX A L'EMISSION

Les émissions à l'atmosphère se font par une cheminée. Les informations relatives aux sources et au flux d'émissions ont été transmises par CYROI. La Figure 1 présente la position de la cheminée sur le site.

Figure 1 : position de la cheminée sur le site



Les caractéristiques de cette cheminée ainsi que les émissions sont détaillées dans le Tableau 1.

Tableau 1 : émissions

	Unités	Cheminée
Hauteur /sol	m	15.00
Diamètre de la cheminée	m	1.05 (gaine rectangulaire de 1.5m x 0.7m)
Température des rejets	°C	24.50
Débit	m ³ /h	18 030.00
Vitesse d'éjection	m/s	4.77
Nombre d'heures de fonctionnement	h/an	8 760
Périodes de fonctionnement	-	De 7h à 14h du mardi au vendredi 3 semaines de fonctionnement puis 1 semaine d'arrêt tout au long de l'année
Emissions en Fluor 18	GBq/an	100

4. EVALUATION DES ENJEUX ET DES VOIES D'EXPOSITION

Le site se trouve sur la commune de Saint Denis de la Réunion dans le Parc Technologique du Nord de la Réunion Technor qui regroupe différents centres de recherche, une école d'ingénieurs, des entreprises innovantes.

4.1 POPULATIONS

Deux communes se trouvent sur le domaine d'étude : Saint Denis et Sainte Marie. La figure ci-dessous présente les iris¹ dans un rayon de 3 km autour du site.

Figure 2 : communes présentes dans un rayon de 3 km



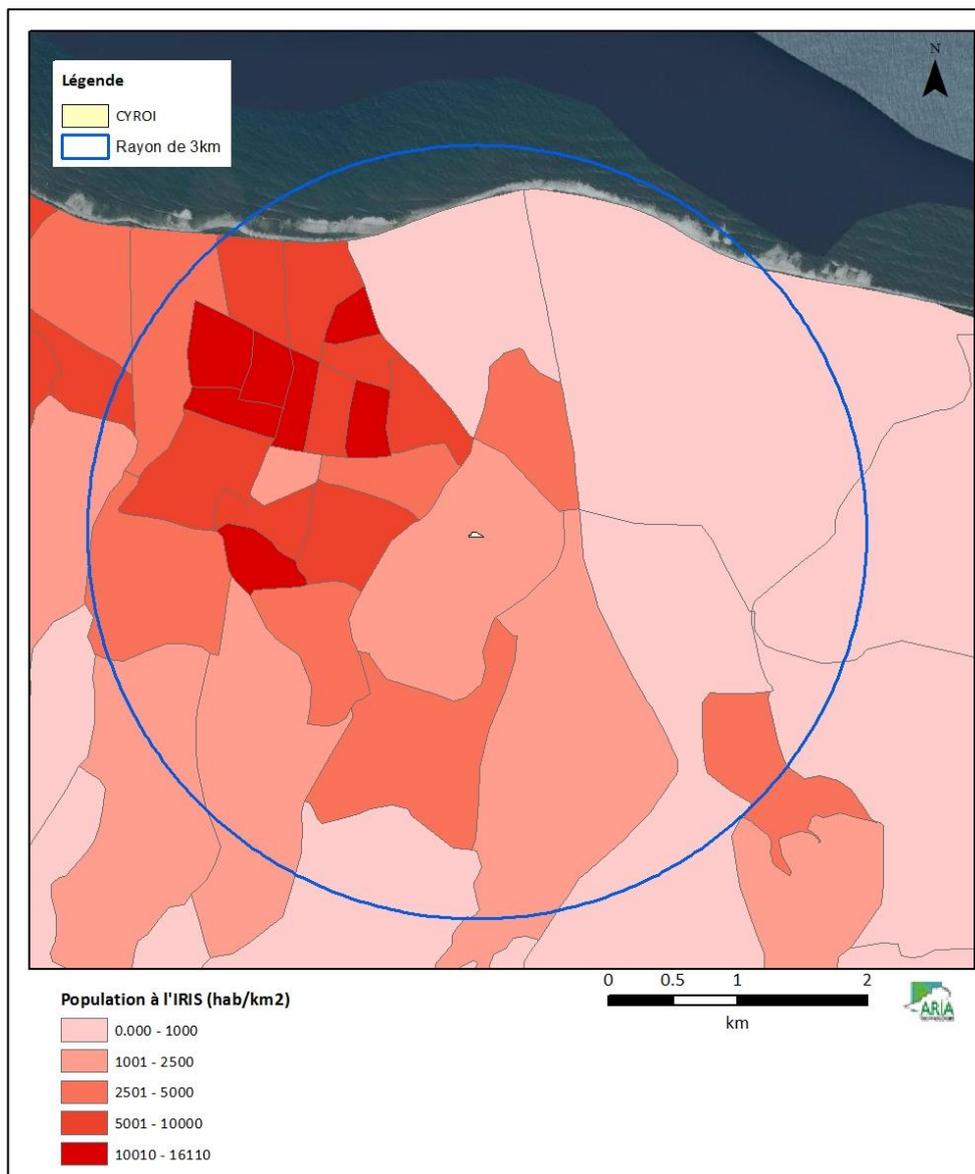
Le Tableau 2 indique les données de population pour les IRIS présents sur le domaine d'étude (population sommée par commune par classe d'âge) et la Figure 3 présente la densité de population sur la zone d'étude.

¹ Les communes d'au moins 10 000 habitants et la plupart des communes de 5 000 à 10 000 habitants sont découpées en IRIS. Ce découpage, maille de base de la diffusion de statistiques infracommunales, constitue une partition du territoire de ces communes en "quartiers" dont la population est de l'ordre de 2 000 habitants.

Tableau 2 : données de population (Source : Insee, Recensement de la population 2012, Données à l'IRIS)

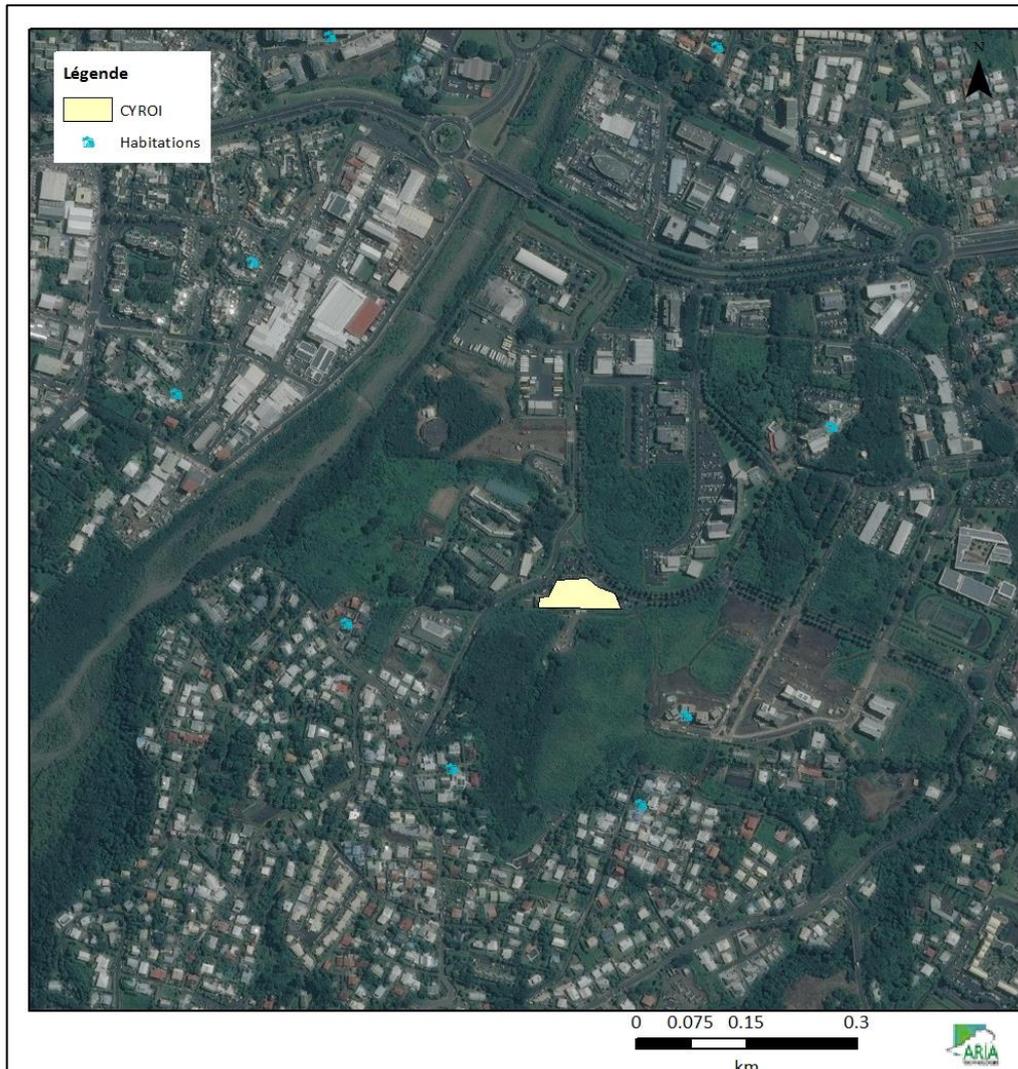
Commune	Population totale	Enfants		Adultes	
		moins de 6 ans	entre 6 et 18 ans	entre 18 et 65 ans	plus de 65 ans
Saint-Denis	77875	7091	13796	50669	6319
Sainte-Marie	14102	1247	2755	8819	1281

Figure 3 : densité de la population sur le domaine d'étude (hab./km²) (source : INSEE, Recensement 2012)



Les habitations les plus proches se trouvent à environ 200 m au sud-est du site.

Figure 4 : localisation des habitations les plus proches



4.2 ETABLISSEMENTS RECEVANT DU PUBLIC (ERP)

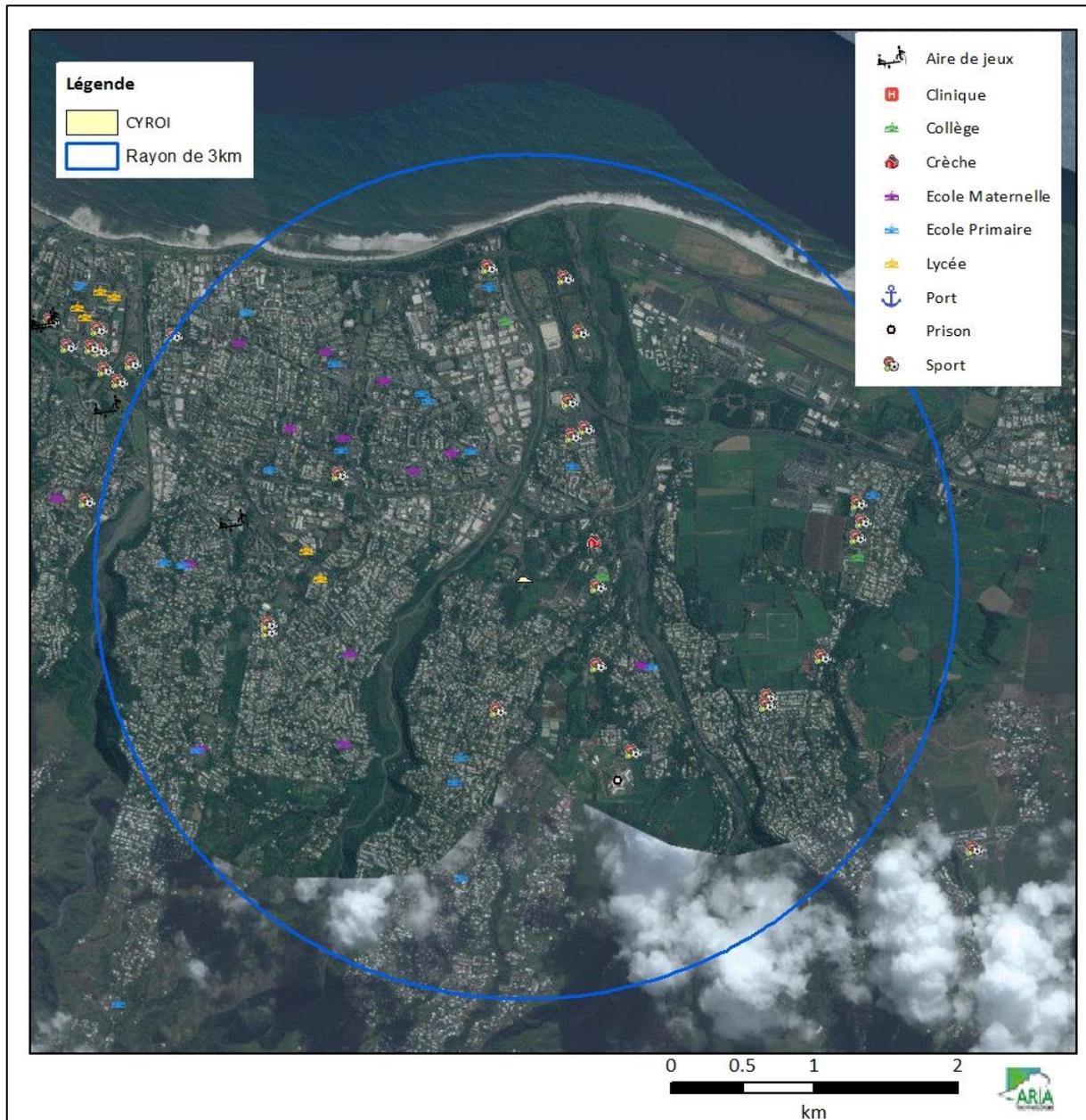
Les Etablissements Recevant du Public (ERP) représentent « tous bâtiments ou locaux dans lesquels des personnes sont admises, soit librement, soit moyennant une rétribution ou une participation quelconque, ou dans lesquels sont tenues des réunions ouvertes à tout venant ou sur invitation, payantes ou non. Sont considérées comme faisant partie du public toutes les personnes admises dans l'établissement à quelque titre que ce soit en plus du personnel ».

Parmi les ERP, les établissements recevant du public dits « sensibles » accueillent :

- des enfants : crèches, écoles maternelles et primaires ;
- des personnes âgées : maisons de retraite ;
- des personnes présentant des difficultés d'évacuation : les établissements de santé comme les cliniques et les hôpitaux.

La figure ci-dessous localise les ERP sensibles ainsi que les zones d'activités extérieures (aire de jeux, plateaux sportifs...).

Figure 5 : localisation des ERP sensibles et des zones d'activités extérieures



L'école la plus proche se trouve à environ 800 mètres au nord-est du site : l'école maternelle et primaire Primat qui accueille 250 élèves.

Le collège le plus proche se trouve à 500 mètres à l'est du site : le collège Emile Hugot.

Une crèche se trouve sur le site du Technopôle à environ 500 mètres au nord-est du site. Elle accueille 10 enfants.

4.3 USAGES AUTOUR DU SITE

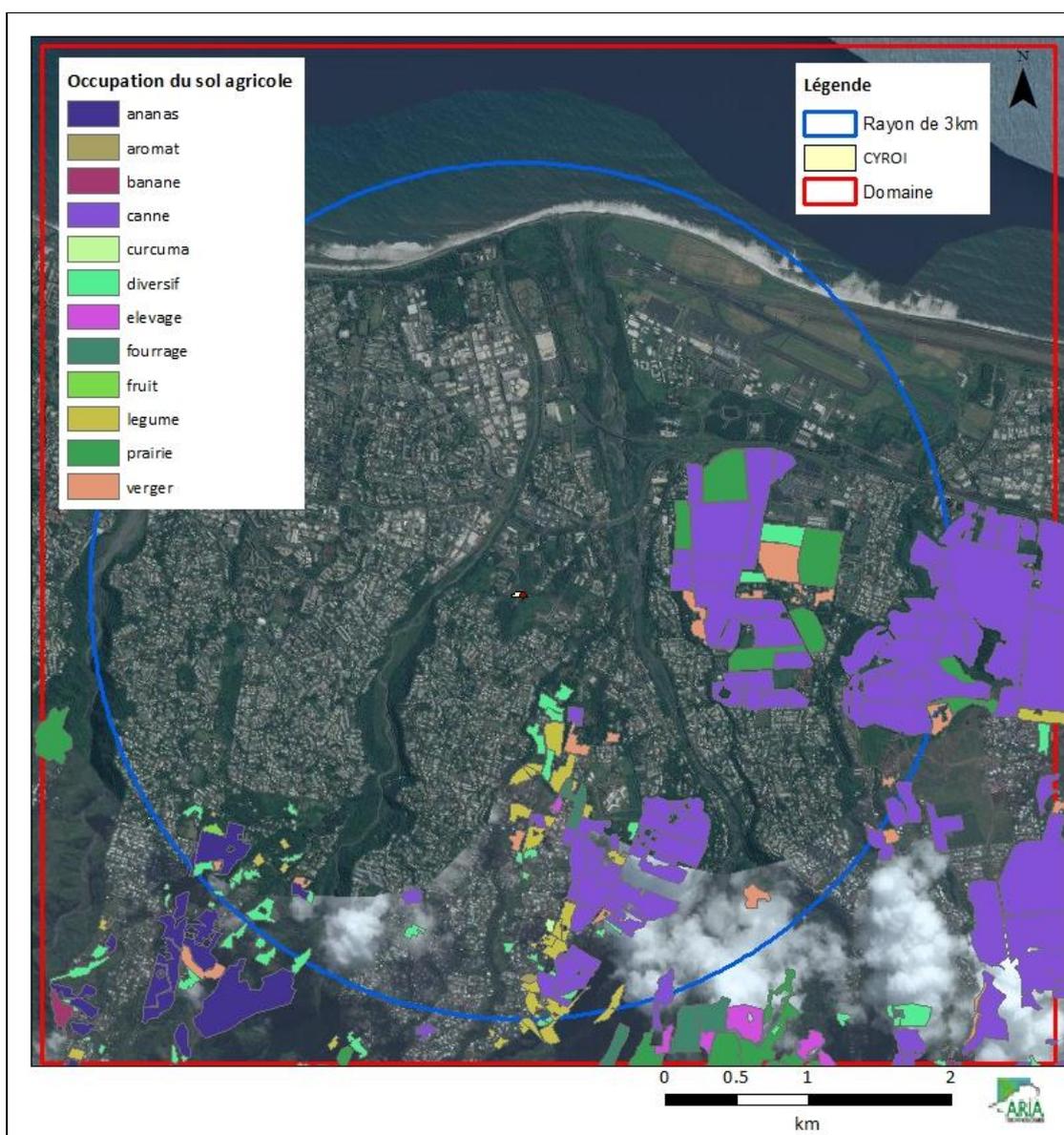
Le CYROI est situé au niveau du parc technologique.

4.3.1 Usages agricoles

Comme le montre la Figure 7 (données CORINE Land Cover 2006 d'occupation du sol), quelques zones de cultures et de prairies se trouvent dans un rayon de 3 km. Selon les données recueillies sur le site internet de la Direction de l'Alimentation, de l'Agriculture et de la Forêt de La Réunion², il s'agit principalement de culture de canne à sucre ainsi que de l'élevage et de la culture variée (fruits : bananes, ananas ; fourrage ; légumes).

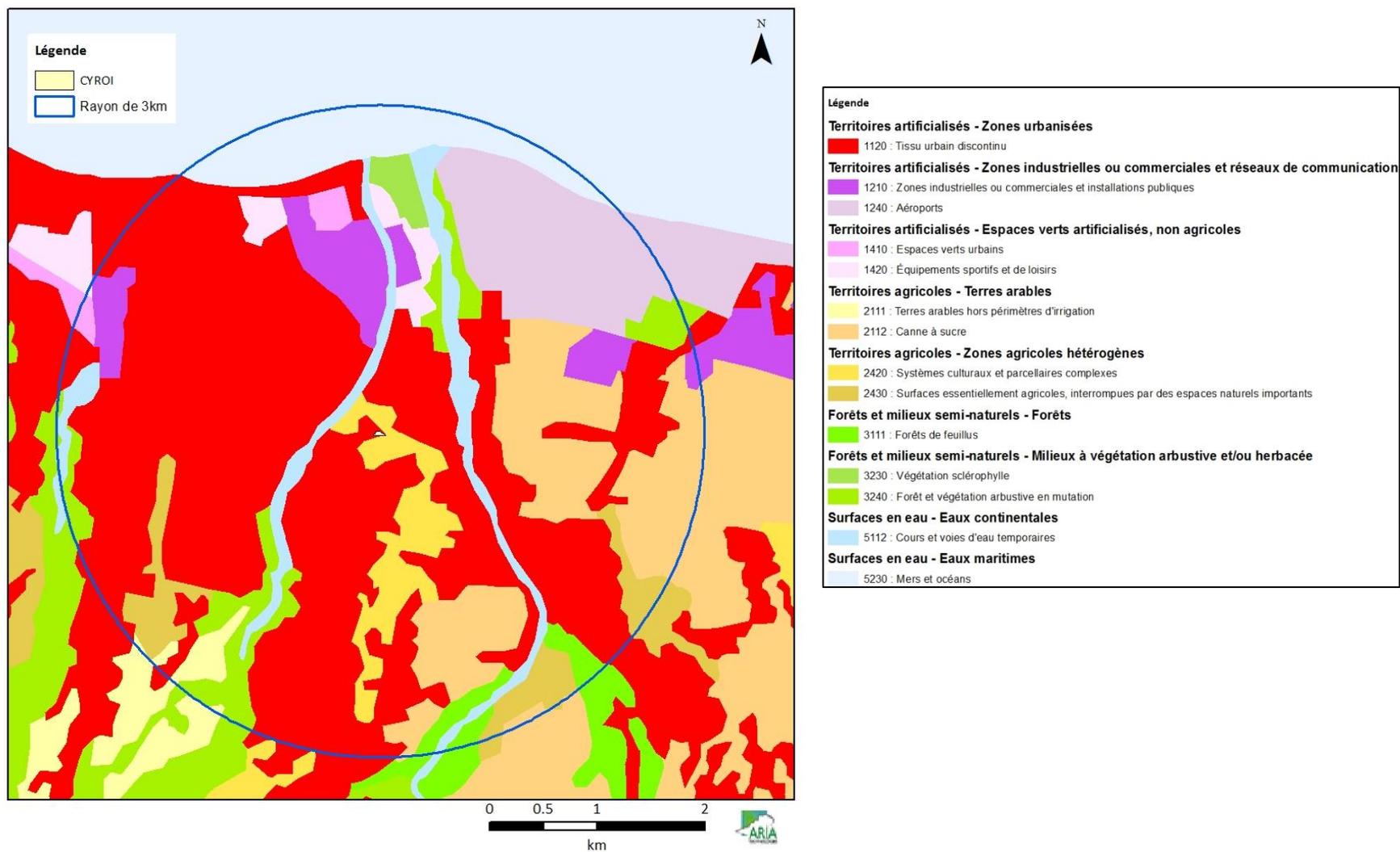
La figure ci-dessous détaille le type d'utilisation des sols à usage agricole.

Figure 6 : occupation du sol agricole 2014 (source : DAAF de la Réunion)



² <http://www.daf974.agriculture.gouv.fr/La-base-de-l-occupation-du-sol,1767>

Figure 7 : occupation du sol (données CORINE Land Cover)

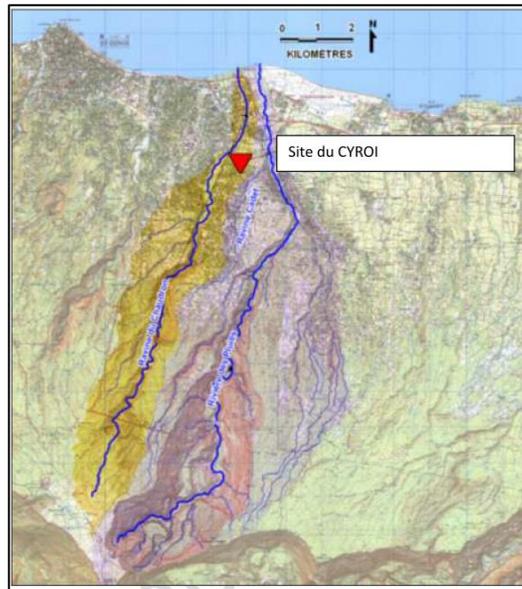


4.3.2 Recensement des points d'eau

Source : *Projet d'extension du Cyclotron / Dossier d'information des services de l'ARS et de déclaration au titre des articles L.214-1 et suivants du Code de l'Environnement.*

Le CYROI est compris entre la masse d'eau FRLR02 appelée « Rivière des Pluies » et la masse d'eau superficielle FRLR01 appelée « Rivière Saint Denis », mais ne fait partie ni de l'une ni de l'autre. Les bassins versants des 2 cours d'eau principaux du secteur sont représentés ci-dessus.

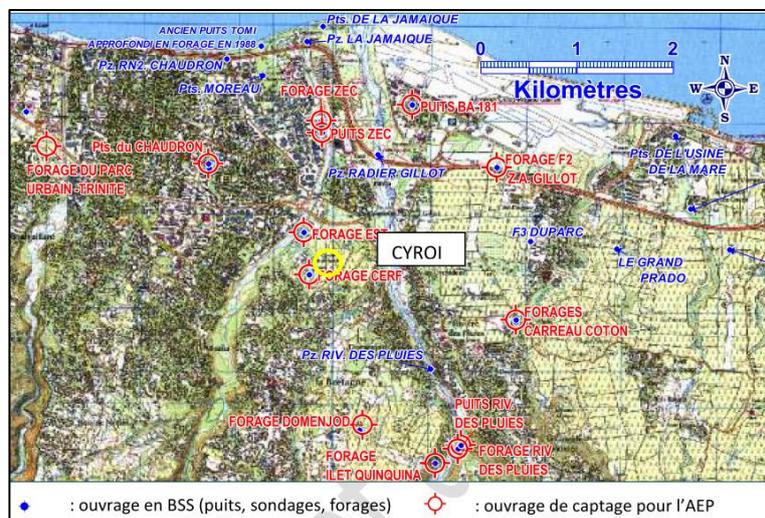
Figure 8 : ouvrages souterrains exploités pour l'AEP



Le site est inclus dans le bassin versant de la ravine du Chaudron, ravine non pérenne.

La ressource en eau souterraine de la nappe de Saint-Denis dans ce secteur est utilisée à des fins d'alimentation en eau potable, par la Ville de Saint-Denis. On note aussi l'usage de cette ressource par la commune de Sainte-Marie, en rive droite, au droit du forage Rivière des Pluies. A l'aval, les puits BA181, Forage F2 Gillot ne sont plus utilisés à ce jour, du fait de l'augmentation de la conductivité (contamination saline, F2 Gillot) et de risque de pollution (Puits BA181 rebouché).

Figure 9 : ouvrages souterrains exploités pour l'AEP



5. ETUDE DE LA DISPERSION ATMOSPHERIQUE

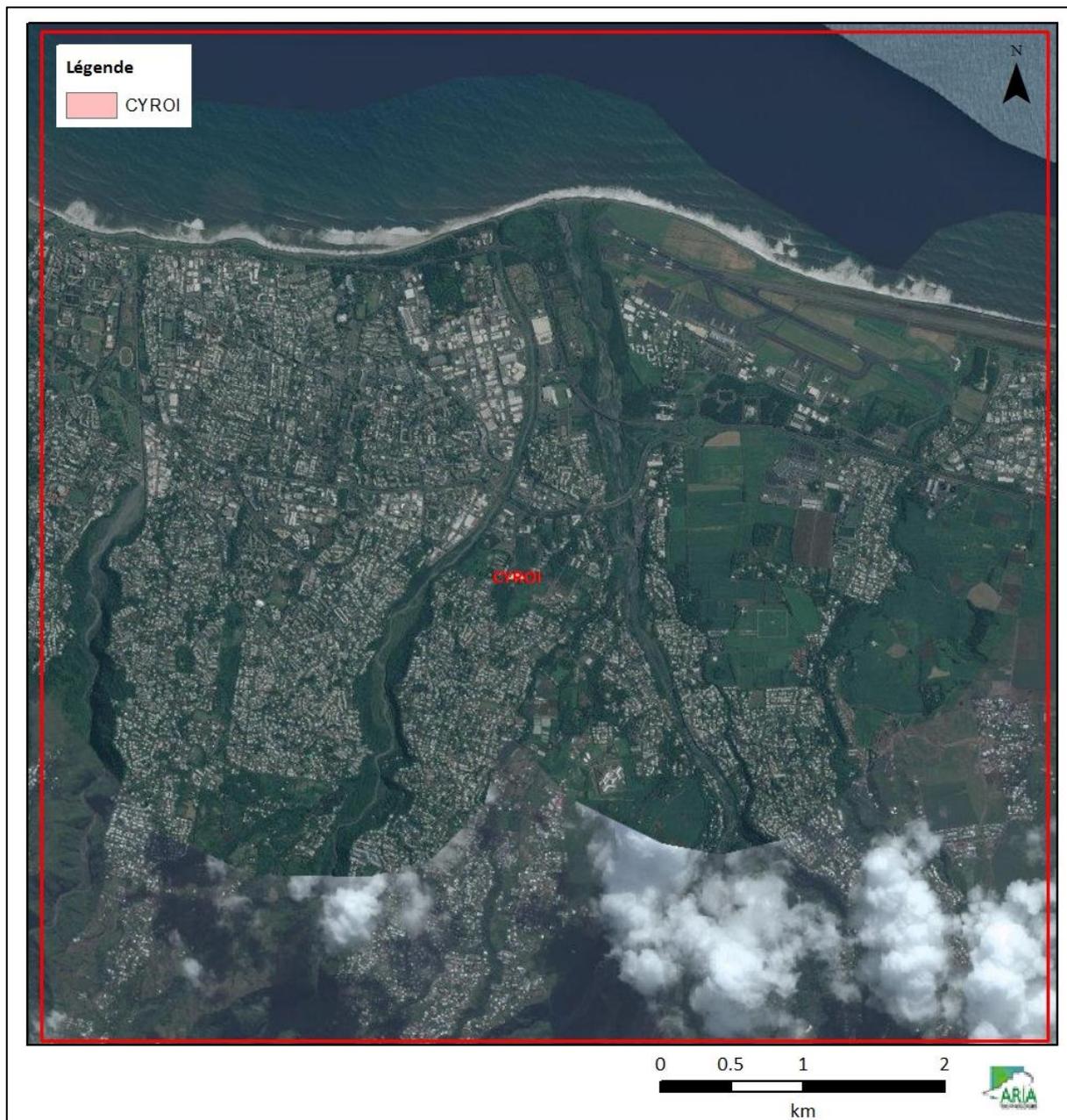
Afin d'estimer les concentrations et dépôts dans l'environnement en fluor 18 attribuables au site, une étude de dispersion a été réalisée.

5.1 DONNEES D'ENTREE

5.1.1 Domaine d'étude

Le domaine d'étude retenu est un carré de 10 km de côté centré sur le site CYROI.

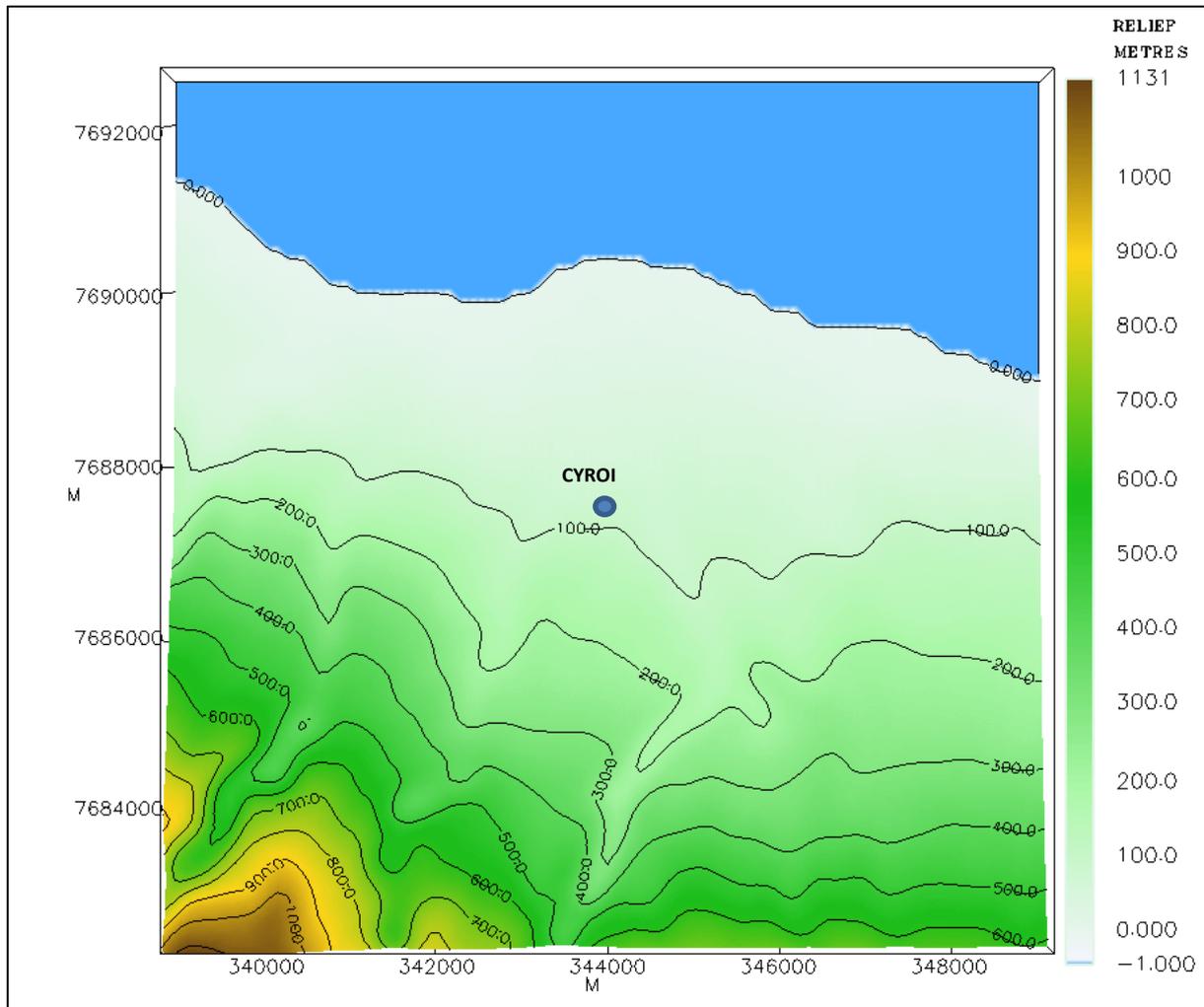
Figure 10 : carte du domaine d'étude



5.1.2 Topographie

La topographie est issue d'un Modèle Numérique de Terrain au pas de 75 mètres. La Figure 11 présente une vue 2D de la topographie sur le domaine d'étude. L'unité est le mètre NGF (Nivellement Général de la France). L'écart entre deux isolignes est de 100 mètres. Le relief du domaine d'étude varie entre -1 mètres à 118 mètres environ. En bleu apparaît l'océan.

Figure 11 : topographie du domaine d'étude



5.1.3 Météorologie

Les paramètres les plus importants pour les problèmes liés à la pollution atmosphérique sont : la direction du vent, la vitesse du vent, la température extérieure, la stabilité de l'atmosphère.

Ces paramètres sont variables dans le temps et dans l'espace. Ils résultent de la superposition de phénomènes atmosphériques à grande échelle (régime cyclonique ou anticyclonique) et de phénomènes locaux (influence de la rugosité, de l'occupation des sols et de la topographie). C'est pourquoi il est nécessaire de rechercher des chroniques météorologiques :

- suffisamment longues et complètes ;
- représentatives de la climatologie du site.

5.1.3.1 Données météorologiques

Plusieurs paramètres rentrent en ligne de compte pour le choix de la station météorologique la plus représentative de la zone d'étude :

- **sa position géographique** : la station retenue doit être la plus proche possible de la zone d'étude et il ne doit pas exister d'obstacle majeur entre la station et la zone d'étude ;
- **la cadence d'acquisition des données météorologiques** : Météo France possède des stations où les relevés sont faits toutes les heures et d'autres tous les jours. Pour notre étude, nous avons besoin de données météorologiques suffisamment fines au niveau horaire pour avoir une bonne représentativité de la météorologie locale et pour prendre en compte les phénomènes météorologiques diurnes. Il est habituel d'utiliser des bases de données météorologiques comportant les paramètres vent, température et nébulosité toutes les heures ou toutes les 3 heures pendant une ou plusieurs années. Les stations « journalières » sont donc éliminées ;
- la pertinence des données météorologiques.

L'observatoire des pratiques de l'évaluation des risques sanitaires dans les études d'impact de la Direction Générale de la Santé³ recommande d'utiliser au minimum trois années de données météorologiques en tri-horaire.

Selon les critères ci-dessus, les données météorologiques retenues pour la simulation de dispersion (vent, température, pluviométrie, nébulosité) proviennent des observations de la station Saint Denis/Gillot située à environ 2,5 km à l'est du site. Les données météorologiques utilisées sont des mesures horaires (1 mesure toutes les heures) sur la période du 01/01/2013 au 31/12/2015.

³ http://www.sante.gouv.fr/htm/dossiers/etud_impact/sommaire.htm

5.1.3.2 Analyse météorologique

5.1.3.2.1.1 Définitions

Vent calme : les vents calmes sont des vents de vitesse nulle, sans direction associée. Ils ne sont donc pas représentés sur la rose des vents.

Vent faible : les vents faibles sont des vents de vitesse inférieure à 2 m/s.

Classification des vents en fonction de leur vitesse :

Vitesse du vent	Rose des vents
$V < 0,9$ m/s	Vents calmes
$0,1 \text{ m/s} \leq V < 0,9$ m/s	0,5 m/s
$0,9 \text{ m/s} \leq V < 1,5$ m/s	1 m/s
$1,5 \text{ m/s} \leq V < 2,5$ m/s	2 m/s
$2,5 \text{ m/s} \leq V < 6,5$ m/s	3-6 m/s
$6,5 \text{ m/s} \leq V < 12,5$ m/s	7-12 m/s
$V \geq 12,5$ m/s	≥ 13 m/s

5.1.3.2.1.2 Roses des vents

La rose des vents, en un lieu donné, est la représentation graphique des fréquences des vents classées par direction et vitesse. Les intersections de la courbe avec les cercles d'une fréquence donnée fournissent les fréquences cumulées d'apparition des vents en fonction de la direction d'où vient le vent.

La Figure 12 présente la rose des vents générale, avec toutes les classes de vitesse confondues, pour la station météorologique de Saint Denis/Gillot sur la période 01/01/2013 au 31/12/2015, tandis que la Figure 13 présente la rose des vents générale par classes de vitesse.

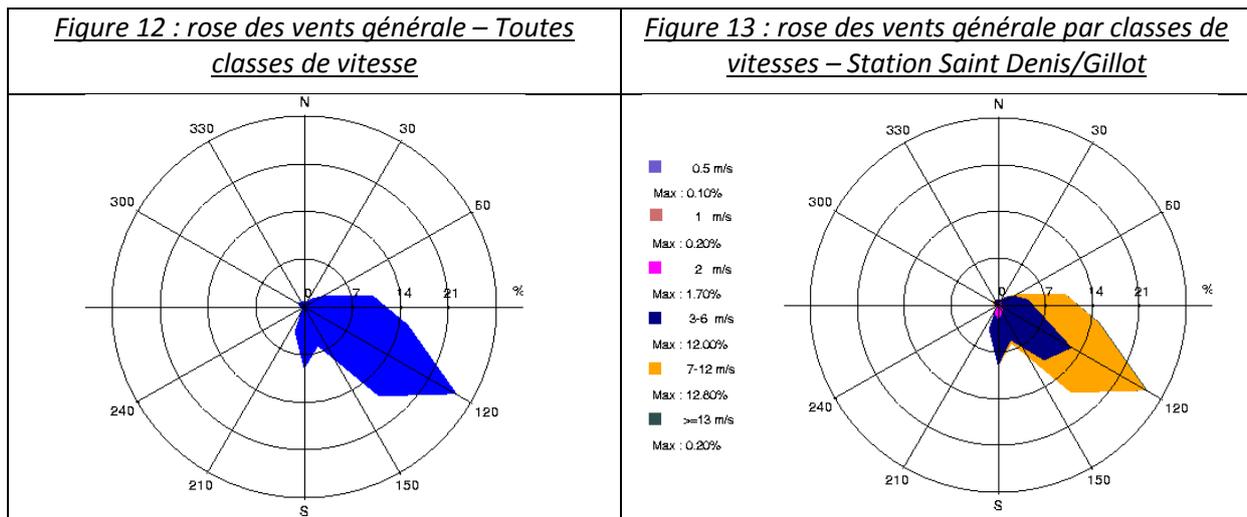


Tableau 3 : fréquence d'apparition de chaque classe de vitesse de vent

Classe de vitesse (m/s)	calmes	1	2	3-6	7-12	>=13
Borne de l'intervalle	[0 ; 0,9[[0,9 ; 1,5[[1,5 ; 2,5[[2,5 ; 6,5[[6,5 ; 12,5[[12,5 ; ∞[
Fréquence (%)	1.2	1.9	8.8	52.1	35.5	0.5

Les principaux résultats de cette analyse sont les suivants :

- la rose des vents générale présente deux directions :
 - une direction très majoritaire de vents de secteur sud-est (74,1 % des occurrences du vent mesuré ont une direction comprise entre 80° et 160°Nord) ;
 - une direction secondaire de secteur sud (13,1% des occurrences du vent mesuré ont une direction comprise entre 180° et 200°Nord).
- les vents les plus fréquents (52,1 %) sont les vents de vitesse comprise entre 3 et 6 m/s.
- les vents ont une vitesse moyenne de 19,8 km/h (5,5 m/s).
- les vents forts (de vitesse supérieure à 7 m/s) sont également fréquents (35,5 % des occurrences) et proviennent exclusivement du secteur sud-est.
- les vents faibles (de vitesse inférieure à 2 m/s) sont très peu fréquents puisqu'ils représentent 3,1 % des observations, dont 1,2 % de vents calmes.

5.1.3.2.2 Stabilité atmosphérique

La stabilité de l'atmosphère est destinée à quantifier les propriétés diffuses de l'air dans les basses couches. Elle est souvent associée à la structure thermique de l'atmosphère : par exemple, les situations d'inversion thermique se produisent lorsque l'atmosphère est stable.

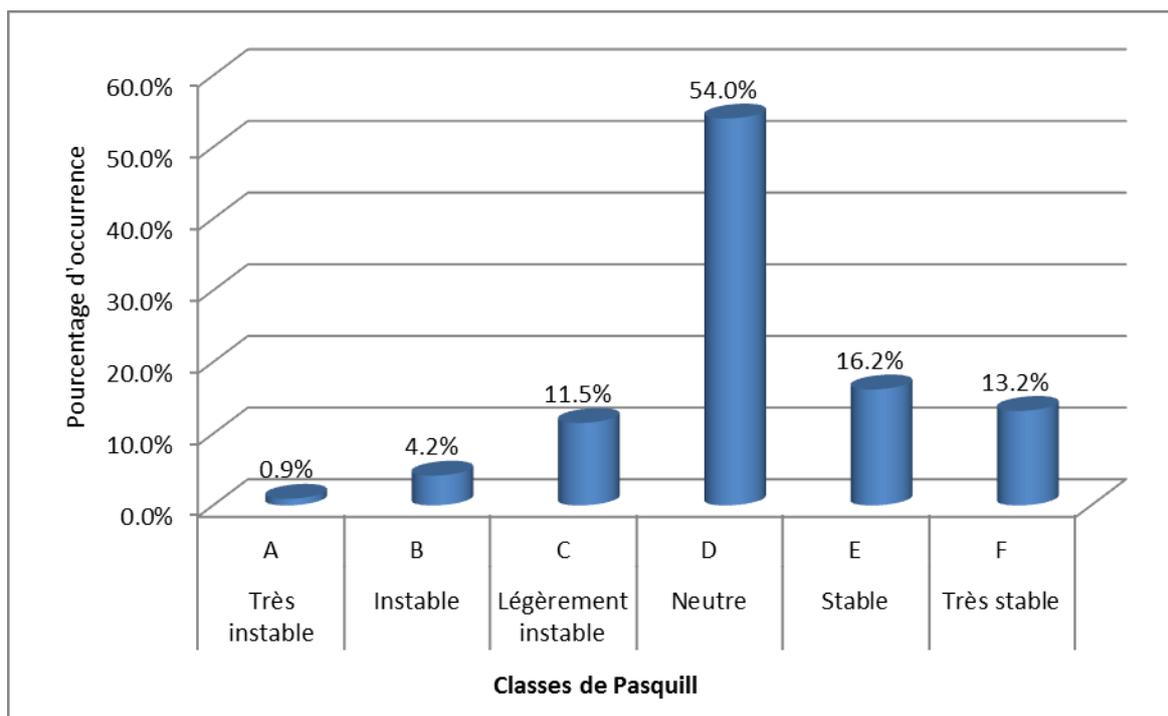
Dans cette étude, elle a été déterminée à partir des données de gradient thermique qui conduit à distinguer six catégories de stabilité de l'atmosphère :

- Classe A : Très instable
- Classe B : Instable
- Classe C : Légèrement instable
- Classe D : Neutre
- Classe E : Stable
- Classe F : Très stable

Plus l'atmosphère est stable (catégories E et F), plus les conditions de dispersion sont défavorables. Ces situations freinent le déplacement des masses d'air et se retrouvent principalement par vents faibles et la nuit.

Le diagramme de la Figure 14 présente la répartition des observations en fonction de la stabilité atmosphérique.

Figure 14 : répartition des observations en fonction de la stabilité atmosphérique



La classe D de Pasquill est la plus fréquemment observée (54 %) sur le site, ce qui est favorable pour la dispersion atmosphérique. Les classes E et F (peu favorables au niveau de la dispersion) représentent 29,4 % des observations.

Les vents ont une vitesse moyenne d'environ 3,9 m/s en situation stable - donc pénalisante pour la dispersion des émissions -, tandis qu'en atmosphère neutre, elle est de 6,9 m/s.

5.1.3.3 Température

La température de l'air, autre paramètre intervenant dans le processus de dispersion des polluants, est en moyenne de 24,5°C sur la période 2013-2015.

La Figure 15 présente les variations de la température minimale, moyenne et maximale sur l'année.

Figure 15 : variation de la température sur l'année (période du 01/01/2013 au 31/12/2015)



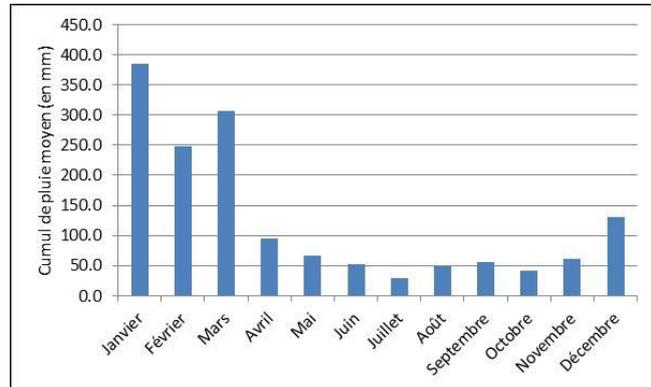
5.1.3.4 Pluviométrie

Dans le cadre de cette étude, nous avons tenu compte des données de pluviométrie recueillies sur la station Saint Denis/Gillot.

Tableau 4 : statistiques relatives à la pluviométrie

CUMUL ANNUEL DES PRECIPITATIONS (mm)	
2013	1439
2014	1141
2015	1979
Moyenne	1520

Figure 16 : variation de la pluviométrie sur l'année (période du 01/01/2013 au 31/12/2015)



Notons qu'en moyenne sur la période étudiée (du 01/01/2013 au 31/12/2015), il est tombé environ 1520 mm de pluie par an (cf. Tableau 4). L'année 2015 a été particulièrement pluvieuse (9^{ème} année la plus pluvieuse depuis 1969).

La rose des vents générale (cf. Figure 13) tient compte à la fois des journées avec pluie et sans pluie. Pour affiner l'interprétation, il est possible de séparer les deux types de journées et obtenir les roses des vents correspondantes (Figure 17 et Figure 18).

Sur les trois années considérées (01/01/2013 au 31/12/2015), il apparaît que :

- ❑ *Echéances avec pluie* : il pleut environ 9,2% du temps (9,2% des observations correspondent à des échéances avec de la pluie). L'analyse de la Figure 17 permet de constater que, dans ces conditions, les vents proviennent majoritairement de la direction sud-est.
- ❑ *Echéances sans pluie* : le reste du temps (90,8% des observations), les vents présentent les directions privilégiées de la rose des vents générale (cf. Figure 18).

Figure 17 : rose des vents calculée à partir des échéances de pluie

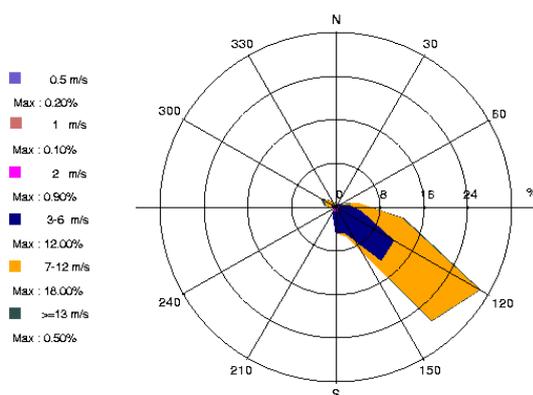
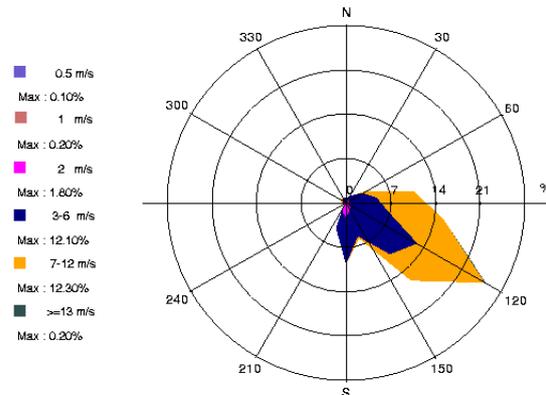


Figure 18 : rose des vents calculée à partir des échéances sans pluie



5.2 DETERMINATION DES CONCENTRATIONS DANS L'AIR ET DES DEPOTS AU SOL

5.2.1 Présentation du logiciel de dispersion et paramétrages du modèle

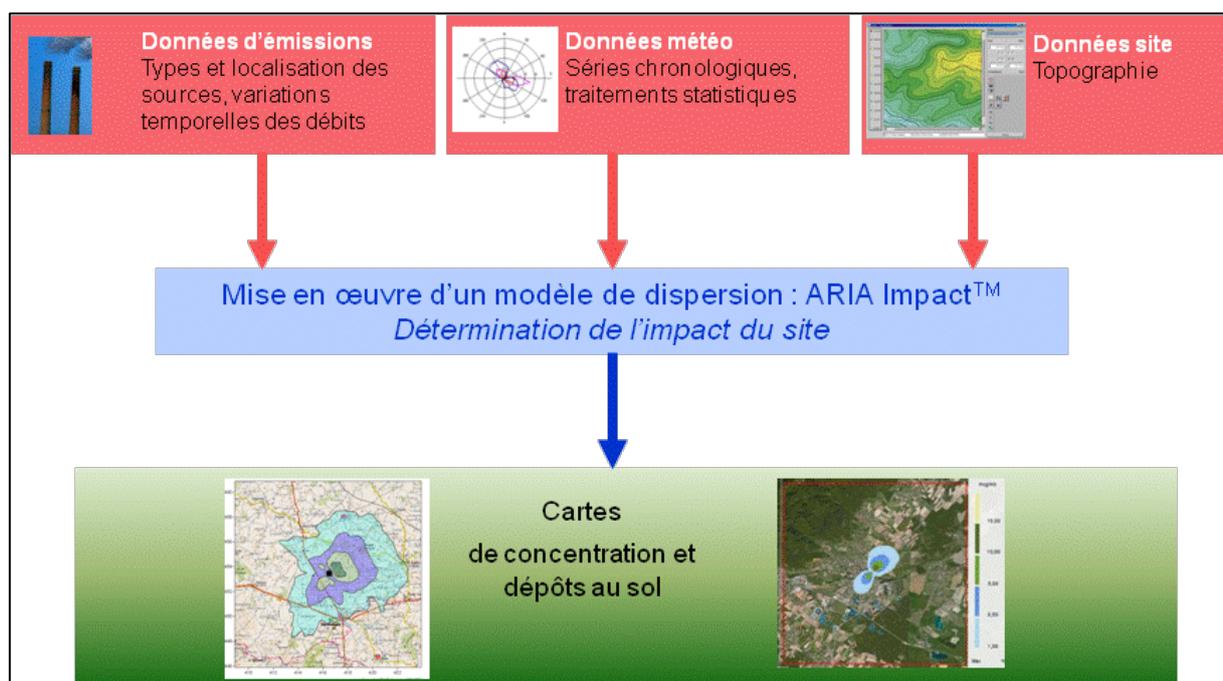
Le modèle utilisé pour cette analyse statistique est le logiciel ARIA Impact, version 1.8. Ce logiciel permet d'élaborer des statistiques météorologiques et de déterminer l'impact des émissions rejetées par une ou plusieurs sources ponctuelles, linéiques ou surfaciques. Il permet de simuler plusieurs années de fonctionnement en utilisant des chroniques météorologiques représentatives du site. En revanche, il ne permet pas de considérer les transformations photochimiques des polluants et de calculer les concentrations de polluant secondaires tel que l'ozone.

Sans être un modèle tridimensionnel, ARIA Impact peut prendre en compte la topographie de manière simplifiée.

Par ailleurs, ARIA Impact est un modèle gaussien qui répond aux prescriptions de l'INERIS pour la modélisation de la dispersion de la pollution atmosphérique des rejets des installations industrielles (cf. Annexe 2 du Guide méthodologique INERIS : « Evaluation de l'état des milieux et des risques sanitaires – Démarche intégrée pour la gestion des émissions des substances chimiques par les installations classées » publié par l'INERIS en août 2013).

Une description détaillée du modèle est présentée en Annexe 1.

Le diagramme ci-dessous schématise la méthodologie.



5.2.1.1 Paramétrages du modèle de dispersion

Les hypothèses de calcul suivantes ont été prises en compte :

- une prise en compte de la topographie;
- un modèle de dispersion basé sur les écarts-types de Pasquill ;
- une surélévation du panache due à la vitesse d'éjection et à la température des fumées suivant la formulation de Holland ;
- une prise en compte des vents calmes ;
- le calcul des dépôts au sol liés à la chute gravitaire des particules et au lessivage du panache par la pluie (dépôts humides) ;
- une maille de calcul de 50 mètres ;
- les émissions présentées au paragraphe 3.2.

5.2.1.2 Calcul des dépôts au sol

Concernant les calculs de dépôts au sol, les calculs prennent en compte les dépôts sec et humide sur le sol conduisant à un appauvrissement du panache.

- Dépôts secs : les particules très fines et les gaz se déposent sur les surfaces par divers processus biologiques, chimiques et physiques. Le paramètre qui influence les dépôts secs est la vitesse de dépôt, exprimée en m/s. Cette vitesse permet de tenir compte de la capacité du sol à retenir le polluant qui se dépose. Ces vitesses ont fait l'objet de plusieurs recherches et plusieurs références bibliographiques existent sur ces données.
- Dépôts humides : les dépôts humides correspondent aux dépôts de polluant au sol entraînés par la pluie. Les calculs de dispersion qui intègrent le lessivage par la pluie prennent en compte un coefficient de lessivage exprimé en s^{-1} , correspondant à la proportion du polluant qui est entraîné par la pluie pendant 1 seconde.

Le Tableau 5 résume les valeurs utilisées dans le cadre de cette étude pour le calcul des dépôts.

Tableau 5 : paramètres de calcul des dépôts pour chacune des espèces étudiées

Polluant	Phase du polluant	Vitesse de dépôt sec (m/s)	Coefficient de lessivage (s^{-1})	Diamètre de particules	Source biblio.
Fluor 18	Gaz	5.10^{-3}	2.10^{-4}	1 μm	[1]

[1] CERES (Code d'Évaluations Rapides Environnementales et Sanitaires)

5.2.2 Présentation des résultats

Les résultats sont exprimés sous forme de :

- concentration en moyenne annuelle exprimées en Bq/s ;
- dépôts au sol pour les espèces particulières exprimés en Bq/m²/s.

Les résultats de l'étude sont donnés sous forme de cartes et de tableaux. Ces résultats ne concernent que la contribution des rejets étudiés.

Les résultats sont également présentés au niveau de points cibles présentés sur la Figure 19.

Figure 19 : localisation des points cibles



N°	Dénomination
1	Université
2	Habitation 1 (habitation la plus proche au nord-est du site)
3	Habitation 2
4	Habitation 3
5	Habitation 4 (habitation la plus proche au sud-ouest du site)
6	Habitation 5
7	Habitation 6
8	Habitation 7 (habitation la plus proche au sud-est du site)
9	Habitation 8
10	Habitation 9
11	Ecole de Grand Canal
12	Ecole des Badamiers
13	Ecole Primaire Primat
14	Micro-crèche Technopole
15	CIRAD
16	Habitation 10
17	Collège Emile Hugot

5.2.3 Concentrations en moyenne annuelle

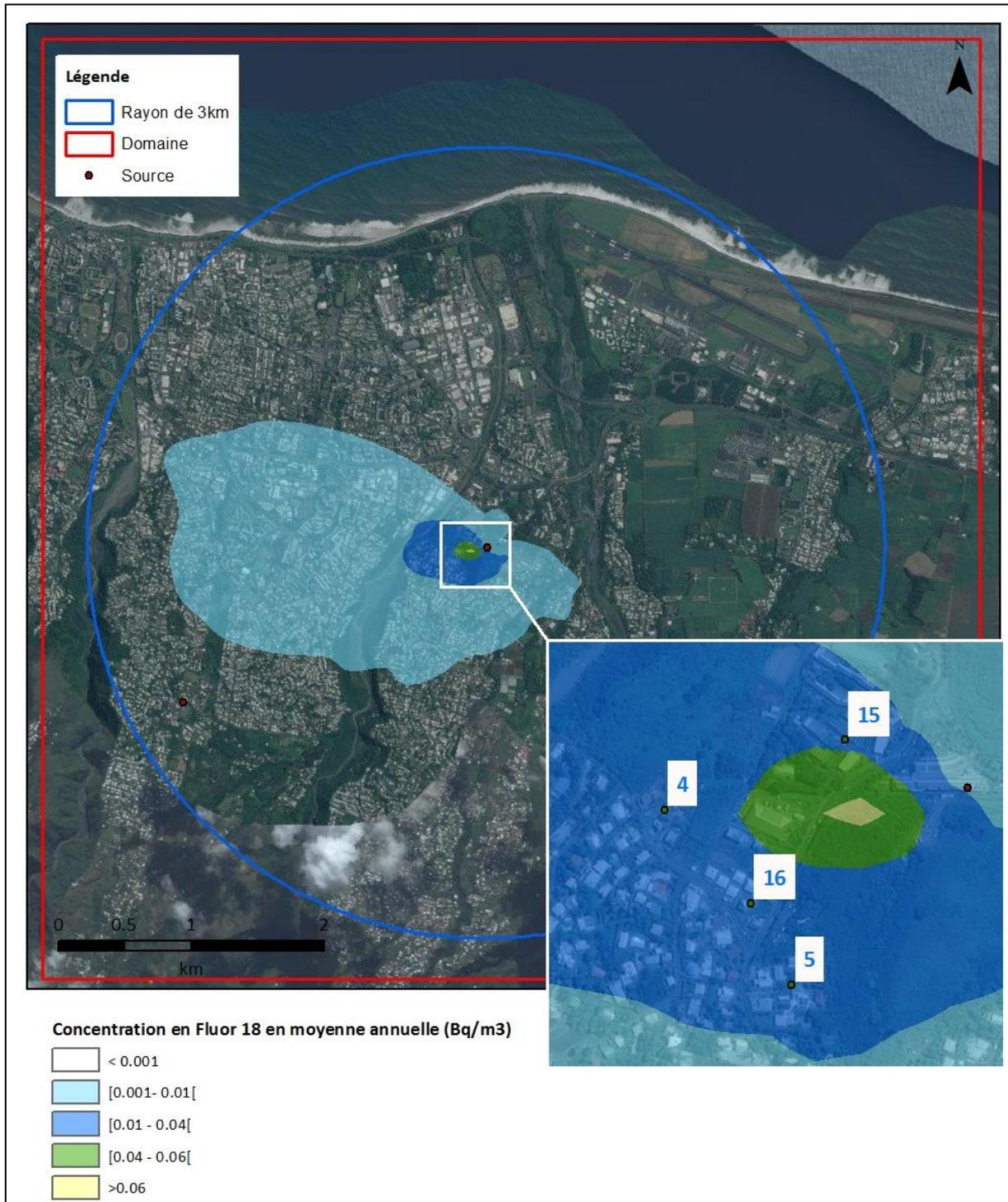
Le Tableau 6 présente les valeurs calculées en moyenne annuelle en fluor 18 exprimée en Bq/m³ pour la configuration retenue au niveau des points cibles présentés précédemment (cf. Figure 19) et au niveau de la zone la plus exposée du domaine d'étude.

Tableau 6 : concentrations en moyenne annuelle en fluor 18 (Bq/m³)

Zone		Concentrations en moyenne annuelle Fluor 18 (Bq/m ³)
Concentration maximale sur la zone d'étude		6.6E-02
Points cibles	1 Habitation 10	3.1E-02
	2 Habitation 3	2.9E-02
	3 CIRAD	2.1E-02
	4 Habitation 4	1.7E-02
	5 Ecole de Grand Canal	1.1E-02
	6 Habitation 6	9.4E-03
	7 Habitation 5	7.4E-03
	8 Habitation 1	6.2E-03
	9 Habitation 2	1.7E-03
	10 Université	1.2E-03
	11 Ecole des Badamiers	7.3E-04
	12 Habitation 7	3.4E-04
	13 Habitation 8	2.6E-04
	14 Collège Emile Hugot	2.2E-04
	15 Habitation 9	1.9E-04
	16 Micro-crèche Technopole	1.8E-04
	17 Ecole Primaire Primat	1.3E-04

La Figure 20 présente la carte de concentration en moyenne annuelle calculée au niveau du sol sur le domaine d'étude pour le fluor 18. Les aplats colorés montrent les zones où les concentrations au niveau du sol sont comprises entre deux valeurs, par exemple, les zones en « bleu clair » correspondent à des concentrations en fluor 18 comprises entre 0,005 et 0,01 Bq/m³. Les cartographies montrent que les concentrations les plus élevées sont situées au sud-ouest en bordure des limites du site en fonction des substances, dans des zones non habitées dans la zone industrielle, et diminuent rapidement au fur et à mesure que l'on s'éloigne du site.

Figure 20 : carte de concentration en moyenne annuelle en fluor 18 en Bq/m³



5.2.4 Dépôts au sol

Le Tableau 7 présente les dépôts en fluor 18 exprimé en Bq/m²/s et en Bq/m² au bout d'un an au niveau des points cibles présentés précédemment (cf. Figure 19).

Tableau 7 : dépôts totaux au sol moyens annuels

Zone	Dépôts au sol en Bq/m ² /s	Dépôts au sol en Bq/m ² au bout d'un an
Dépôts sur la zone la plus exposée	4.3E-04	4.0E+00
CIRAD	5.7E-05	1.9E+00
Habitation 3	6.1E-06	1.5E+00
Habitation 10	8.6E-07	1.5E+00
Habitation 4	4.7E-05	8.4E-01
Habitation 6	1.3E-05	5.5E-01
Ecole de Grand Canal	1.6E-04	5.4E-01
Université	8.9E-05	4.4E-01
Habitation 1	4.5E-05	4.3E-01
Habitation 5	5.8E-05	3.0E-01
Habitation 7	1.5E-05	1.4E-01
Habitation 2	3.0E-06	1.2E-01
Ecole des Badamiers	1.2E-06	5.8E-02
Micro-crèche Technopole	3.2E-05	5.3E-02
Habitation 8	2.8E-04	2.8E-02
Collège Emile Hugot	2.0E-04	1.6E-02
Habitation 9	1.6E-04	1.1E-02
Ecole Primaire Primat	1.7E-06	8.2E-03

Les dépôts en Bq/m² au bout d'un an ont été estimés par la formule suivante :

$$A = A_{dep} \times \frac{(1 - e^{-(\lambda_r) \times t})}{\lambda_r}$$

Avec :

A : activité déposée sur le sol sur l'année (Bq.m⁻².s⁻¹),

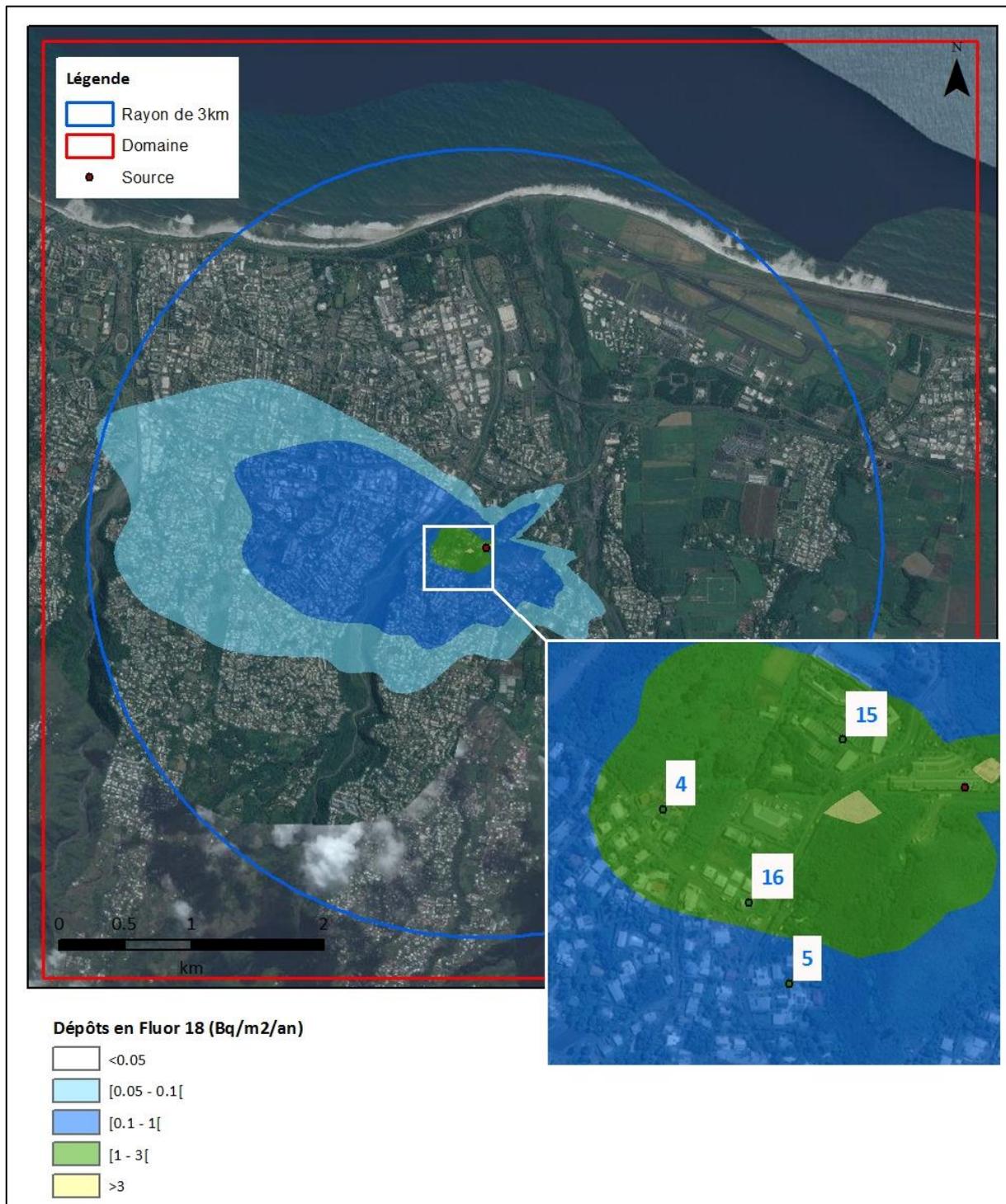
A_{dep} : activité déposée sur le sol ((Bq.m⁻².s⁻¹),

λ_r : constante de décroissance radioactive du radionucléide considéré (s⁻¹) égale à 1.05E⁻⁰⁴ (correspondant à une période radioactive de 6580 s)

t : temps d'accumulation en s (ici $t = 1$ an)

La Figure 21 présente la carte des dépôts sur le domaine d'étude en fluor 18 exprimés en Bq/m² au bout d'un an.

Figure 21 : carte de dépôts en fluor 18 en Bq/m² au bout d'un an



6. EVALUATION DE L'IMPACT SANITAIRE

6.1 IDENTIFICATION DES DANGERS

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

Le fluor 18 est produit au moyen d'un cyclotron par réactions nucléaires. Le fluor 18 a une période radioactive de 110 minutes et une activité massique de $3,53 \cdot 10^{18}$ Bq/g.

6.1.1 Effets sur la santé humaine et exposition des populations

6.1.1.1 Effets sur la santé humaine (source : www.asn.fr)

Les effets d'un rayonnement ionisant dépendent de sa nature, de la **dose** absorbée, de l'organe touché. Des doses importantes - qui peuvent être bénéfiques quand elles sont brèves et localisées comme en radiothérapie - provoquent des effets bien identifiés. Suivant la dose reçue et le type de rayonnements, les effets peuvent être plus ou moins néfastes pour la santé.

Ils peuvent être classés en deux catégories :

- les effets à incidences déterministes ou non stochastiques ;
- les effets à incidences aléatoires ou stochastiques.

6.1.1.1.1 Les effets déterministes

Les effets déterministes se produisent de manière certaine. Pour des doses élevées (supérieures à plusieurs grays), ils sont observés chez tous les sujets exposés. Ce sont donc des effets à seuil.

Ils se déclarent en général de manière précoce, avec des temps de latence compris entre quelques jours et quelques mois. Leur gravité augmente avec la dose absorbée.

Généralement, les effets déterministes se produisent dans le cas d'une exposition unique à fort **débit de dose**. Ce sont donc souvent dans le cas de situations accidentelles. Ils ne sont pas étudiés dans le cadre de la présente étude.

6.1.1.1.2 Les effets à incidences 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 ou de mutations génétiques affectant sa descendance. Dans ce cas, la gravité de l'effet demeure identique quelle que soit la dose ; seule la probabilité d'apparition de l'effet est fonction de la dose absorbée. En d'autres termes, le pourcentage de sujets exposés chez qui on observe ce type d'effet augmente avec la dose.

Le temps de latence (temps séparant l'exposition de l'apparition de l'effet) est en moyenne beaucoup plus long que pour les effets déterministes (plusieurs dizaines d'années). Enfin, on considère que la moindre dose de rayonnement est susceptible de provoquer ce type d'effets.

6.1.1.2 Exposition des populations

Les radionucléides contenus dans les rejets atmosphériques peuvent atteindre l'homme via l'air, le sol et la chaîne alimentaire. L'exposition d'une personne aux rayonnements ionisants peut exister sous deux formes différentes :

- une **exposition externe** lorsque la source est à l'extérieur de l'organisme ;
- une **exposition interne** lorsque la source de rayonnement est absorbée à l'intérieur de l'organisme.

Les voies de contamination possibles sont les suivantes :

- l'exposition pendant le passage du panache, qui conduit à une exposition externe par irradiation et à une exposition interne par inhalation ;
- l'exposition externe due aux dépôts sur le sol ;
- l'exposition interne par ingestion de produits d'origine végétale cultivés sur des zones de dépôts ;
- l'activité transférée par cette voie d'exposition provient des dépôts d'aérosols lors du passage du panache et de la pluie sur les végétaux, ainsi que des transferts racinaires depuis les dépôts sur le sol ;
- l'exposition interne par ingestion de produits d'origine animale provenant d'élevages qui ont consommé des produits issus des zones de dépôt.

L'eau de boisson et le poisson ne sont pas considérés comme des vecteurs de transfert des radionucléides émis dans l'atmosphère.

6.1.2 **Relation Dose-Réponse**

Il n'existe pas de Valeur Toxicologique de Référence (VTR) pour l'exposition aux rayonnements.

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 est fixée à 1 mSv/an. Pour les travailleurs, cette limite est fixée à 20 mSv/an.

L'évaluation des risques se fait en comparant l'exposition des personnes exposées vis-à-vis de la limite pour le public de 1 mSv par an.

6.2 SCHEMA CONCEPTUEL D'EXPOSITION

6.2.1 Voies d'exposition

L'exposition des personnes vivant au voisinage d'une installation émettrice de substances radioactives dans l'atmosphère peut se produire :

- pendant le passage du panache
=> exposition externe par irradiation
=> exposition interne par inhalation
- par les dépôts sur le sol
=> exposition externe par irradiation
- par la consommation des végétaux exposés aux dépôts d'aérosols lors du passage du panache et de la pluie sur les végétaux, ainsi que les transferts racinaires depuis les dépôts sur le sol
=> exposition interne par ingestion
- par la consommation de produits d'origine animale provenant d'élevages qui ont consommé des produits issus des zones de dépôt.
=> exposition interne par ingestion

L'eau de boisson et le poisson ne sont pas considérés comme des vecteurs de transfert des radionucléides émis dans l'atmosphère.

6.2.2 Schéma conceptuel d'exposition

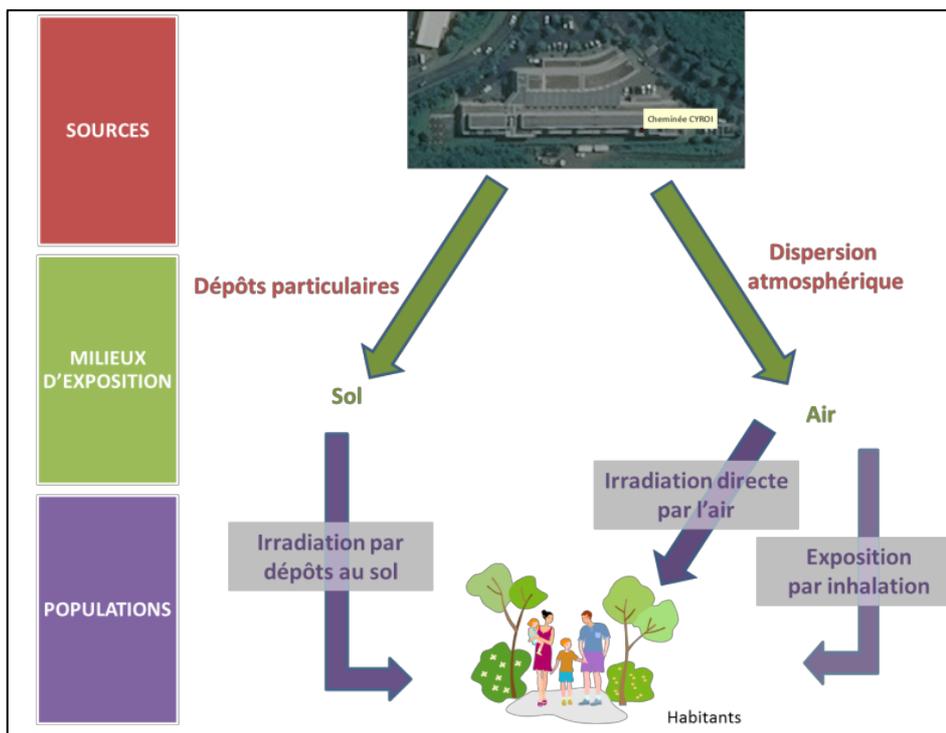
Le fluor 18 présente une période radioactive courte ; les phénomènes d'accumulation dans l'environnement et de transfert dans la chaîne alimentaire peuvent donc être considérés comme non significatifs. De plus, il n'existe pas de facteur de transfert dans les produits animaux pour le fluor 18. L'exposition par consommation des végétaux et des produits animaux (exposition interne par ingestion) ne sera donc pas retenue.

Les voies d'exposition retenues sont donc :

- **L'exposition externe par irradiation (exposition externe au panache et aux dépôts) ;**
- **L'exposition interne par inhalation.**

Le Schéma Conceptuel d'Exposition autour du site est présenté sur la Figure 22.

Figure 22 : schéma conceptuel d'exposition



6.3 ESTIMATION DES DOSES D'EXPOSITION

Les voies d'exposition retenues sont :

- L'exposition externe par irradiation (exposition externe au panache et aux dépôts) ;
- L'exposition interne par inhalation.

L'ensemble des paramètres relatifs au fluor 18 sont issus de la plate-forme ECRIN⁴.

6.3.1 Scénario d'exposition

L'impact radiologique est calculé pour l'adulte (17 ans et plus), l'enfant de 10 ans (représentatif de la tranche 7 à 12 ans) et l'enfant de 1 à 2 ans au niveau :

- de la zone la plus exposée ;
- de la zone habitée la plus exposée (Habitation 10, cf. Figure 19) ;
- de l'école la plus exposée (Ecole de Grand Canal, cf. Figure 19).

En l'absence de données sur le temps passé par les populations sur le domaine d'étude et en dehors du domaine d'étude, et en l'absence aussi de données sur les concentrations d'exposition des personnes pendant le temps passé en dehors du domaine d'étude, il est posé l'hypothèse majorante que les populations séjournent **24 heures sur 24, 7 jours sur 7 et 365 jours par an** sur le domaine d'étude.

Pour l'exposition externe par les dépôts, l'accumulation des dépôts est intégrée classiquement sur un an, et également sur la vie entière (50 ans pour les adultes, et 70 ans pour les enfants quel que soit leur âge).

⁴ <https://ecrin.irs.fr>

Vue la période du fluor 18 (< 1 heure), les impacts après 1 an, 50 et 70 ans de fonctionnement sont identiques. Seuls les résultats après 1 an d'exposition sont donc présentés dans la suite du document.

6.3.2 Exposition externe (exposition par irradiation)

6.3.2.1 Méthodologie

L'irradiation a lieu :

- Par exposition au panache ;
- Par exposition aux dépôts.

6.3.2.1.1 Exposition externe au panache

La dose efficace annuelle due à l'exposition externe au panache est donnée par :

$$E_{pan} = A_{air} \times CD_{pan} \times F_{tp} \times t$$

Avec :

E_{pan} : dose efficace annuelle due au panache (Sv.an⁻¹)

A_{air} : concentration dans l'air (Bq.m⁻³)

CD_{pan} : coefficient de dose efficace externe au panache (Sv. s⁻¹)/(Bq.m⁻³)

F_{tp} : fraction annuelle de temps où l'individu est immergé dans le panache (s.d.)

t : durée d'exposition (en secondes)

6.3.2.1.2 Exposition externe aux dépôts

La dose efficace annuelle due à l'exposition externe aux dépôts est donnée par :

$$E_{dep} = A_{dep} \times \frac{(1 - e^{-(\lambda_m + \lambda_r) \times t})}{\lambda_r} \times CD_{dep} \times F_{tp} \times t$$

Avec :

E_{dep} : dose efficace annuelle due au dépôt (Sv.an⁻¹),

A_{dep} : activité déposée sur le sol ((Bq.m⁻¹.s⁻¹),

CD_{dep} : coefficient de dose efficace externe au dépôt (Sv.s⁻¹ / Bq.m⁻²)

F_{tp} : fraction annuelle de temps où l'individu est soumis à l'exposition externe au dépôt (s.d.).

t : durée d'exposition (en secondes)

λ_r : constante de décroissance radioactive du radionucléide considéré (s⁻¹),

λ_m : constante de décroissance par migration dans le sol du radionucléide considéré (s⁻¹)

En général, la valeur par défaut de la constante de décroissance par migration dans le sol correspond à une période de 100 ans (CCE, 1995) ; elle a été négligée dans cette étude. La formule se simplifie donc de la manière suivante :

$$E_{dep} = A_{dep} \times \frac{(1 - e^{-\lambda_r \times t})}{\lambda_r} \times CD_{dep} \times F_{tp} \times t$$

6.3.2.2 Hypothèses

Les valeurs par défaut des coefficients de dose efficace externe au panache sont issues du Federal Guidance 12 (FGR 12, 1993) et sont présentés dans le tableau ci-dessous.

Tableau 8 : Coefficients de dose utilisés pour l'exposition externe

	Unités	18F
Période radioactive	secondes	6580
constante de décroissance radioactive (λ_r)	s^{-1}	1.05E-4
Irradiation panache (CD_{pan})	$((Sv/s)/(Bq/m^3))$	4.90E-14
Irradiation dépôt (CD_{dep})	$((Sv/s)/(Bq/m^2))$	1.01E-15
Durée d'exposition (t)	année	1
	secondes	31536000
Fraction annuelle (F_{tp})	-	1

La fraction annuelle de temps où l'individu est immergé dans le panache est prise égale à 1 par défaut. Il n'est pas tenu compte de la protection apportée par les habitations vis-à-vis de cette voie d'exposition.

6.3.2.3 Calcul de la dose d'exposition externe

Les Tableau 9 à Tableau 11 présentent les doses d'exposition par irradiation (panache + dépôts) respectivement :

- Au niveau de la zone la plus exposée ;
- Au niveau de la zone habitée la plus exposée ;
- Au niveau de l'école la plus exposée.

Rappelons que vue la période du fluor 18 (< 1 heure), les impacts après 1 an, 50 et 70 ans de fonctionnement sont identiques. Seuls les résultats après 1 an d'exposition sont donc présentés.

Quel que soit l'individu étudié, la dose d'exposition par irradiation est identique car l'exposition par irradiation ne dépend d'aucun paramètre physique lié à l'individu.

Tableau 9 : doses d'exposition par irradiation (panache + dépôts) – Zone la plus exposée

doses d'exposition par irradiation	Unités	Max hors site		
		Adulte	Enfant âgé de 10 ans	Enfant âgé de 1 à 2 ans
Irradiation Panache	Sv/s	3.3E-15	3.3E-15	3.3E-15
	Sv/h	1.2E-11	1.2E-11	1.2E-11
	Sv/j	2.8E-10	2.8E-10	2.8E-10
	mSv/an	1.0E-04	1.0E-04	1.0E-04
Irradiation dépôts	Sv/s	4.1E-15	4.1E-15	4.1E-15
	Sv/h	1.5E-11	1.5E-11	1.5E-11
	Sv/j	3.5E-10	3.5E-10	3.5E-10
	mSv/an	1.3E-04	1.3E-04	1.3E-04
Irradiation totale	mSv/an	2.3E-04	2.3E-04	2.3E-04

Tableau 10 : doses d'exposition par irradiation (panache + dépôts) – Habitation la plus exposée

doses d'exposition par irradiation	Unités	Ecole la plus exposée		
		Adulte	Enfant âgé de 10 ans	Enfant âgé de 1 à 2 ans
Irradiation Panache	Sv/s	1.5E-15	1.5E-15	1.5E-15
	Sv/h	5.4E-12	5.4E-12	5.4E-12
	Sv/j	1.3E-10	1.3E-10	1.3E-10
	mSv/an	4.7E-05	4.7E-05	4.7E-05
Irradiation dépôts	Sv/s	1.5E-15	1.5E-15	1.5E-15
	Sv/h	5.5E-12	5.5E-12	5.5E-12
	Sv/j	1.3E-10	1.3E-10	1.3E-10
	mSv/an	4.8E-05	4.8E-05	4.8E-05
Irradiation totale	mSv/an	9.5E-05	9.5E-05	9.5E-05

Tableau 11 : doses d'exposition par irradiation (panache + dépôts) – Ecole la plus exposée

doses d'exposition par irradiation	Unités	Ecole la plus exposée		
		Adulte	Enfant âgé de 10 ans	Enfant âgé de 1 à 2 ans
Irradiation Panache	Sv/s	5.2E-16	5.2E-16	5.2E-16
	Sv/h	1.9E-12	1.9E-12	1.9E-12
	Sv/j	4.5E-11	4.5E-11	4.5E-11
	mSv/an	1.6E-05	1.6E-05	1.6E-05
Irradiation dépôts	Sv/s	5.5E-16	5.5E-16	5.5E-16
	Sv/h	2.0E-12	2.0E-12	2.0E-12
	Sv/j	4.7E-11	4.7E-11	4.7E-11
	mSv/an	1.7E-05	1.7E-05	1.7E-05
Irradiation totale	mSv/an	3.4E-05	3.4E-05	3.4E-05

6.3.3 Exposition interne par inhalation

Cette voie d'exposition résulte de l'activité inhalée.

6.3.3.1 Méthodologie

La dose efficace annuelle due à l'inhalation est obtenue selon la formule suivante :

$$E_{inh} = A_{air} \times D_{resp} \times CD_{inh} \times F_{tp} \times t$$

Avec :

E_{inh} : dose efficace annuelle par inhalation (Sv.an⁻¹),

D_{resp} : débit respiratoire de l'individu (m³.h⁻¹),

CD_{inh} : coefficient de dose efficace par inhalation (Sv.Bq⁻¹),

F_{tp} : fraction annuelle de temps où l'individu est soumis à l'exposition interne par inhalation (s.d.).

t : durée d'exposition (en heures)

6.3.3.2 Hypothèses

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

Les débits respiratoires considérés sont calculés à partir des volumes d'air inhalés quotidiennement indiqués dans la CIPR 66⁵.

Tableau 12 : volumes d'air inhalés

	Adulte	Enfant âgé de 10 ans	Enfant âgé de 1 à 2 ans
volumes d'air inhalés en m³/h (<i>D_{resp}</i>)	0,96	0,64	0,22
coefficient de dose efficace en Sv.Bq⁻¹ (<i>CD_{inh}</i>)	5.90E-11	1.00E-10	3.10E-10
Fraction annuelle (<i>F_{tp}</i>)	1	1	1

La fraction annuelle de temps où l'individu est immergé dans le panache est prise égale à 1 par défaut. Il n'est pas tenu compte de la protection apportée par les habitations vis-à-vis de cette voie d'exposition.

6.3.3.3 Calcul de la dose d'exposition interne

Les Tableaux 13 à Tableau 15 présentent les doses d'exposition par inhalation respectivement :

- Au niveau de la zone la plus exposée ;
- Au niveau de la zone habitée la plus exposée ;
- Au niveau de l'école la plus exposée.

Tableau 13 : doses d'exposition interne par inhalation – Zone la plus exposée

doses d'exposition par irradiation	Unités	Max hors site		
		Adulte	Enfant âgé de 10 ans	Enfant âgé de 1 à 2 ans
Inhalation	Sv/h	3.8E-12	4.3E-12	4.5E-12
	Sv/j	9.0E-11	1.0E-10	1.1E-10
	mSv/an	3.3E-05	3.7E-05	4.0E-05

Tableau 14 : doses d'exposition interne par inhalation – Habitation la plus exposée

doses d'exposition par irradiation	Unités	Max hors site		
		Adulte	Enfant âgé de 10 ans	Enfant âgé de 1 à 2 ans
Inhalation	Sv/h	1.7E-12	2.0E-12	2.1E-12
	Sv/j	4.2E-11	4.7E-11	5.0E-11
	mSv/an	1.5E-05	1.7E-05	1.8E-05

⁵ Human Respiratory Tract Model for Radiological Protection, ICRP Publication 66, Ann. ICRP 24 (1-3), 1994

Tableau 15 : doses d'exposition interne par inhalation – Ecole la plus exposée

doses d'exposition par irradiation	Unités	Max hors site		
		Adulte	Enfant âgé de 10 ans	Enfant âgé de 1 à 2 ans
Inhalation	Sv/h	6.0E-13	6.8E-13	7.2E-13
	Sv/j	1.4E-11	1.6E-11	1.7E-11
	mSv/an	5.3E-06	5.9E-06	6.3E-06

6.4 EVALUATION DES RISQUES

6.4.1 Méthodologie

Il n'existe pas de Valeur Toxicologique de Référence (VTR) pour l'exposition aux rayonnements. L'évaluation des risques se fait en comparant l'exposition des personnes exposées vis-à-vis de la limite pour le public de 1 mSv par an.

L'objectif de l'évaluation de l'impact du rejet de substances radioactives en fonctionnement normal est de situer l'impact ajouté vis-à-vis de la limite réglementaire d'exposition pour le public (1 mSv par an) et des objectifs de sûreté pour les travailleurs. Cet impact ajouté pour le public est comparé à la dose moyenne annuelle en France (2,4 mSv). Les doses efficaces sont évaluées après 1 an et 50 ans de fonctionnement des installations ou encore pour la durée de vie prévue des installations si celles-ci sont bien définies a priori.

6.4.2 Evaluation des risques sanitaires

Les Tableau 9 à Tableau 11 présentent les doses efficaces d'exposition pour respectivement :

- Au niveau de la zone la plus exposée ;
- Au niveau de la zone habitée la plus exposée ;
- Au niveau de l'école la plus exposée.

L'impact sanitaire est essentiellement dû à l'exposition externe par irradiation (lors du passage du panache et à l'irradiation par les dépôts). Quel que soit la zone étudiée et le profil (enfant de 1 à 2 ans, enfant de 10 ans ou adulte), la dose efficace totale due aux émissions en fluor 18 du CYROI est très faible vis-à-vis de la dose admissible en France (0.027% de la dose admissible pour la dose efficace la plus élevée).

Tableau 16 : doses efficace totale – zone la plus exposée

	Unités	Max hors site		
		Adulte	Enfant âgé de 10 ans	Enfant âgé de 1 à 2 ans
Dose externe (irradiation panache et dépôts)	mSv/an	2.3E-04	2.3E-04	2.3E-04
Dose interne par inhalation	mSv/an	3.3E-05	3.7E-05	4.0E-05
Dose efficace totale	mSv/an	2.6E-04	2.7E-04	2.7E-04
<i>Dose efficace admissible en France</i>	<i>mSv/an</i>	<i>1</i>		
<i>Dose efficace moyenne annuelle en France</i>	<i>mSv/an</i>	<i>24</i>		

Tableau 17 : doses d'exposition interne par inhalation – Habitation la plus exposée

	Unités	Max hors site		
		Adulte	Enfant âgé de 10 ans	Enfant âgé de 1 à 2 ans
Dose externe (irradiation panache et dépôts)	mSv/an	9.5E-05	9.5E-05	9.5E-05
Dose interne par inhalation	mSv/an	1.5E-05	1.7E-05	1.8E-05
Dose efficace totale	mSv/an	1.1E-04	1.1E-04	1.1E-04
<i>Dose efficace admissible en France</i>	<i>mSv/an</i>	<i>1</i>		
<i>Dose efficace moyenne annuelle en France</i>	<i>mSv/an</i>	<i>24</i>		

Tableau 18 : doses d'exposition interne par inhalation – Ecole la plus exposée

	Unités	Max hors site		
		Adulte	Enfant âgé de 10 ans	Enfant âgé de 1 à 2 ans
Dose externe (irradiation panache et dépôts)	mSv/an	3.4E-05	3.4E-05	3.4E-05
Dose interne par inhalation	mSv/an	5.3E-06	5.9E-06	6.3E-06
Dose efficace totale	mSv/an	3.9E-05	4.0E-05	4.0E-05
<i>Dose efficace admissible en France</i>	<i>mSv/an</i>	<i>1</i>		
<i>Dose efficace moyenne annuelle en France</i>	<i>mSv/an</i>	<i>24</i>		

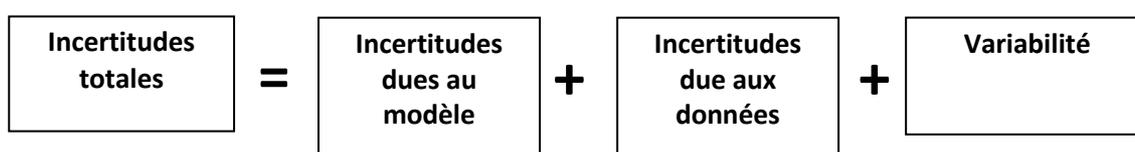
6.5 INCERTITUDES

Ce chapitre a pour objectif d'inventorier les incertitudes liées à la démarche d'évaluation des risques sanitaires ou aux hypothèses retenues dans les différentes étapes.

Les incertitudes sont classées en fonction de l'influence qu'elles peuvent avoir sur les résultats d'évaluation des risques sanitaires, chaque fois que cette précision peut être apportée.

6.5.1 Incertitudes relatives à la modélisation atmosphérique

Les incertitudes liées à la modélisation de pollution de l'air ont été définies (Morgan M.G, 1990) comme étant le cumul, au prorata de leurs contributions, des incertitudes des différentes données nécessaires au fonctionnement du modèle et au modèle lui-même. Ces incertitudes peuvent être résumées par l'équation ci-dessous :



Pour d'autres auteurs, elles ont pour origine trois sources majeures (Hanna, 2004) en ce qui concerne la modélisation de la qualité de l'air :

- La variabilité des résultats due aux fluctuations naturelles de la concentration dans l'atmosphère (turbulence aléatoire). Ce type d'incertitude sera présent dans n'importe quel modèle prenant en compte des phénomènes météorologiques ;
- Les erreurs sur les données d'entrées : émissions, données sur les instruments de mesures ou manque de représentativité des instruments de mesures par exemple ;
- Les erreurs dues à la représentation de la physique dans les modèles soit dues à des erreurs de formulation soit dues à des incertitudes dans les paramètres utilisés dans les formulations.

6.5.1.1 Incertitudes liées au modèle

Dans les modèles complexes prenant en compte de façon fine les géométries et ayant des paramétrisations fines des phénomènes physiques, l'incertitude liée au choix par l'utilisateur des paramètres du modèle, c'est-à-dire des options de calcul mais également de la génération du maillage de calcul peut être grande. Des études ont montré qu'à données identiques, le même modèle mis en œuvre par deux équipes différentes pouvait conduire à des résultats présentant des écarts importants.

Dans le cadre de cette étude, le modèle ARIA Impact retenu est un modèle très simple dont l'essentiel des paramètres a été présenté dans le paragraphe 5.2.1. Les options du modèle retenues pour cette étude sont ceux qui ont été utilisés pour les études de validation du modèle définies ci-dessus. Les limites d'utilisation du modèle ont été respectées.

Concernant les paramètres liés aux polluants (vitesse de dépôt, coefficient de lessivage, type particulaire ou non), ces paramètres sont issus de l'état de l'art actuel des connaissances.

6.5.1.2 Incertitudes liées aux données d'entrée

Les données d'entrées du modèle sont de trois natures :

- Les émissions ;
- La météorologie ;
- Les paramètres du modèle choisis.

6.5.1.2.1 Incertitudes liées aux émissions

La concentration calculée par le modèle à une échéance donnée est directement proportionnelle aux flux émis par l'installation pour chaque polluant. Les approximations faites au niveau des émissions ont donc un impact direct sur les concentrations et dépôts calculés.

6.5.1.2.2 Incertitudes liées aux mesures météorologiques

Les données météorologiques sont issues des mesures Météo-France

L'incertitude la plus grande dans la fourniture des données météorologiques est l'incertitude sur la direction du vent qui est de +/- 5°. Ce manque de précision sur la direction de vent peut avoir pour incidence la surestimation des concentrations dans les 36 directions « mesurées » et une sous-estimation dans les zones entre deux données de direction « mesurées ».

Les précisions des mesures de vent d'un dixième m/s et celle de la température d'un dixième de degré Celsius sont largement suffisantes compte tenu de leur intervention dans les équations.

6.5.1.2.3 Incertitudes liées aux paramètres du modèle

Dans les modèles complexes prenant en compte de façon fine les géométries et ayant des paramétrisations fines des phénomènes physiques, l'incertitude liée au choix par l'utilisateur des paramètres du modèle, c'est-à-dire des options de calcul mais également de la génération du maillage de calcul peut être grande. Des études ont montré qu'à données identiques, le même modèle mis en œuvre par deux équipes différentes pouvait conduire à des résultats présentant des écarts importants.

Dans le cadre de cette étude, il a été testé deux choix au niveau des écarts-type (Doury et Pasquill) et deux choix au niveau de la surhauteur (Holland et Stumke –conseillé par l'AIEA). Les résultats sont présentés ci-dessous. La concentration au niveau de la zone la plus impactée est identique quelle que soit la configuration testée.

Il a été choisi de conserver comme configuration la configuration Pasquill/Holland qui permet d'avoir les concentrations les plus élevées au niveau des points récepteurs.

Tableau 19 : doses d'exposition interne par inhalation – Zone la plus exposée

	Test Sensibilité 1	Test Sensibilité 2	Test Sensibilité 3	Test Sensibilité 4
Ecart-type	Pasquill	Doury	Pasquill	Doury
Surhauteur	Holland		Stumke	
Zone la plus exposée	7E-02	7E-02	7E-02	7E-02
Micro-crèche Technopole	2E-04	1E-04	1E-04	1E-04
Ecole de Grand Canal	1E-02	1E-02	9E-03	1E-02
Ecole des Badamiers	7E-04	3E-04	6E-04	3E-04
Ecole Primaire Primat	1E-04	9E-05	1E-04	8E-05
Habitation 1	6E-03	3E-03	5E-03	2E-03

	Test Sensibilité 1	Test Sensibilité 2	Test Sensibilité 3	Test Sensibilité 4
Ecart-type	Pasquill	Doury	Pasquill	Doury
Surhauteur	Holland		Stumke	
Habitation 2	2E-03	6E-04	1E-03	5E-04
Habitation 3	3E-02	4E-02	3E-02	4E-02
Habitation 4	2E-02	2E-02	1E-02	2E-02
Habitation 5	7E-03	7E-03	6E-03	6E-03
Habitation 6	9E-03	1E-02	9E-03	8E-03
Habitation 7	3E-04	3E-04	2E-04	2E-04
Habitation 8	3E-04	2E-04	2E-04	1E-04
Habitation 9	2E-04	2E-04	1E-04	1E-04
Université	1E-03	4E-04	9E-04	3E-04
CIRAD	2E-02	6E-03	2E-02	5E-03
Habitation 10	3E-02	4E-02	3E-02	4E-02
Collège Emile Hugot	2E-04	2E-04	2E-04	2E-04

Concernant les paramètres liés aux polluants (vitesse de dépôt, coefficient de lessivage, type particulaire ou non), ces paramètres sont issus de l'état de l'art actuel des connaissances.

6.5.1.3 Incertitudes liées à la variabilité

Les phénomènes de turbulence de micro-échelle peuvent induire des fluctuations importantes des concentrations et des paramètres météorologiques. Le modèle ARIA Impact ne permet pas aujourd'hui de quantifier les fluctuations de concentrations autour de la concentration moyenne calculée.

6.5.2 Incertitudes relatives à l'évaluation des risques sanitaires

6.5.2.1 Facteurs de sous-estimation des risques

Exposition par voie cutanée non considérée

Il n'existe pas de VTR spécifique à cette voie d'exposition. De plus, la transposition à partir des VTR pour les voies respiratoire et orale n'est pas recommandée (note d'information DGS/EA1/DGPR/2014/307 du 31 octobre 2014). Cette sous-estimation n'a pas forcément d'impact sur les résultats d'évaluation des risques sanitaires, étant donné que l'absorption des polluants par voie cutanée est négligeable devant l'absorption par voies respiratoire et/ou digestive (surface d'échange plus importante et transferts facilités).

6.5.2.2 Facteurs de surestimation des risques

La méthodologie pour estimer les risques sanitaires potentiels emploie par nature les principes de précaution et sont par défaut conservatrices.

Durée d'exposition

En absence de données sur le temps d'exposition des personnes, il est pris l'hypothèse qu'elles séjournent sur leur lieu d'habitation en permanence (365 j/an, 24h/24). Cette hypothèse est majorante puisque les personnes ne seront pas exposées en permanence car elles sont amenées à se déplacer pour des raisons personnelles (congés, loisirs) et professionnelles.

Pénétration des polluants dans les habitats

Il est posé l'hypothèse que les polluants ont un taux de pénétration dans les habitats de 100 %, ce qui est une hypothèse majorante.

6.5.2.3 Facteurs dont le sens d'influence sur les résultats n'est pas connu ou est variable

Constance des paramètres

Toutes les données utilisées (émissions, dispersion, transferts, exposition) sont supposées rester constantes pendant les années d'exposition futures étudiées.

Interactions des polluants

En absence de connaissances scientifiques suffisantes sur les interactions des polluants les uns par rapport aux autres et des conditions d'interactions en eux, il a été considéré que les polluants qui avaient la même cible organique et le même mécanisme d'action cumulaient leurs risques. En réalité, les polluants peuvent également avoir des effets antagonistes (dans ce cas nous aurions majoré les risques) ou synergiques (dans ce cas nous aurions minimisé les risques).

7. CONCLUSION

Dans le cadre du renouvellement de son autorisation, le CYROI effectue une demande d'augmentation de l'autorisation des rejets atmosphériques en fluor 18 du site.

Dans ce contexte, ARIA Technologies a réalisé une étude de dispersion et une estimation des doses d'expositions afin d'estimer l'impact des rejets atmosphériques en fluor 18 sur les riverains du site.

Compte-tenu des propriétés du fluor 18, les voies d'exposition retenues sont :

- **L'exposition externe par irradiation (exposition externe au panache et aux dépôts) ;**
- **L'exposition interne par inhalation.**

L'impact sanitaire est essentiellement dû à l'exposition externe par irradiation (lors du passage du panache et à l'irradiation par les dépôts). Les doses efficaces totales sont de plus du même ordre de grandeur quelle que soit la classe d'âge considérée pour un même scénario (zone la plus exposée, habitation la plus exposée, école la plus exposée).

Quels que soient la zone étudiée et le profil (enfant de 1 à 2 ans, enfant de 10 ans ou adulte), la dose efficace totale due aux émissions en fluor 18 du CYROI est très faible vis-à-vis de la dose admissible en France (0.027% de la dose admissible pour la dose efficace la plus élevée).

ANNEXES

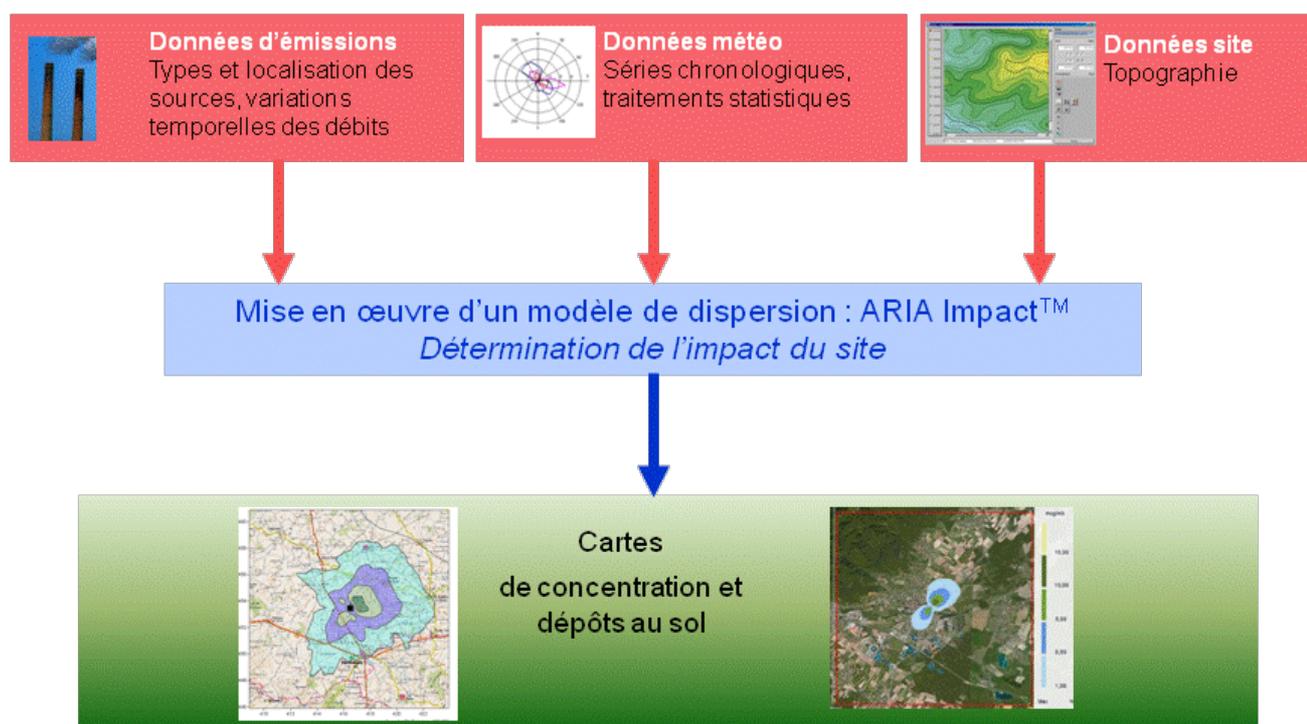
Annexe 1 : Description du modèle ARIA Impact

ARIA Impact™ est un modèle de type "gaussien", conforme aux recommandations de l'E.P.A.⁶. ARIA Impact **répond également aux prescriptions de l'INERIS** pour la modélisation de la dispersion de la pollution atmosphérique des rejets des installations industrielles (cf. Annexe 2 du Guide méthodologique INERIS : Evaluation des Risques Sanitaires liés aux substances chimiques dans l'Etude d'Impact des ICPE). C'est un logiciel de modélisation de la pollution atmosphérique qui permet de répondre à l'ensemble des éléments demandés par la législation française sur la qualité de l'air et européenne, et de fournir les éléments indispensables à :

- l'évaluation des risques sanitaires d'une installation industrielle (moyenne annuelle, centiles, dépôts),
- l'évaluation de l'impact olfactif (concentration d'odeurs, fréquences de dépassement de seuil),
- l'évaluation de l'impact sur la qualité de l'air d'un aménagement routier (moyenne annuelle, centiles).

ARIA Impact™ permet d'étudier **l'impact à long terme** d'une installation en reconstruisant l'impact statistique des émissions à partir d'une chronique météorologique réelle de plusieurs années. Cette approche donne, sur de longues périodes, des résultats cohérents avec les observations des réseaux de la surveillance de la qualité de l'air pour des distances supérieures à 100 mètres.

Le schéma ci-dessous présente la démarche qui est mise en œuvre dans les études d'impact :



⁶ Agence de l'environnement américain (Environment Protection Agency).

Fonctionnalités techniques

Logiciel multi-espèces et multi-sources

ARIA Impact™ permet de modéliser la dispersion de :

- de **polluants gazeux** (NO_x, SO₂...) : dispersion passive pure sans vitesse de chute ;
- de **polluants particulaires** (PM10, métaux lourds, dioxines...) : dispersion passive et prise en compte des effets gravitaires en fonction de la granulométrie. Les poussières sont représentées sur un nombre arbitraire de classes de taille : si la granulométrie des émissions est connue, des calculs détaillés peuvent être effectués.
- des **odeurs** : mélange de molécules odorantes dont la composition est inconnue, exprimée en unité d'odeur ;
- de **polluants radioactifs**.

Plusieurs types de sources et de polluants peuvent être pris en compte en même temps dans une même modélisation :

- Des **sources ponctuelles** industrielles (incinérateur, centrale thermique...),
- Des **sources diffuses** ou volumiques (atelier de peinture, carrières...),
- Des **sources linéiques** (trafic automobile).

Choix de la météorologie adaptée à la complexité de l'étude

Plusieurs types de modélisation sont possibles avec le logiciel ARIA Impact™ :

- **Modélisation pour une situation particulière** : il s'agit de modéliser la dispersion des polluants atmosphériques pour une situation météorologique fixée par l'utilisateur (modélisation pour une vitesse de vent et une direction de vent données). Ce mode de calcul peut être utilisé par exemple pour étudier un cas de dysfonctionnement associé à une situation météorologique défavorable, une phase de démarrage, ou encore pour comparer des scénarios d'émissions entre eux.
- **Modélisation statistique depuis une rose des vents** : il s'agit de modéliser la dispersion des polluants atmosphériques en prenant en compte les fréquences d'occurrence d'une rose des vents général. Il est alors possible de calculer des moyennes annuelles, le centile 100 ou des fréquences de dépassement de seuil. Ce mode de calcul est bien adapté pour les polluants gazeux et si la marche de production et d'émissions est constante sur l'année.
- **Modélisation statistique à partir d'une base météorologique complète** : il s'agit de modéliser la dispersion des polluants atmosphériques en prenant en compte une base complète de données météorologiques. Dans ce cas, un calcul académique est réalisé pour chaque échéance météorologique de la base de données. Il est alors possible de calculer des moyennes annuelles, des centiles (98, 99.5 etc...) ou des fréquences de dépassement de seuil. Les statistiques sont donc réalisées à partir de la modélisation de chaque séquence météorologique horaire sur plusieurs années (8760 situations météo sur une année) ce qui permet de bien tenir compte des variations diurnes et saisonnières des concentrations.

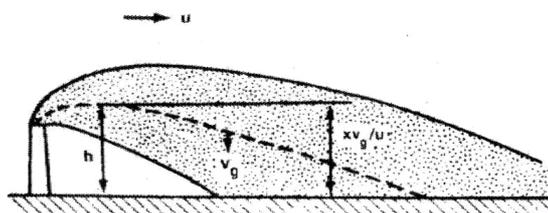
Variation temporelle des émissions

ARIA Impact™ permet de prendre en compte les variations temporelles des émissions. Les émissions peuvent varier en fonction de l'heure, du jour et du mois de l'année. Il est également possible d'intégrer

des périodes de fonctionnement particulières (arrêt technique, panne de fonctionnement du système de traitement des gaz...).

Dépôts au sol

ARIA Impact™ peut prendre en compte la chute de particules par effet gravitaire. Dans ce cas, la vitesse de chute est automatiquement calculée en fonction de la granulométrie et de la densité des particules, faisant varier l'axe d'inclinaison du panache. De plus, la vitesse de dépôt sec définie dans les caractéristiques des espèces permet de calculer les **dépôts secs**.



ARIA Impact™ permet également de prendre en compte le lessivage du panache par la pluie. Cette fonction permet de calculer les **dépôts humides** en plus des dépôts secs.

Dispersion par vents calmes

La prise en compte des vents calmes dans les calculs de dispersion implique l'utilisation d'un modèle plus performant (modèle 3D à bouffées gaussiennes). ARIA Impact™ intègre en standard un algorithme spécifique permettant de calculer l'impact des sources dans le cas de vents calmes, contrairement aux modèles gaussiens classiques.

Un vent est considéré calme lorsque la vitesse du vent est inférieure à 1 m/s.

Reconstitution de profils verticaux météorologiques

Dans le cas de cheminée, la surélévation du panache est calculée entre autres à partir de la vitesse du vent et de la température de l'air. Ces valeurs sont fournies dans la base de données météorologique. Cependant, ces données correspondent la plupart du temps à des mesures de station sol, c'est-à-dire qu'elles sont mesurées à environ 10 mètres du sol. Pourtant, les valeurs de vitesse de vent et de température observées au sommet de la cheminée peuvent varier de manière importante suivant la hauteur de celle-ci : par exemple, plus la cheminée est haute, plus la vitesse du vent est élevée au niveau du débouché.

Afin de prendre en compte cette variation de vitesse de vent dans les calculs de la dispersion des polluants atmosphériques, le logiciel ARIA Impact™ peut calculer des profils verticaux de vent en fonction des mesures de vent au sol, de la turbulence atmosphérique et de l'occupation des sols, afin de connaître la vitesse du vent au niveau du débouché de la cheminée.

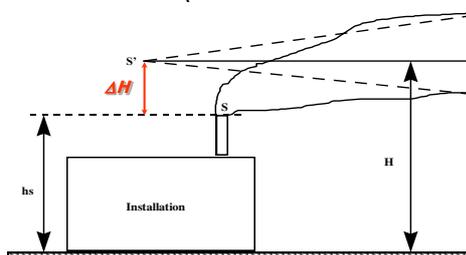
Prise en compte de la couche de mélange

ARIA Impact™ peut calculer la hauteur de couche de mélange à partir des données météorologiques horaires disponibles. Cette hauteur de mélange est alors prise en compte dans le calcul de dispersion par réflexion des panaches sur la couche de mélange.

Surélévation de panache issu de cheminée

Dans le cas de cheminée, lorsque les rejets sont chauds ou que la vitesse d'éjection des fumées est importante, on peut prendre en compte une surélévation du panache. En effet, les fumées de combustion vont s'élever au-dessus de la cheminée jusqu'à ce que leur vitesse ascensionnelle initiale et les effets de différence de densité (dus à la différence de température air/fumées) ne soient plus significatifs. Tout se passe comme si l'émission des rejets se faisait à une hauteur réelle d'émission (hauteur de la cheminée) augmentée de la surhauteur due aux conditions d'éjection.

ARIA Impact™ prend en compte les effets de la surélévation des fumées de cheminée. Plusieurs formulations permettant de calculer la surélévation des fumées sont codées dans ARIA Impact afin d'adapter la formule la plus adéquate au cas



d'étude (Formule de Holland, Formule de Briggs, Formule de Concawe...).

Conversion des NOx en NO et NO₂

Dans le cas de la modélisation des émissions liées au trafic automobile, ARIA Impact™ contient un algorithme simple permettant de calculer les concentrations en NO et NO₂ à partir des concentrations en NOx, à l'aide de la formule de conversion de Middleton.

Prise en compte simplifiée de la topographie

ARIA Impact™ permet de prendre en compte de manière simplifiée les topographies peu marquées. Un algorithme simple permettant de prendre en compte le relief, sans faire appel à des calculs de vents tridimensionnels, peut être activé dans le module de calcul. Cet algorithme permet de rapprocher du relief l'axe du panache pour des atmosphères stables.

Envois de poussières

ARIA Impact™ contient un module spécifique pour le calcul des envolées de poussières fines, dans le cas d'un **stockage de poussières exposé au vent**.

Cette option permet d'estimer la quantité de poussières émises par une source surfacique en fonction de la rafale de vent, puis de modéliser la dispersion de ces poussières. Il peut s'agir par exemple d'un tas de charbon dont, par vent fort, les poussières fines vont s'envoler. Le calcul de la quantité émise de poussières passe par l'estimation du potentiel d'érosion du stockage, puis des facteurs d'émission fonction de la rafale de vent.

Résultats

Grandeurs calculées

ARIA Impact™ permet de calculer les grandeurs suivantes :

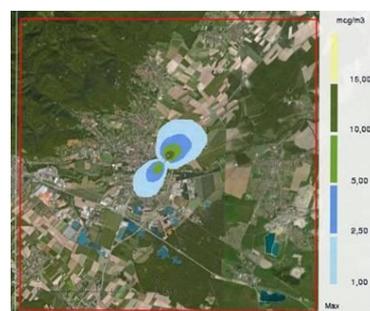
- **moyennes mensuelles et/ou annuelles** de polluant autour du site, en concentrations et dépôts au sol,
- **fréquences de dépassement de seuils** en moyennes journalières ou horaires (normes françaises et européennes),
- **centiles 98, 99.8, 100** ou autres valeurs de centiles sur une base de calcul prédéfinie (horaire, journalière, 8 heures...).

Les résultats de concentrations peuvent être exprimés en $\mu\text{g}/\text{m}^3$, ng/m^3 , pg/m^3 ou fg/m^3 pour les polluants classiques, en uo/m^3 pour les odeurs et en Bq/m^3 pour les polluants radioactifs.

Cartographies

Les résultats obtenus avec ARIA Impact™ peuvent être présentés sous forme cartographique au format image, mais aussi en des formats numériques **compatibles** avec la plupart des **Systèmes d'Informations Géographiques** tels que Mapinfo, ArcView ou SURFER.

Un export des résultats vers **Google Earth** permet également de visualiser les résultats sur une photo aérienne directement avec le logiciel Google Earth.



Validation du logiciel ARIA Impact™

L'association RECORD (Recherche coopérative sur les déchets et l'environnement) a demandé à l'Ecole Centrale de Lyon une étude sur les logiciels de modélisation utilisés dans le cadre des études d'impact air pour des industriels. Dans le cadre de cette étude, des comparaisons du modèle ARIA Impact™ ont été réalisées sur les cas-tests de l'outil européen d'évaluation « Model Validation kit ». Cet outil est utilisé pour évaluer les modèles de dispersion atmosphérique. Il s'agit d'une série de cas-tests intégrant des jeux de mesures de terrain qui sont largement référencés dans la validation des modèles. L'évaluation des modèles sur des cas-tests consiste à comparer les résultats d'un modèle à des mesures de terrain représentatives de situations simples. La synthèse du rapport rédigé par l'Ecole Centrale de Lyon est téléchargeable sur le site Internet de l'association RECORD⁷.

Les résultats de cette étude ont montré que la moyenne des concentrations modélisées sur toutes les expériences est proche de la moyenne des concentrations mesurées. D'autre part, le coefficient de corrélation de 0,6 et le pourcentage de résultats dans un facteur 2 par rapport aux mesures de l'ordre de 60% sont satisfaisants. Cette étude montre également qu'ARIA Impact™ a des résultats statistiques équivalents à ceux des autres logiciels de dispersion, dont les logiciels de référence de l'US-EPA AERMOD et ISCST3.

Le logiciel ARIA Impact™ a également fait l'objet de nombreuses comparaisons mesures/calculs dans le cadre d'études spécifiques. Certaines d'entre elles sont reprises dans le dossier de validation du logiciel ARIA Impact™, disponible sur simple demande.

Limite du modèle

ARIA Impact™ **n'est pas applicable** dans les conditions suivantes :

- **lorsque la topographie est trop importante** (zones montagneuses, reliefs pouvant modifier la trajectoire des panaches) : ARIA Impact™ considère la trajectoire du panache rectiligne. Le module spécifique à la topographie ne permet pas au panache de contourner la montagne (il passe au-dessus), ce qui n'est pas le cas en particulier en cas d'atmosphère stable ;
- **lorsque la station météorologique n'est pas représentative de la climatologie du site** : la météorologie est considérée constante sur l'ensemble du domaine d'étude. Il n'y a pas de reconstitution 3D météorologique.

Les résultats du logiciel ARIA Impact™ ne sont pas interprétables à moins de 100 mètres des sources d'émissions.

⁷ Rapport : « Modélisation de la dispersion des émissions atmosphériques d'un site industriel – Vers un guide de l'utilisateur - Phase 1 : Etat de l'art, Phase 2 : Evaluation des modèles », R. PERKINS, 2005
<http://www.record-net.org/record/resultetudes.php>