

Evaluation des risques sanitaires liés aux émissions atmosphériques du site de Mangegarri

Décembre 2013

A 72432 /A

Alteo Gardanne

Route de Biver – BP 62
13541 Gardanne Cedex



Agence Rhône Alpes Méditerranée

Métier « Risques Industriels »

Parc d'Activité de l'Aéroport

180 Impasse John Locke

34470 PEROLS

Tél. : + 33 (0)4.67.15.91.10.

Fax. : + 33 (0)4.67.15.91.11.

Résumé Non Technique

Le procédé d'extraction de l'alumine à partir de la bauxite (minerai naturel d'aluminium), réalisée sur le site de production d'Alteo, génère d'importants volumes de résidus liquides, dont une partie est rejetée en mer.

Dans le but de cesser tout rejet en mer d'ici 2015, des filtres presses ont été installés afin de sécher ce résidu et de le stocker sur le site de Mangegarri. Le stockage est réalisé sur le bassin 5 et le bassin 6. Le bassin 7 est exploité comme bassin de secours (résidus aqueux).



Vue d'un bassin

Le résidu en question est de la Bauxaline®; il est issu du minerai naturel. Ce minerai est également naturellement radioactif.

La mise en œuvre de cette Bauxaline® peut générer des envols de poussières lors de son transport et lors de son stockage. L'environnement du site est donc exposé à ces poussières.

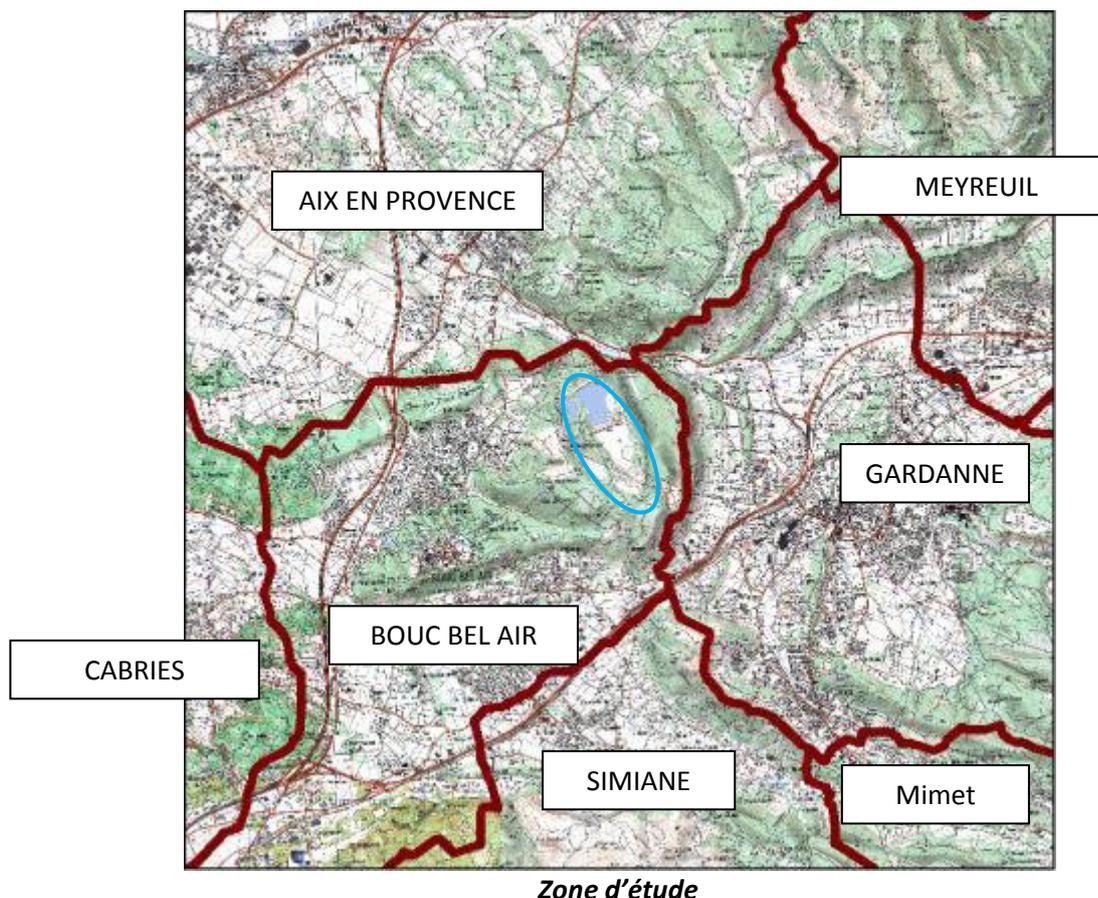
Cette évaluation des risques sanitaires, demandée par la DREAL fait suite au nouvel Arrêté Préfectoral concernant l'installation du filtre presse 2, vise à évaluer l'impact du site de Mangegarri sur la santé des populations avoisinantes. Le risque chimique et le risque radiologique sont évalués.

Cette évaluation porte donc sur les populations exposées de façon chronique, conformément aux recommandations des guides et référentiels reflétant l'état de l'art.

La méthodologie implique 4 étapes :

- L'identification des dangers correspondant aux émissions du site (produits émis)
- Les relations dose-effet permettant de sélectionner les substances en fonctions du flux émis et de la dangerosité
- L'évaluation de l'exposition découlant de la modélisation de la dispersion des polluants au sein de la zone d'étude
- La caractérisation du risque sanitaire permettant de statuer sur les risques pour la population présente dans la zone d'étude.

L'étude englobe une zone de 100 km² centrée sur le site de Mangegarri.



⇒ Identification des sources de dangers

Les sources de danger potentielles pour la santé des populations environnantes retenues sont les émissions de poussières diffuses liées :

- aux zones soumises à l'érosion du vent (surfaces mises à nu),
- aux opérations de manipulation, de chargement et de déchargement des matériaux,
- à la circulation des engins sur les pistes.

L'érosion des deux bassins constitue la source d'émission de poussières prépondérante.

⇒ Quantification des émissions

La quantification des flux de poussières émises a été réalisée sur la base d'équations issues de publications américaines reconnues comme étant les règles de l'art. Les flux de poussières sont évalués pour les activités de :

- Chargement / déchargement au niveau du bassin 5, du bassin 6 et du filtre presse ?
- Erosion au niveau du bassin 5, du bassin 6, du bassin 7 et du filtre presse ?
- Circulation sur les voies non pavées ?
- Circulation sur les voies pavées.

Les émissions de poussières susceptibles de se produire sur le site sont :

	Bassin 6		Bassin 5		Filtre presse 2		Bassin 7	
	PM 10 (kg/an)	PM 2,5 (kg/an)						
Mouvement de matériau	52	8	52	8	38	6	-	-
Envol du à l'érosion	4441	666	3416	512	340	51	342	51
Circulation sur routes pavées	169	41	34	8	-	-	-	-
Circulation sur routes non pavées	2784	278	2509	250	-	-	-	-

⇒ Relation dose-effet

Sur la base de la fiche de données de sécurité et de la dangerosité de chaque constituant évaluée selon les préconisations de la Direction Générale de la Santé, les composés émis lors de la mise en œuvre de la Bauxaline® sélectionnées comme étant les traceurs du risque chimique sont :

- Poussière de $\leq 2,5 \mu\text{m}$ (nommé PM 2,5),
- Poussière de $\leq 10 \mu\text{m}$ (nommé PM 10),
- Silice (contenue dans les poussières),
- Fer (contenu dans les poussières sous forme d'oxydes),
- L'aluminium (contenu dans les poussières sous forme d'oxydes).

Les radioéléments composant la Bauxaline® et sélectionnés comme traceur du risque radiologique sont :

- L'uranium 238U,
- Le thorium 232Th.

Cette sélection a été réalisée sur la base des nombreuses études réalisées par des organismes spécialisés mandatés par les différents exploitants successifs du site afin de caractériser cette radiologie naturelle et d'en évaluer les risques. Une étude de 2005 a notamment démontré l'absence de risque pour les travailleurs du site et qu'il serait nécessaire à une personne de grand public de séjourner 2380 heures sur un tas de Bauxaline® pour atteindre le seuil permettant de dire qu'une personne est exposée au rayonnement ionisant. Il est à noter que le fait d'être exposé ne veut pas dire qu'il y ait un risque.

⇒ **Evaluation de l'exposition**

Les voies d'exposition retenues sont :

- l'inhalation directe de poussières correspondant à la respiration de l'air ambiant,
- l'ingestion de sol et de végétaux autoproduits correspondant à l'ingestion de terre et produits sur un sol ayant subi les retombées atmosphériques de l'air ambiant.

Afin d'évaluer cette exposition, une modélisation de la dispersion atmosphérique des poussières a été réalisée à l'aide d'un logiciel reconnu comme correspond aux règles de l'art en matière de dispersion atmosphérique en France (ADMS dans sa version actuelle : v 5).

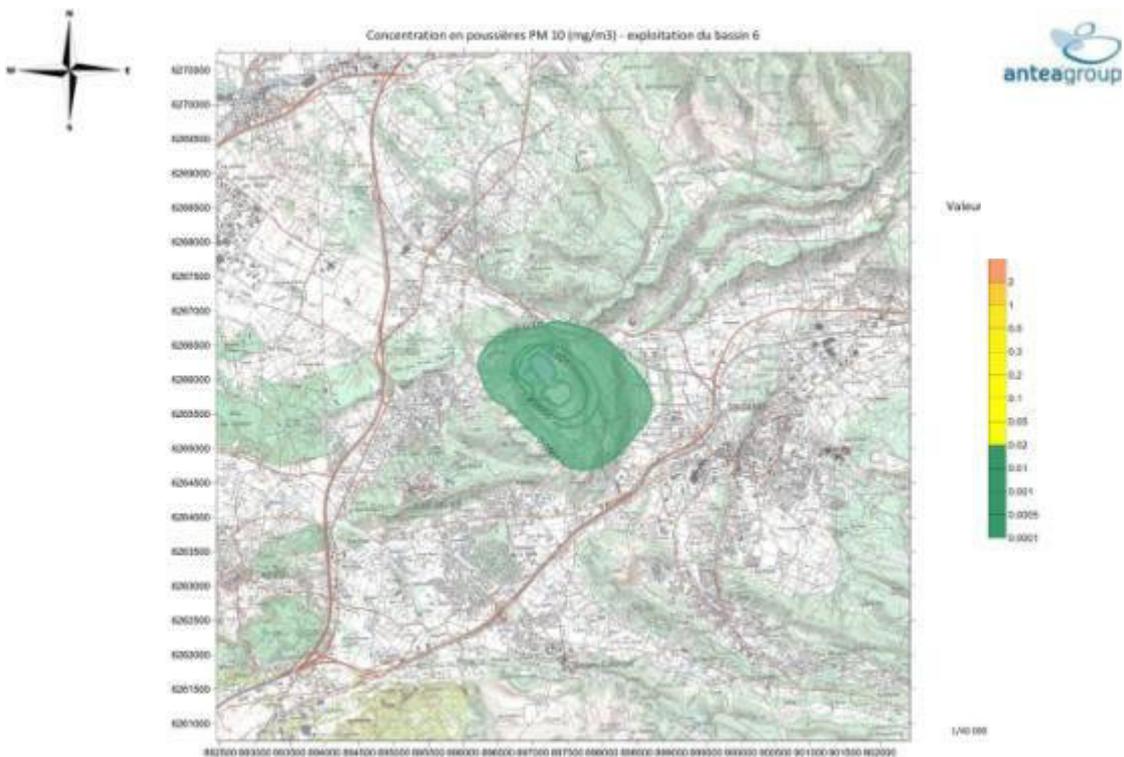
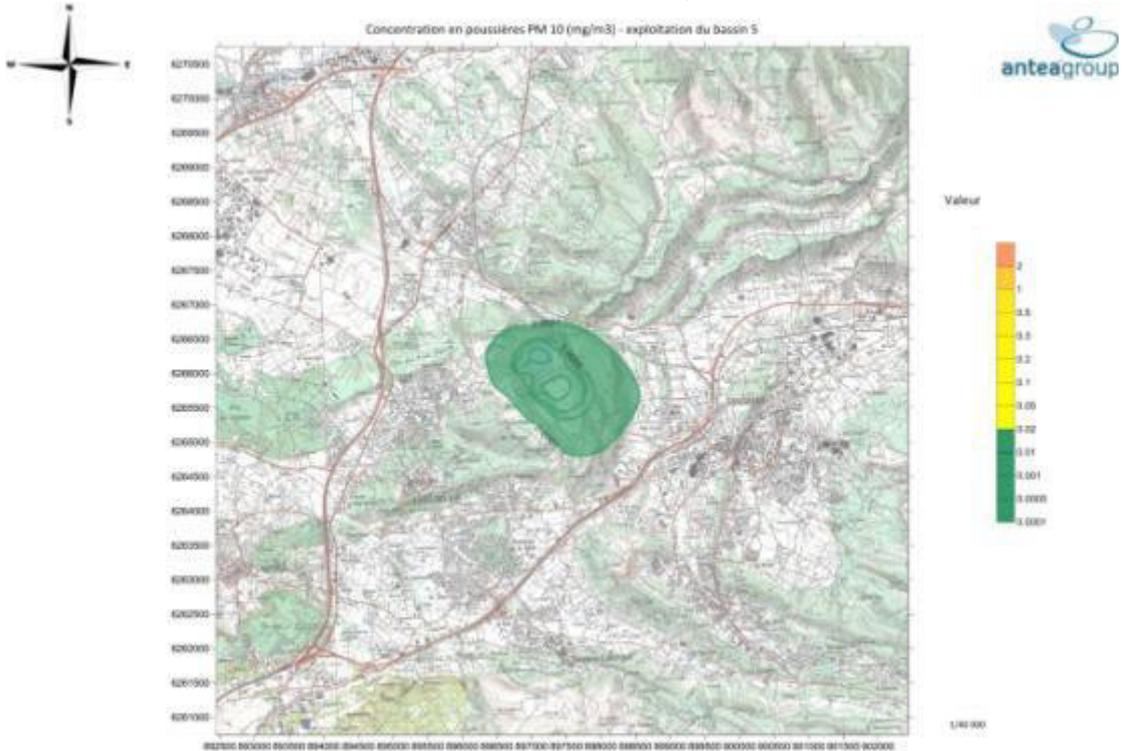
Cet outil modélise la dispersion des poussières émises à partir du site par les différentes activités en intégrant les éléments topographiques (relief, rugosité) et météorologiques. Il permet de calculer les concentrations de poussières dans l'air ambiant au niveau de l'ensemble de la zone d'étude.

Les bassins 5 et 6 n'étant pas exploités en même temps, il a été réalisé 2 modélisations correspondant à :

- l'exploitation du bassin 5 (phénomènes d'érosion du bassin 6 pris en compte),
- l'exploitation du bassin 6 (phénomènes d'érosion du bassin 5 pris en compte).

Les conclusions de la modélisation prennent la forme de 4 courbes présentées ci-après. Elles représentent les concentrations en poussières au sein de la zone d'étude de 10 km sur 10 km centrée sur le site.

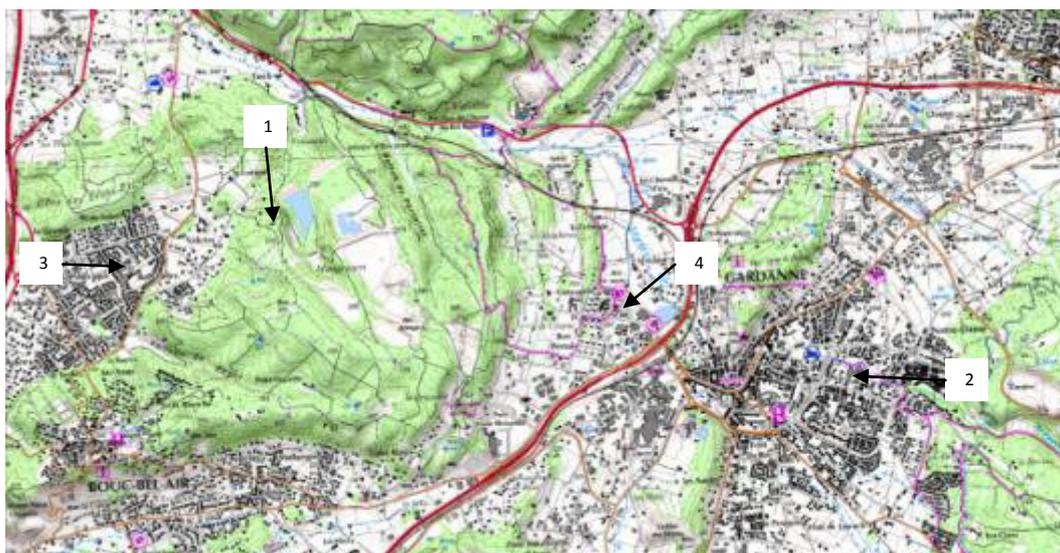
Poussières de 10 µm



L'objectif de qualité de l'air défini par le code de l'environnement est de 0,02 mg/m³.
 Il s'agirait d'une aire jaune selon l'échelle retenue. Les concentrations dans l'air sont donc bien en deçà.

Afin de préciser ces valeurs, les calculs de concentrations de poussières dans l'air ont également été réalisés aux niveaux de points particuliers :

- N°1 : habitation la plus proche,
- N°2 : le lycée de Gardanne (ERP dans Gardanne),
- N°3 : école maternelle de Bouc Bel Air (ERP le plus proche dans le sens des vents dominants),
- N°4 : Ecole/crèche de Gardanne (ERP le plus proche dans le 2eme sens des vents dominants).



Ces points particuliers ont été choisis car ils correspondent à :

- l'habitation la plus proche
- les écoles et lycées les plus proches.

Le résultat de la modélisation en ces points particuliers est :

Objectifs de qualité de l'air (mg/m ³)	Exploitation du bassin 5		Exploitation du bassin 6	
	PM 10	PM 2,5	PM 10	PM 2,5
	0,02	0,01	0,02	0,01
N°1 : une habitation	2.7E-04	6.1E-05	3.5E-04	8.0E-05
N°2 : le lycée de Gardanne	1.5E-05	4.3E-06	2.0E-05	5.4E-06
N°3 Ecole Bouc-Bel-air	2.6E-05	7.1E-06	3.3E-05	9.0E-06
N°4 Ecole Gardanne	4.4E-05	1.1E-05	5.7E-05	1.4E-05

Toujours en comparant aux objectifs de qualité de l'air précisés dans le code de l'environnement, on remarque que les résultats sont très en deçà.

⇒ Caractérisation du risque sanitaire

La caractérisation du risque sanitaire se fait en combinant la toxicité chimique et radiologique des éléments constitutifs des poussières et retenus comme traceur du risque avec la durée d'exposition des personnes. L'exposition se faisant par inhalation et par ingestion comme expliqué précédemment.

L'estimation des expositions et des niveaux de risques atteints a été réalisée pour la configuration la plus sécuritaire : exploitation 100% du temps du bassin 6.

Cette durée d'exposition des populations est extrêmement majorante puisqu'elle intègre que :

- les gens passent 100 % de leur temps à leur lieu de résidence,
- que les composés présents dans l'air extérieur se retrouvent à 100 % dans l'air intérieur,
- que l'organisme absorbe 100 % des substances présentes dans l'air,
- l'accumulation des particules sur le sol et les végétaux est continue pendant 30 ans sans lessivage par la pluie.

La réglementation prévoit des valeurs en deçà desquelles le risque est considéré comme étant acceptable.

Ces valeurs sont :

- risque chimique : seuil de 1
- risque cancérigène : excès de risque de 1.10^{-5}
- risque radiologique : dose de 1 mSv

En cas d'absence de seuil, les concentrations en substances dans l'air sont comparées aux objectifs de qualité de l'air. Dans cette étude, c'est le cas des poussières qui n'ont pas de seuil de toxicité définit.

L'ensemble des populations de la zone d'étude y compris les habitations et écoles les plus proches sont exposées à des concentrations en PM_{2,5} et PM₁₀ inférieures aux objectifs de qualité de l'air.

De plus, les calculs de risque menés pour une exposition à la silice, au fer et à l'aluminium, conduisent à des valeurs inférieures à la valeur de 1 sur l'ensemble de la zone d'étude.

Enfin, Les Doses efficaces totales liées aux radioéléments des poussières calculées pour le public sont bien inférieures au seuil de 1 mSv indiquant l'absence de risque lié aux poussières de Bauxaline® sur l'ensemble de la zone d'étude.

Sommaire

	Pages
Résumé Non Technique	1
1. Contexte et objectifs	14
2. Présentation du site et analyse de l'état initial.....	15
2.1. Présentation des installations et des activités	15
2.2. Analyse de l'état initial en terme d'émission de poussière	16
2.2.1. Bilan des informations acquises sur les émissions du site	16
2.2.1.1. Granulométrie des particules	16
2.2.1.2. Identification des sources d'émission	17
2.2.2. Mesures prises par ALTEO pour limiter les envols de poussières.....	18
2.2.3. Surveillance des retombées effectuées par le site	18
2.2.4. Réseau de suivi de la qualité de l'air d'Air Paca	20
2.3. Etat initial en terme d'éléments radiologiques.....	21
2.3.1. Notions de base sur la radioactivité.....	21
2.3.2. Mise en évidence de radioactivité naturelle renforcée sur le site.....	26
2.3.3. Calcul d'impact radiologique du dépôt à terre de BAUXALINE®	27
2.3.4. Résultats d'analyses de boues, bauxite et Bauxaline® antérieurs à 2005	30
2.3.5. Etude des problèmes de radioprotection liés à l'utilisation de produits contenant des radionucléides naturels	31
2.3.6. Rapport de l'autorité de sureté nucléaire de 2009.....	34
2.3.7. Suivi du site conduit par ALGADE de 2008 à 2012	35
2.3.7.1. Air.....	35
2.3.7.2. Boues, bauxite et Bauxaline®	36
2.3.7.3. Eaux de drainage du dépôt	37
3. Evaluation des risques sanitaire liés à une exposition chimique et radiologique	38
3.1. Méthodologie mise en œuvre.....	38
3.2. Identification des dangers.....	40
3.2.1. Flux émis par les opérations de chargement et de déchargement	40
3.2.2. Flux émis par l'érosion des stockages	42
3.2.3. Flux émis par la circulation sur le site	44
3.2.3.1. Circulation sur des voies non pavées	44
3.2.3.2. Circulation sur des voies pavées	46
3.2.4. Synthèse des émissions de poussières.....	49
3.3. Composition chimique et radiologique de la Bauxaline®	49
3.3.1. Composition en éléments chimiques de la Bauxaline®	49
3.3.2. Composition en radioéléments	50
3.4. Les vecteurs de transfert.....	50
3.4.1. L'air	50
3.4.2. Le sol du site.....	50
3.4.3. Le sol hors site	50
3.5. Les cibles	51
3.5.1. La population générale.....	52
3.5.2. Les populations sensibles.....	53
3.5.3. Etude de terrain	57

3.5.4.	« cibles » retenues pour la modélisation	60
3.6.	Les scénarii d'exposition	61
3.7.	Choix des éléments traceurs du risque	63
3.7.1.	Choix des substances chimiques	63
3.7.2.	Choix des radioéléments	64
3.8.	Relations doses-effets	65
3.8.1.	Choix des Valeurs Toxicologiques de Référence pour les effets chimiques	65
3.8.1.1.	Généralités.....	65
3.8.1.2.	Choix des valeurs toxicologiques de référence	66
3.8.1.3.	Valeur Toxicologique de Référence retenues pour les calculs de risques.....	67
3.8.1.4.	Substances ne présentant pas de VTR	67
3.8.2.	Choix Coefficients de Doses pour les effets radiologiques	68
3.8.2.1.	Coefficients de dose pour la radioactivité.....	68
3.8.2.2.	Méthodologie de choix des CD et DPUI	69
3.8.2.3.	CD et DPUI retenues	73
3.9.	Evaluation de l'exposition	74
3.9.1.	Modèle de dispersion atmosphérique utilisé	74
3.9.2.	Emissions atmosphériques.....	75
3.9.3.	Zone d'étude	77
3.9.4.	Hauteur de rugosité	77
3.9.5.	Prise en compte du relief	78
3.9.6.	Conditions météorologiques.....	79
3.9.7.	Validation du modèle et comparaison modèle mesure.....	81
3.9.8.	Comparaison des résultats de la modélisation en poussière aux objectifs de qualité de l'air	83
3.9.9.	Calcul de l'exposition au risque chimique.....	88
3.9.9.1.	Paramètres retenus pour le calcul de l'exposition par inhalation.....	88
3.9.9.2.	Paramètres retenus pour le calcul de l'exposition par ingestion	89
3.9.9.3.	Résultats de la modélisation des substances chimiques dans les différents milieux..	90
3.9.10.	Calcul de l'exposition aux radioéléments.....	91
3.9.10.1.	Exposition interne par inhalation.....	92
3.9.10.2.	Exposition externe à l'air.....	93
3.9.10.3.	Exposition externe au dépôt	94
3.9.10.4.	Ingestion de sol et de végétaux autoproduits.....	95
3.10.	Caractérisation des risques sanitaires.....	97
3.10.1.	Caractérisation des risques sanitaires pour le risque chimique.....	97
3.10.1.1.	Généralités.....	97
3.10.1.2.	Calculs des risques pour les voies d'exposition retenues	98
3.10.2.	Caractérisation des risques sanitaires pour le risque radiologique	102
3.10.2.1.	Méthodologie	102
3.10.2.2.	Résultats des calculs de Dose pour les voies d'exposition retenues	103
3.11.	Discussion des incertitudes	106
3.11.1.	Incertitudes liées à l'identification des dangers.....	106
3.11.1.1.	Quantification des flux.....	106
3.11.1.2.	Sources retenues	106
3.11.1.3.	Choix des scenarii étudiés.....	106
3.11.2.	Incertitudes liées à l'évaluation de l'exposition.....	106
3.11.2.1.	Incertitudes liées à la modélisation de la dispersion	106
3.11.2.2.	Incertitudes sur le modèle	107
3.11.3.	Incertitudes liées aux données météorologiques	108
3.11.4.	Incertitudes liées aux critères d'exposition des populations.....	108
4.	Conclusion	110

Liste des tableaux

Tableau 1 :	Concentrations mesurées sur le site de Mangegarri les 1 ^{er} , 2 et 23 août 2012	17
Tableau 2 :	Concentrations mesurées sur le site de Mangegarri par sources	17
Tableau 3 :	Liste des stations Air Paca situées à proximité du site	20
Tableau 4 :	Résultats des mesures de PM 10 sur l'année 2011	20
Tableau 5 :	Résultats des mesures de PM 10 sur l'année 2012	21
Tableau 15 :	Données issues des fiches radionucléides IRSN, Données AIEA 1993, Publication de Henry Metivier	24
Tableau 6 :	Evaluation de l'impact radiologique, ALGADE 2005	29
Tableau 7 :	Mesures antérieure à 2005, données ALCAN	30
Tableau 8 :	Extrait code de la santé publique, annexe 2 – seuils d'exemption pour l'application de l'article R-1333-27	31
Tableau 9 :	Résultats des analyses radiologiques de 2006.....	33
Tableau 10 :	Résultats du suivi trimestriel de la qualité de l'air au drain valabre.....	35
Tableau 11 :	Résultats de la station dite du milieu naturel à Gardanne	36
Tableau 12 :	Résultats d'analyses de produits entre 2006 et 2011.....	36
Tableau 13 :	Analyses radio-chimique des eaux de la station valabre.....	37
Tableau 14 :	Analyses par spectrométrie des eaux de la station valabre	37
Tableau 15 :	Paramètres relatif au calcul du facteur d'émission des opérations de chargement et de déchargement	41
Tableau 16 :	Calcul des flux émis pour les activités de chargement et de déchargement.....	42
Tableau 17 :	Paramètres utilisés pour le calcul des émissions liées à l'érosion.....	43
Tableau 18 :	Calcul des flux émis par l'érosion.....	44
Tableau 19 :	Paramètres utilisés pour le calcul des émissions liées à la circulation sur les bassins	45
Tableau 20 :	Calcul des flux émis par la circulation sur les bassins	46
Tableau 21 :	Paramètres utilisés pour le calcul des émissions liées à la circulation sur les voies de circulation pavées.....	48
Tableau 22 :	Calcul des flux émis par la circulation sur les voies pavées	48
Tableau 23 :	Bilan des émissions de PM10 et PM2,5 relatives aux sources d'émission de poussières.....	49
Tableau 24 :	Répartition en pourcentage de la population totale par tranche d'âge....	52
Tableau 25 :	Liste des établissements scolaires	54
Tableau 26 :	Liste des établissements de santé	55
Tableau 27 :	Liste des établissements accueillant des personnes âgées	55
Tableau 28 :	Nombre d'habitations situées dans le champ proche du site	58
Tableau 29 :	Scénarii potentiels d'exposition pour les polluants chimiques	61
Tableau 30 :	Scénarii potentiels d'exposition pour les radioéléments	61
Tableau 31 :	Choix des éléments traceurs du risque.....	63
Tableau 32 :	Choix des traceurs du risque radiologique	64
Tableau 33 :	Valeurs toxicologiques de référence retenues pour la voie d'exposition par inhalation.....	67
Tableau 34 :	Valeurs toxicologiques de référence retenues pour la voie d'exposition par ingestion	67

Tableau 35 : Objectifs de qualité de l'air pour les poussières (PM 2,5 et 10)	67
Tableau 36 : Doses par unité incorporée pour l'inhalation	70
Tableau 37 : Doses par unité incorporée pour l'ingestion	71
Tableau 38 : Coefficient de dose reçue dans de l'eau contaminée, sur un dépôt sur sol ou dans un panache de gaz	72
Tableau 39 : Doses par unité incorporée pour l'inhalation retenue pour le calcul	73
Tableau 40 : Doses par unité incorporée pour l'ingestion retenue pour le calcul	73
Tableau 41 : Coefficient de dose reçue sur un dépôt sur sol ou dans un panache de gaz	73
Tableau 42 : Synthèse des émissions atmosphériques de poussières modélisées	75
Tableau 43 : Comparaison des résultats de modélisation avec les mesures du suivi environnemental	82
Tableau 44 : Concentrations d'exposition en PM 10 et PM 2.5 au niveau des cibles retenues ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	83
Tableau 45 : Concentrations d'exposition au niveau des cibles retenues (mg/m^3)	89
Tableau 46 : Paramètres d'exposition	89
Tableau 47 : Dépôts au sol modélisé au niveau des cibles retenues ($\text{mg}/\text{m}^2/\text{an}$)	91
Tableau 48 : Concentrations dans les sols au niveau des cibles retenues (mg/kg)	91
Tableau 49 : Concentrations dans les végétaux au niveau des cibles retenues (mg/kg MF)	91
Tableau 50 : Critères retenus pour les calculs d'exposition pour l'exposition par inhalation	92
Tableau 51 : Concentrations d'exposition au niveau des cibles retenues (Bq/m^3)	93
Tableau 51 : Critères retenus pour les calculs d'exposition pour l'exposition externe à l'air	93
Tableau 52 : Critères retenus pour les calculs d'exposition pour l'exposition externe à l'air	94
Tableau 51 : Activité massiques du dépôt (Bq/kg)	94
Tableau 53 : Paramètres d'exposition	96
Tableau 51 : Activité massiques des sols du jardin (Bq/kg)	96
Tableau 54 : Calcul des Quotients de Dangers pour les adultes	98
Tableau 55 : Calcul des Quotients de Dangers pour les enfants	98
Tableau 56 : Limites de dose annuelles	102
Tableau 54 : Doses pour les adultes	103
Tableau 55 : Doses pour les enfants	103

Liste des figures

Figure 1 : Localisation de la décharge de Mangegarri	15
Figure 2 : Bassin 7 en eau.....	16
Figure 3 : Arrosage du bassin 7	18
Figure 4 : Mise en place du compostage sur le bassin 7.....	18
Figure 5 : Localisation des plaquettes de suivis d'ALTEO	19
Figure 6 : Résultats de mesure de dépôts à l'extérieur du site	19
Figure 7 : Relation entre doses en Gray (Gy) et Sievert (Sv).....	22
Figure 8 : Exposition externe et interne aux radioéléments.....	23
Figure 9 : Chaîne de filiation de l'uranium 238.....	25
Figure 10 : Chaîne de filiation du thorium 232	25
Figure 11 : Réseau de surveillance radiologique du site mis en place par ALGADE	28
Figure 12 : Localisation des points de mesure ALGADE de 2006.....	32
Figure 13: Illustration du concept « Source – Vecteur – Cibles »	38
Figure 14 : Synoptique de la démarche mise en œuvre	39
Figure 15 : Liste des communes situées dans la zone d'étude	51
Figure 16 : Localisation des établissements sensibles	56
Figure 17 : Localisation de la zone sur laquelle l'étude de terrain a été menée	57
Figure 18 : localisation des zones à potagers recensés	59
Figure 19 : localisation des 4 cibles retenues pour la présentation des résultats.....	60
Figure 20 : Schéma conceptuel final	62
Figure 21 : Localisation des sources modélisées	76
Figure 22 : Rugosité intégrée dans le modèle de dispersion.....	77
Figure 23 : Topographie de la zone d'étude	78
Figure 24 : Rose des vents établie par ADMS au niveau de la station d'Aix en Provence les Milles (données 2010-2012).....	80
Figure 25 : Courbes d'iso concentration en PM10 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) avec l'exploitation du bassin 5.....	84
Figure 26 : Courbes d'iso concentration en PM10 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) avec l'exploitation du bassin 6.....	85
Figure 27 : Courbes d'iso concentration en PM2,5 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) avec l'exploitation du bassin 5.....	86
Figure 28 : Courbes d'iso concentration en PM2,5 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) avec l'exploitation du bassin 6.....	87
Figure 29 : Courbes d'iso risques pour les effets toxiques (Adultes).....	99
Figure 30 : Courbes d'iso risques pour les effets toxiques (enfants).....	100
Figure 31 : Zoom sur la zone concernée par un QD de 0,1.....	101
Figure 32 : Courbes d'iso doses (Adultes).....	104
Figure 33 : Courbes d'iso dose (enfants)	105

Liste des annexes

Annexe A : Fiche de données sécurité

Annexe B : Equations de calculs de risque

1. Contexte et objectifs

Dans le cadre de l'arrêté préfectoral du 16 novembre 2012 portant prescriptions complémentaires concernant le changement d'exploitant au profit de la société ALTEO Gardanne de l'installation de stockage de déchets à Bouc Bel Air, l'administration demande à ce que soit réalisée une évaluation des risques sanitaires incluant les données sur les poussières diffuses.

L'objectif d'une évaluation des risques sanitaires est d'évaluer quantitativement les impacts sanitaires potentiels sur la population locale induits par les émissions atmosphériques du stockage de déchets de Mangegarri située sur la commune de Bouc Bel Air (13), en prenant en compte les connaissances scientifiques et techniques du moment. Cette évaluation concernera les risques chimiques d'une part et les risques radiologiques liés à la radioactivité naturelle de la bauxite d'autre part.

Cette évaluation des risques porte sur les populations exposées de façon chronique aux émissions dans les différents milieux (air, eau, sol...), conformément aux recommandations des guides INERIS mis à jour en 2003 et InVS¹ de 2000 relatifs aux installations classées pour la protection de l'environnement.

L'évaluation des risques radiologiques est réalisée sur la base du référentiel : « Gestion des sites potentiellement pollués par des substances radioactives V10 », MEDDTL/DGPR - ASN - IRSN, 15 décembre 2011 et mis à jour le 19 avril 2012.

Il est à noter que l'ensemble de ces textes ou documents présente une méthodologie similaire, qu'elle soit appliquée au polluants chimiques, radiologiques, à un site pollué, une installation classée pour l'environnement ou bien encore un projet pour lequel il est nécessaire d'évaluer l'impact sur la santé humaine.

Seront exclus du champ de l'étude les travailleurs du site, pour lesquels les risques potentiels sont gérés par l'exploitant dans le cadre du code du travail.

¹ Institut de Veille Sanitaire

2. Présentation du site et analyse de l'état initial

2.1. Présentation des installations et des activités

La société ALTEO exploite un stockage de déchets de Bauxaline® appelé Mangegarri située sur la commune de Bouc-Bel-Air. Ce site se trouve au Nord-Est de la ville de Bouc-Bel-Air et au sud Ouest de la ville de Gardanne.

La figure ci-dessous présente la localisation du site de Mangegarri.

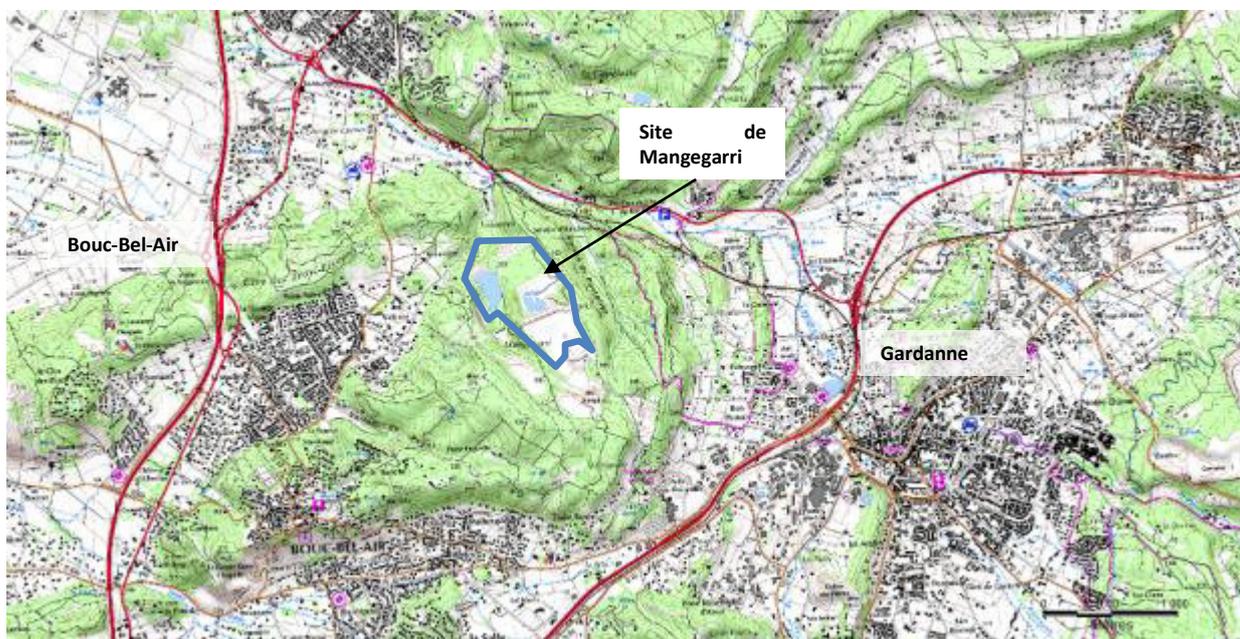


Figure 1 : Localisation de la décharge de Mangegarri

Le procédé d'extraction de l'alumine à partir de la bauxite, réalisée sur le site de production d'Alteo, génère d'importants volumes de résidus liquides, dont une partie est rejetée en mer.

Dans le but de cesser tout rejet en mer d'ici 2015, un filtre presse a été installé en 2007 dans l'usine de Gardanne pour transformer les résidus liquides en Bauxaline® (matériau solide stockable ou commercialisable). Actuellement, une partie de la Bauxaline® est transportée depuis le site de Gardanne et est stockée sur le site de Mangegarri où un deuxième filtre presse a été installé en 2013.

Le stockage est réalisé sur le bassin 5 et le bassin 6. Le dernier filtre presse a été installé sur le bassin 5.

Le bassin 7 est immergé à l'exception des berges sur lesquelles le niveau d'eau peut varier (cf. figure ci-dessous).



Figure 2 : Bassin 7 en eau

2.2. Analyse de l'état initial en terme d'émission de poussière

2.2.1. Bilan des informations acquises sur les émissions du site

2.2.1.1. Granulométrie des particules

En 2012, un état des lieux qualitatif et quantitatif a été mené sur les émissions diffuses de l'usine et du site de Mangegarri par la société BURGEAP².

A l'aide d'un appareil de mesures GRIMM G1.108, des analyses in situ ont été réalisées sur le site de Mangegarri les 1^{er}, 2 et 23 août 2012. Ces analyses ont permis de d'apporter les éléments suivants sur la granulométrie des poussières dans l'air ambiant :

- aucune différence de granulométrie observée sur les résultats en fonction de la source d'émission.
- les particules mesurées sont dans l'ensemble de diamètre supérieure à 2 μm . l'essentiel des particules semble de granulométrie grossière plutôt que fine.

² Evaluation des émissions diffuses du site de Gardanne et de la décharge contrôlée de Mangegarri – RACISE00938-02 du 10/04/13

Le tableau suivant présente les résultats des mesures pratiquées sur le site de Mangegarri les 1^{er}, 2 et 23 août 2012.

	PM 10 (µg/m ³)	PM 2.5 (µg/m ³)	PM1 (µg/m ³)
Mesure du 1 ^{er} /08	168	23	10
Mesure du 02/08	218	33	11
Mesure du 23/08	241	31	12

Tableau 1 : Concentrations mesurées sur le site de Mangegarri les 1^{er}, 2 et 23 août 2012

Les conclusions du rapport sur ces analyses indiquent une présence prépondérante des PM10.

2.2.1.2. Identification des sources d'émission

Par ailleurs lors de cet état des lieux, une identification des sources d'émissions sur le site de Mangegarri a également été effectuée sur la base de mesures mais également de repérage visuel.

Les principales conclusions du rapport BURGEAP sont reprises dans le tableau ci-dessous :

	Concentrations moyennes mesurées semaine 31			Concentrations moyennes mesurées semaine 34		
	PM 10 (µg/m ³)	PM 2.5 (µg/m ³)	PM1 (µg/m ³)	PM 10 (µg/m ³)	PM 2.5 (µg/m ³)	PM1 (µg/m ³)
Bassin 6	170	21	8	21	7	5
Bassin 7	88	14	5			
Bassin 5	105	16	5			
Stockages divers	53	13	5			
Route pavée et non pavée	Repérage visuel			Repérage visuel		

Tableau 2 : Concentrations mesurées sur le site de Mangegarri par sources

Sur la base de ces éléments les sources à retenir à minima pour l'étude de risque sanitaire sont les bassins (érosion + activité) et les voies de circulation.

2.2.2. Mesures prises par ALTEO pour limiter les envols de poussières

Afin de limiter les envols de poussières ALTEO a mis en œuvre les mesures suivantes :

- Mise en place de composte sur la moitié de la plage du bassin 7 ; l'autre moitié est arrosée. Avant la fin de l'année 2013 la moitié arrosée sera recouverte également de composte. Il reste toutefois une partie découverte liée au niveau du bassin niveau bas - niveau haut géré par l'exploitation.
- Arrosage des pistes :
 - en période humide, 1 fois par mois les pistes sont arrosées.
 - en période sèche, 4 fois par mois.
 - si la vitesse du vent dépasse 40 km/h.



Figure 3 : Arrosage du bassin 7



Figure 4 : Mise en place du compostage sur le bassin 7

2.2.3. Surveillance des retombées effectuées par le site

Conformément aux arrêtés (AP 08/06/2007 et AP 16/11/2012) ALTEO dispose de 13 plaquettes de suivis des retombées de poussières.

La figure ci-après présente l'emplacement de ces différentes plaquettes.



Figure 5 : Localisation des plaquettes de suivis d'ALTEO

L'évaluation des risques sanitaires ne s'intéressant qu'aux effets extérieurs du site, seuls sont présentés ci-après les résultats des mesures de dépôts en limite de site. Celles relatives aux mesures sur site n'ont pas été incluses.

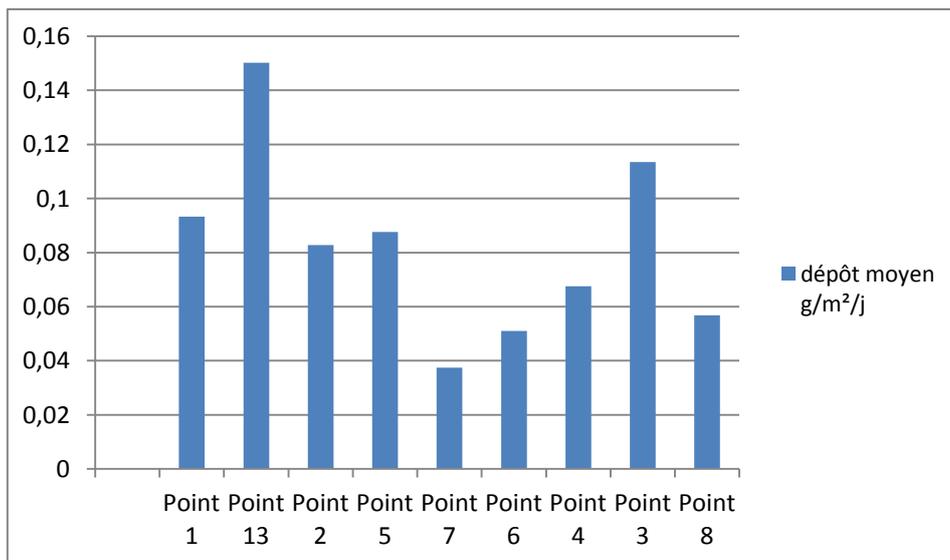


Figure 6 : Résultats de mesure de dépôts à l'extérieur du site

Il est à noter que les plaquettes 7, 6, 4, 3 et 8 ne disposent de données que depuis le mois de septembre 2012. Globalement il semble être observé des dépôts plus importants sur les points 1, 13, 2, 5, 4 et 3. Ces points sont situés au Nord et au Nord Est du site.

2.2.4. Réseau de suivi de la qualité de l'air d'Air Paca

Dans le cadre de sa mission de suivi de la qualité de l'air Air Paca dispose d'une station de mesure sur la ville de Gardanne et de 3 stations sur la ville d'Aix-en-Provence.

Ces différentes stations suivent les paramètres suivants :

	Ozone	PM 10	PM 2.5	Nox	SO2	Benzène	HAP	Métaux lourds	Monoxyde de carbone
Aix école d'art	x	x	x	x		x		x	
Aix les platanes	x								
Aix roy rené		x		x		x			
Gardanne		x	x						

Tableau 3 : Liste des stations Air Paca situées à proximité du site

En 2011, le bilan annuel d'Air Paca fait état des conclusions suivantes :

- Les niveaux moyens annuels de particules inférieures à 10µm sur Marseille et Aix-en-Provence varient de 23 à 52 µg/m³.
- 77 jours ont été enregistrés avec des concentrations supérieures à 50 µg/m³ sur le site de Gardanne. Cependant, la concentration moyenne annuelle ne dépasse pas la valeur limite.

Les résultats en PM 10 pour l'année 2011 sont présentés ci-après :

Stations	Moyenne annuelle civile (µg/m ³)	Objectif de qualité de l'air Moyenne annuelle civile (µg/m ³)
Aix école d'art	37	40
Aix roy rené	23	
Gardanne	40	

Tableau 4 : Résultats des mesures de PM 10 sur l'année 2011

Le bilan annuel d'Air Paca sur l'année 2012 n'est pas encore disponible, seule une synthèse est consultable. Les éléments de cette synthèse indiquent que la valeur limite annuelle est respectée sur l'ensemble des stations.

Stations	Moyenne annuelle civile ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Objectif de qualité de l'air Moyenne annuelle civile ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
Aix école d'art	33	40
Aix roy rené	38	
Gardanne	32	

Tableau 5 : Résultats des mesures de PM 10 sur l'année 2012

Les valeurs indiquées dans les tableaux, 3, 4 et 5 sont issues du site internet d'Air Paca www.atmopaca.org.

2.3. Etat initial en terme d'éléments radiologiques

2.3.1. Notions de base sur la radioactivité

Les présentes notions de bases sont issues du « Guide pratique radionucléides et radioprotection V2 », 2006, Daniel Delacroix, Jean-Paul Guerre et Paul Leblanc, Société française de radioprotection, Commissariat à l'énergie atomique.

Rayons ionisants

On entend par là des radiations électromagnétiques de haute énergie (rayons X et rayons γ) ou des rayonnements particulaires (α , β , protoniques ou neutroniques et ceux dus aux ions lourds). Si une telle radiation de haute énergie rencontre de la matière, celle-ci peut être ionisée.

L'activité et le becquerel

Une substance radioactive est caractérisée par son activité. Cette grandeur traduit le nombre de désintégrations qui se produit par unité de temps.

Avant l'introduction du Système International pour les unités de mesure (S.I.), l'activité était exprimée en curie (Ci). Le curie correspond au nombre de désintégrations par seconde produites par 1 gramme de radium à l'équilibre (37 milliards de désintégrations par seconde). Cette unité est remplacée depuis plusieurs années par le becquerel (Bq) qui est égal à 1 désintégration par seconde.

La dose absorbée et le gray (Gy)

Les rayonnements déposent une fraction ou la totalité de leur énergie lorsqu'ils pénètrent dans la matière. La quantité d'énergie cédée par unité de masse de matière est appelée dose absorbée et s'exprime en gray (Gy).

$$1 \text{ Gy} = 1 \text{ Joule.kg}^{-1}$$

En radioprotection, la mesure de l'exposition externe s'effectue à l'aide de radiamètres qui permettent d'évaluer la dose en profondeur - dite à l'organisme - et/ou la dose superficielle - dite à la peau. Cette dernière peut être significativement différente de la dose en profondeur dans le cas où le rayonnement est peu pénétrant (β ou γ , X de faible énergie). Généralement un capot amovible sur l'appareil permet d'effectuer les deux types de mesures. La différence entre les deux valeurs permet souvent d'évaluer la composante β .

Les appareils actuels sont généralement étalonnés en $\mu\text{Gy}\cdot\text{h}^{-1}$ (ou $\mu\text{Sv}\cdot\text{h}^{-1}$) pour les mesures en débit et en μGy (ou μSv) pour les mesures intégrées.

L'effet des rayonnements et le sievert (Sv)



Figure 7 : Relation entre doses en Gray (Gy) et Sievert (Sv)

L'effet des rayonnements sur l'organisme vivant dépend de la dose absorbée dans les tissus mais également de la nature du rayonnement et de la sensibilité des tissus ou organes irradiés. Ainsi, la dose efficace qui rend compte de l'effet global des rayonnements sur l'organisme vivant résulte d'une modélisation du risque.

À partir de la dose absorbée, une double pondération est effectuée d'abord avec le facteur prenant en compte la qualité du rayonnement (W_R) puis avec le facteur prenant en compte la sensibilité relative des tissus ou organes dans lesquels est répartie la dose absorbée (W_T).

Il existe des tables de W_R pour tous les types de rayonnements et de W_T pour les différents tissus et organes.

La « dose équivalente » H_T (Sv) au tissu ou à l'organe T sera égale à la dose absorbée par le tissu ou l'organe T ($D_{T,R}$) pondérée suivant le type de rayonnement :

$$H_T \text{ (Sv)} = \sum W_R \cdot D_{T,R} \text{ (Gy)}$$

La dose efficace est la somme des doses équivalentes délivrées aux différents tissus ou organes du corps, par exposition externe et interne, et pondérées par un « facteur de pondération tissulaire » W_T , propre au tissu ou à l'organe T, selon la formule suivante :

$$E(Sv) = \sum W_T H_T (Sv)$$

Les risques sont répertoriés selon les deux modes d'exposition aux rayonnements ionisants : l'exposition externe et l'exposition interne.

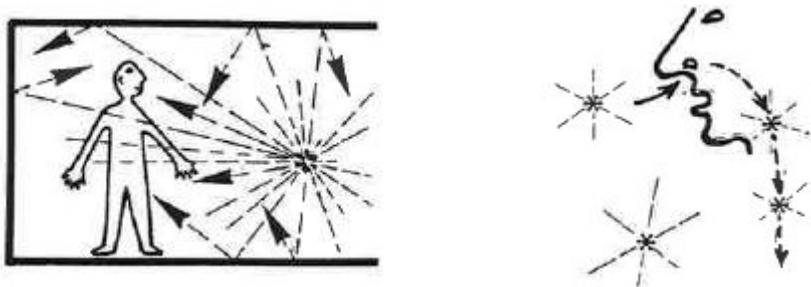


Figure 8 : Exposition externe et interne aux radioéléments

Radionucléides artificiels

Les radionucléides artificiels proviennent essentiellement des retombées des essais nucléaires atmosphériques qui ont eu lieu de 1960 à 1980 et des dépôts consécutifs à l'accident de Tchernobyl de mai 1986. Les activités moyennes dans l'environnement de ces radioéléments sont données par les « fiches radionucléides » de l'IRSN :

- le ^{137}Cs (césium), provenant des retombées des tirs et de l'accident de Tchernobyl. Le « bruit de fond environnemental » du ^{137}Cs est d'une dizaine de Bq/kg dans les couches supérieures des sols ;
- le ^{90}Sr (strontium) d'une part et les actinides transuraniens que sont le plutonium et l'américium ($^{239,240}\text{Pu}$ et ^{241}Am , élément fils du ^{241}Pu) d'autre part, qui sont imputables aux retombées des tirs atmosphériques. L'activité en ^{241}Am dans les sols est de l'ordre de quelques dixièmes de Bq/kg de sol sec ;
- le tritium (^3H) et le carbone 14 (^{14}C) provenant des essais nucléaires participent — dans une très faible mesure — au bruit de fond général.

L'historique de la zone ne met pas en évidence la présence de radionucléides artificiels à des activités plus élevées que la moyenne nationale.

Radionucléides naturels

Ils sont présents dans les roches du sol à des taux variables selon la géologie et la géochimie du lieu. Le tableau suivant en présente quelques ordres de grandeurs.

Roche	²²⁶ Ra (Bq/kg)	²³² Th (Bq/kg)	²³⁸ U (Bq/kg)	⁴⁰ K (Bq/kg)
Granite	90	48 - 80	50	>1000
Grés	26	14	24	330
Schistes	40	6-40	15-800	800
Calcaire	16	5-26	15	80
Sables et graviers	4	20-200	20-90	30
Charbon		8-27	16-27	50-100
Cendres		50-150	200-900	250-700
Minerai de phosphate	1 400	50	1 500	260
Engrais P ₂ O ₅	1 000		4 000	
Minerai 1%U	22 000	4 000	12 000	

Tableau 6 : Données issues des fiches radionucléides IRSN, Données AIEA 1993, Publication de Henry Metivier

Sur le site, les terrains naturels rencontrés seraient de type sédimentaire avec un bas bruit de fond radiologique.

Pour les radionucléides naturels, il est aussi regardé par le biais d'histogrammes les conditions d'équilibre de celui-ci avec sa filiation. Lorsque les roches n'ont pas été remaniées depuis des temps géologiques, un équilibre dit « séculaire » entre père et fils existe. En conséquence :

- Un équilibre est un bon indice d'origine naturelle du radioélément,
- Un fort déséquilibre peut constituer une signature anthropique particulière et donner des indications sur l'origine de la pollution de sols.

Remarques sur les interprétations d'équilibre :

- La famille de l'²³⁸U est considérée à l'équilibre séculaire si celui-ci s'étend jusqu'au ²²⁶Ra inclus,
- Le ²⁰⁸Th est supposée être à l'équilibre avec ses parents quand son activité est environ 3 fois inférieure à celle du ²¹²Pb.

Pour fixer les idées, les figures suivantes présentent les deux familles de radionucléides en question.

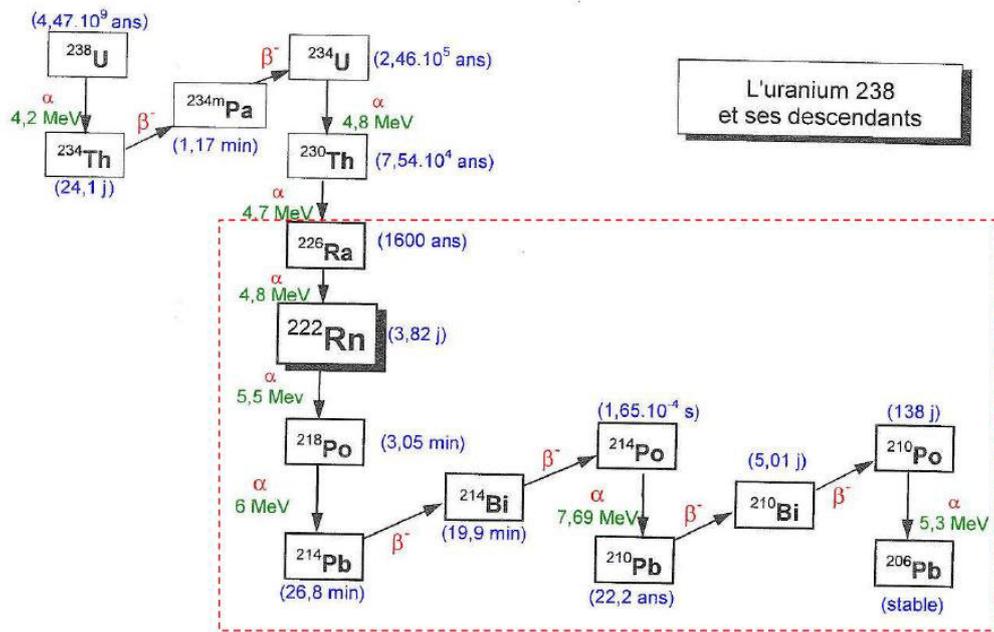


Figure 9 : Chaîne de filiation de l'uranium 238

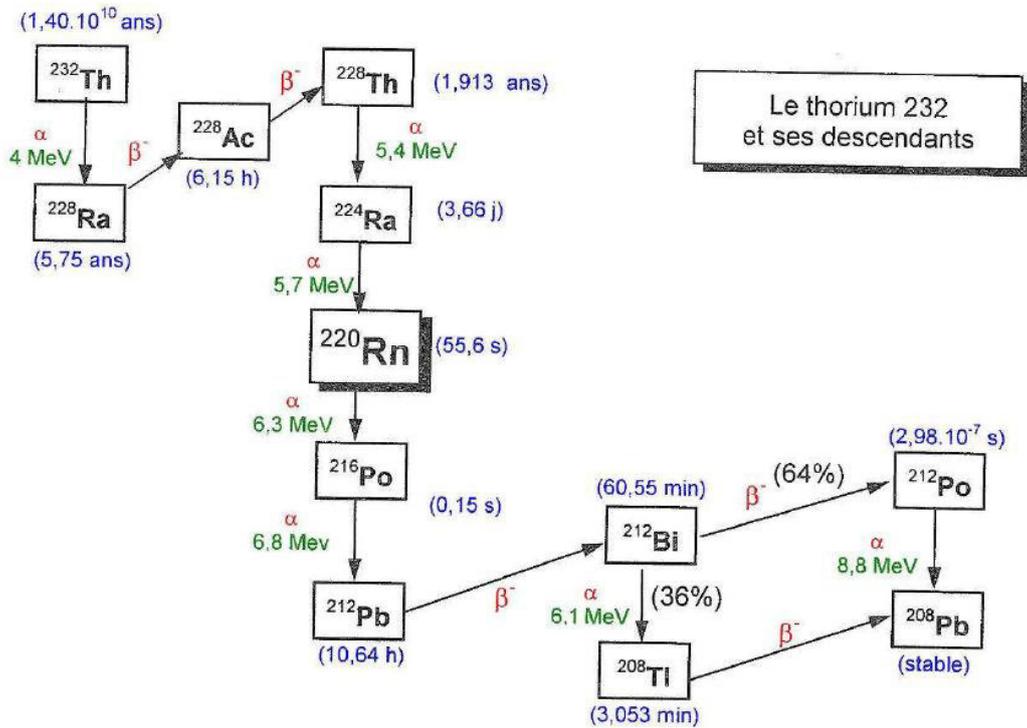


Figure 10 : Chaîne de filiation du thorium 232

2.3.2. Mise en évidence de radioactivité naturelle renforcée sur le site

Le déclenchement en février 2005 d'un portique de détection de la radioactivité implanté à l'entrée du Centre d'Enfouissement Technique d'Entressens (13) par un chargement de produit solide type Bauxaline® issu de son usine de GARDANNE, a conduit la Société ALCAN à mandater ALGADE pour procéder à une mesure rapide des niveaux radiologiques du produit « Bauxaline® ».

Les résultats des mesures in situ étaient les suivants :

- Au contact de la Bauxaline® stocké sur le site ALCAN, on note :
 - un débit de photons entre 150 et 300 c.s^{-1} SPP2
 - un débit de dose externe entre 0,30 et 0,50 $\mu\text{Sv.h}^{-1}$.
- Au contact du sol constitué de Bauxaline® recouvert de 20 à 30 cm de terre végétale, on note :
 - un débit de photons entre 50 et 80 c.s^{-1} SPP2
 - un débit de dose externe de l'ordre de 0,08 $\mu\text{Sv.h}^{-1}$.
 - Les niveaux mesurés sur la Bauxaline® recouverte de terre végétale sont semblables à ceux mesurés dans le milieu naturel local, hors présence de Bauxaline® ou Bauxite, soit 50 à 70 c.s^{-1} SPP2 ou 0,08 $\mu\text{Sv.h}^{-1}$.
- Sur le minerai de Bauxite, les niveaux suivants peuvent être mesurés au contact :
 - débit de photons : 100 à 110 c.s^{-1} SPP2
 - débit de dose externe : 0,20 $\mu\text{Sv.h}^{-1}$.

Les débits de dose mesurés ne montraient pas d'impact sanitaire. A titre d'exemple, il serait nécessaire pour une personne du grand public de séjourner plus de 2 380 heures sur un tas de Bauxaline® non recouvert pour atteindre la valeur de dose externe de 1 mSv à partir de laquelle une personne du grand public est considérée comme exposée au rayonnement ionisant. Une telle situation n'existe pas.

Les analyses par spectrométrie gamma effectuées par ALGADE sur un échantillon de Bauxaline® et d'eau ayant percolée dans le dépôt montrent :

- la présence dans la Bauxaline® des radionucléides naturels des chaînes de l'uranium et du thorium, sensiblement en équilibre radioactif, avec un niveau d'activité massique d'environ 0,20 Bq.g^{-1} pour la chaîne de l'uranium 238 et 0,40 Bq.g^{-1} pour la chaîne du thorium 232,
- l'absence dans les eaux de percolation de la Bauxaline® (drain Valabre) de radionucléides ayant pu être entraînés (principalement le radium 226 et l'uranium avec $\text{Ra226} < 0,02 \text{ Bq.l}^{-1}$, $\text{U} = 0,01 \text{ mg.l}^{-1}$).

2.3.3. Calcul d'impact radiologique du dépôt à terre de BAUXALINE®

Cette étude a été menée d'avril à novembre 2005 sur le site de MANGE-GARRI par la Société ALGADE ayant mis en évidence la présence de radioactivité naturelle renforcée dans la Bauxaline®. Cette étude a été menée conformément au guide méthodologique de gestion des sites industriels potentiellement contaminés par des substances radioactives version de mai 2001 par l'IPSN pour le compte des ministères chargés de l'environnement et de la santé :

Terme source :

- Activités en radionucléides naturels issues des analyses du 3 février 2005 pour la Bauxaline® et les eaux,
- Mesures complémentaires sur 6 mois du débit d'équivalent de dose ambiant (émetteurs gamma) faite à l'aide d'un réseau de dosimètres thermo luminescents (résultats en nSv.h⁻¹),
- Mesure complémentaires sur 6 mois de l'exposition interne due à l'inhalation des descendants à vie courte du radon 222 et du radon 220 via un réseau de dosimètres alpha de site (résultats dits d'EAP « Energie Alpha potentielle » en mJ.m⁻³.h),
- Mesures complémentaires sur 6 mois de l'exposition aux émetteurs alpha à vie longue présents dans les poussières en suspension dans l'air via un réseau de dosimètres alpha de site (mBq.m⁻³).

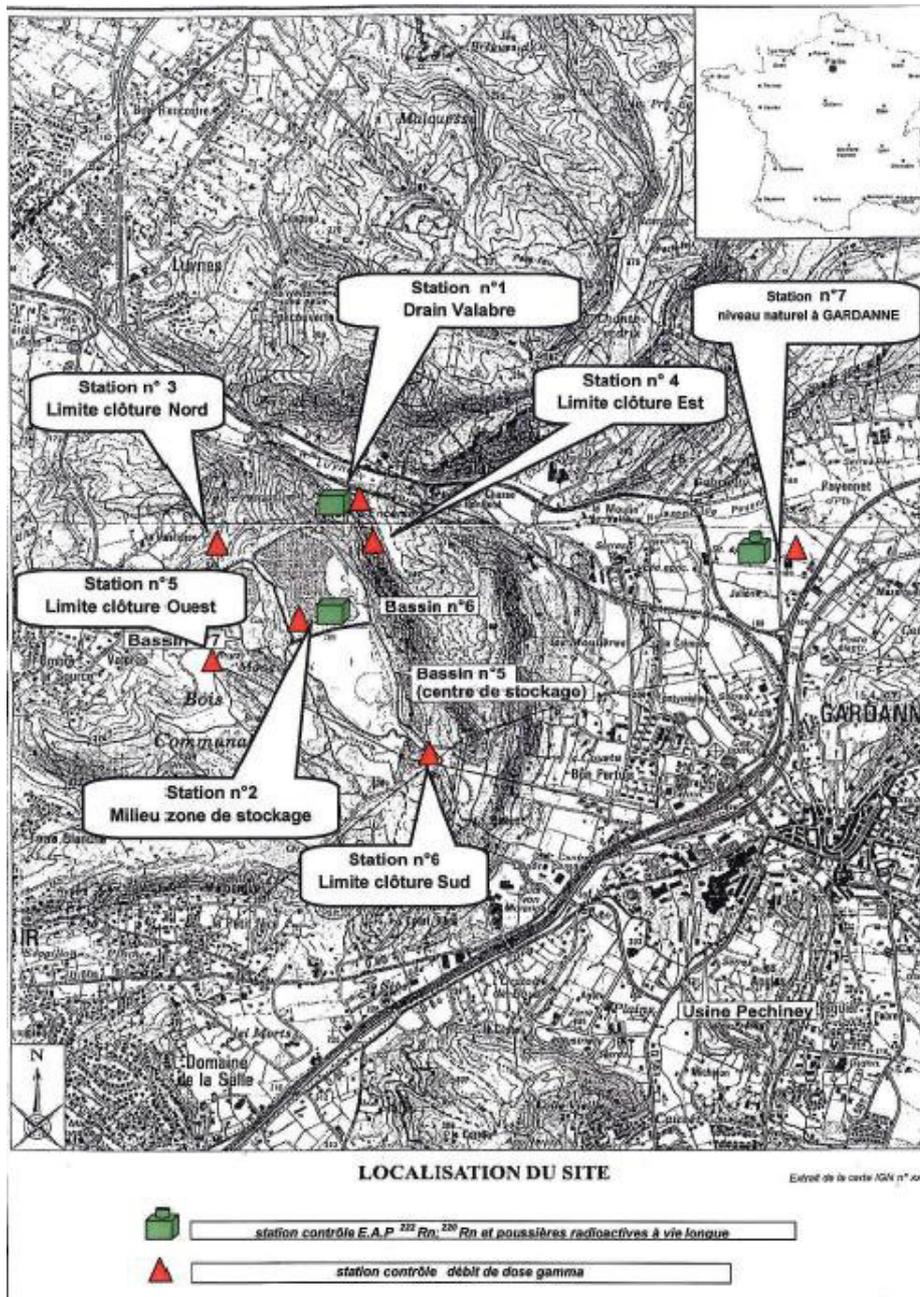


Figure 11 : Réseau de surveillance radiologique du site mis en place par ALGADE

Voies d'exposition/transfert

Trois voies ont été considérées :

- l'exposition externe due aux rayonnements gamma,
- l'exposition interne due à l'inhalation des émetteurs alpha descendants à vie courte du radon 222 et radon 220,
- l'exposition interne due à l'inhalation des poussières en suspension dans l'air et contenant des émetteurs alpha à vie longue.

Les risques d'exposition interne liés à l'ingestion de radionucléides par consommation d'eaux ou de légumes de jardin sont considérés dans l'environnement du dépôt de Bauxaline® comme très faibles et ne sont pas pris en compte dans le cadre de cette étude.

Cibles

- Groupe de référence n° 1 : Personnes du public séjournant dans les habitations les plus proches du site (dans vallon en contrebas du stockage) avec 6300 heures à l'intérieur de la maison et 800 heures dans le jardin,
- Groupe de référence n° 2 : Agents travaillant sur le site avec un nombre maximal d'heures d'exposition par an de 2000 heures.
- Groupe de référence n° 3 : Personnes du public susceptibles de séjourner épisodiquement dans l'environnement proche du site (exemple : promeneur le long du chemin longeant le dépôt en limite de propriété) avec un nombre maximal d'heures d'exposition par an : 200 heures.

Résultats

Les niveaux moyens mesurés dans le milieu naturel sont égaux à :

- 36 nJ.m⁻³ pour EAP Rn222,
- 14 nJ.m⁻³ pour EAP Rn220,
- < 0,3 mBq.m⁻³ pour l'activité volumique des émetteurs alpha à vie longue,
- 60 nGy.h-1 pour le débit d'équivalent de dose ambiant.

Les niveaux radiologiques mesurés en supplément du niveau naturel et le calcul par ALGADE des doses efficaces ajoutées pour chaque groupe de référence sont les suivants :

Groupe de référence	Niveau moyen radiologique susceptible d'être rencontré en supplément du niveau naturel Résultats de la campagne de mesure du 13/04/05 au 03/11/05					Temps d'exposition annuel en h	Dose efficace annuelle ajoutée au niveau naturel mSv
	N° stations représentatives	DEAP Rn222 nJ.m ⁻³	DEAP Rn220 nJ.m ⁻³	DEAVL mBq.m ⁻³	DDDg nSv.h-1		
1 - public	1	0	0	0	10	800 h ext. 6300 h int.	0.008
2 - travailleurs	2	0	1	0	40	2000 h	0.08
3 - promeneurs	1, 3, 4, 5, 6	0	0	0	10	200 h	0.02

Note : Pour alléger le tableau, il n'est pas fait mention de l'incertitude des mesures

Tableau 7 : Evaluation de l'impact radiologique, ALGADE 2005

Les résultats de la campagne de mesures menée sur le dépôt de Bauxaline® à MANGE-GARRI et dans son environnement proche montrent que :

- la dose efficace annuelle susceptible d'être reçue en supplément du niveau naturel par les personnes du public constituant les groupes de référence ne peut pas dépasser le dixième de la valeur de 1 mSv préconisée par la directive n°

86/29/Euratom comme limite de dose efficace due à une pratique pour les personnes du public et reprise dans la réglementation française dans le cadre du code de la santé publique et du code du travail,

- une étude concernant les travailleurs de l'usine est programmée par ALGADE.

Les résultats de cette étude seront repris tels quels dans le volet sanitaire de l'étude d'impact : analyse des impacts de l'installation sur la santé réalisé par IDE Environnement en 2006.

2.3.4. Résultats d'analyses de boues, bauxite et Bauxaline® antérieurs à 2005

En aout 2005, ALCAN réalise la synthèse des analyses disponibles en vue de statuer si les activités bénéficient des seuils d'exemption pour l'application de l'article R1333-27 du recueil des dispositions législatives et réglementaires concernant la protection de la population et des travailleurs contre les dangers des rayonnements ionisants du code de la santé publique.

Ce faisant des résultats de mesure antérieurs à 2005 sont présentés et sont les suivants :

Année	Type	Référence	Famille 238U (Bq/kg)			Famille 232th (Bq/kg)		40K (Bq/kg)
			238U	214Bi	214Pb	228Ac	208Ti	
1993	Boues	Sol-boues	380	331	380	759	686	< 29
1993	Boues	Liq-boues	< 5	< 5	< 5	< 8	< 7	< 24
1993	Bauxite	Bauxites	60	48	60	131	105	< 16
1997	Résidu inerte	Lagune 1995	< 500	300	300	500	400	10
2002	Bauxaline®	BH-30	236	215	201	414	399	50
2002	Bauxite	BOKE-ST5 19-1	76	65	71	158	150	15
2004	Boues	Boues gardanne	281	201	184	463	437	43
2005	Bauxaline®	ALCA BA1	170	250	250	390	360	< 13

Note : Pour alléger le tableau, il n'est pas fait mention de l'incertitude des mesures

Tableau 8 : Mesures antérieure à 2005, données ALCAN

Sur ces mesures :

- les 2 descendants des deux principales familles 238U et 228Th sont en équilibre ce qui démontre la non présence de radioactivité artificielle,
- les activités massiques mesurées dans les résidus issus du procédé de traitement de la bauxite de Boké ont une activité massique 2 fois supérieure en moyenne à celles des bauxites,
- Les activités massiques des différents échantillons de résidus prélevés depuis 1993 montrent peu de variations de leur activité.

Ce faisant, les données passées sont cohérentes avec les données ALGADE de 2005 et il a été considéré une activité enveloppe de la Bauxaline® :

- 300 Bq/kg pour la famille de l'uranium 238U,
- 600 Bq/kg pour du thorium 232Th, et
- 50 Bq/kg pour le potassium 40 K.

Le décret n°2002-460 du 04 avril 2002, relatif à la protection générale des personnes contre les dangers des rayonnements ionisants, définit des seuils d'exemption par radionucléides en dessous desquels l'établissement n'est pas soumis à autorisation.

Radionucléide	Activité totale inférieure à : (Bq)	Activité massique inférieure a : (Bq/kg)
Uranium 238U	1 000 000	100 000
Thorium 232Th	10 000	1 000
Potassium 40 K	10 000	10 000

Note : Pour alléger le tableau, il n'est pas fait mention de l'incertitude des mesures

Tableau 9 : Extrait code de la santé publique, annexe 2 – seuils d'exemption pour l'application de l'article R-1333-27

Les conditions concernant les activités massiques sont respectées, mais compte tenu des volumes de matière contaminée le deuxième critère en quantité n'est pas respecté.

2.3.5. *Etude des problèmes de radioprotection liés à l'utilisation de produits contenant des radionucléides naturels*

En décembre 2006 puis mars 2007, la société ALGADE est intervenue sur le site de Gardanne afin de réaliser une étude selon L'arrêté ministériel du 25 mai 2005. En effet, les activités exercées par le site de Gardanne entrent dans la catégorie 2 définie dans cet arrêté, soit « le traitement des minerais d'étain, d'aluminium... ». Ces activités citées par l'arrêté du 25 mai 2005 relèvent également de la rubrique 2910 de la nomenclature des installations classées et citée par la circulaire du 11 juillet 2005 du ministre de l'écologie et du développement durable relative aux activités professionnelles mettant en œuvre des matières premières contenant naturellement des radionucléides.

L'étude, dont les modalités de réalisation sont définies dans l'arrêté de mai 2005, a été menée par ALGADE, avec des mesures complémentaires :

- Cartographie gamma de l'usine,
 - valeur de référence zone de bureaux Sécurité/Environnement : 40 c/s SPP2 en ambiance,
 - valeur maximale mesurée : 180 c/s au contact de la Bauxaline® après le filtre presse,
 - autres valeurs « singulières » :
 - ✓ 150 c/s au contact des tartres de nettoyage des autoclaves,
 - ✓ 140 c/s au niveau des stocks de bauxite,
 - ✓ 110 c/s au contact de la base des décanteurs/laveurs,

- Huit (8) analyses en laboratoire dont certaines sur de la Bauxaline®,
- Une Campagne de mesures des ambiances de travail (Poussières, débit de doses par dosimètres TDL, Mesures du radon).

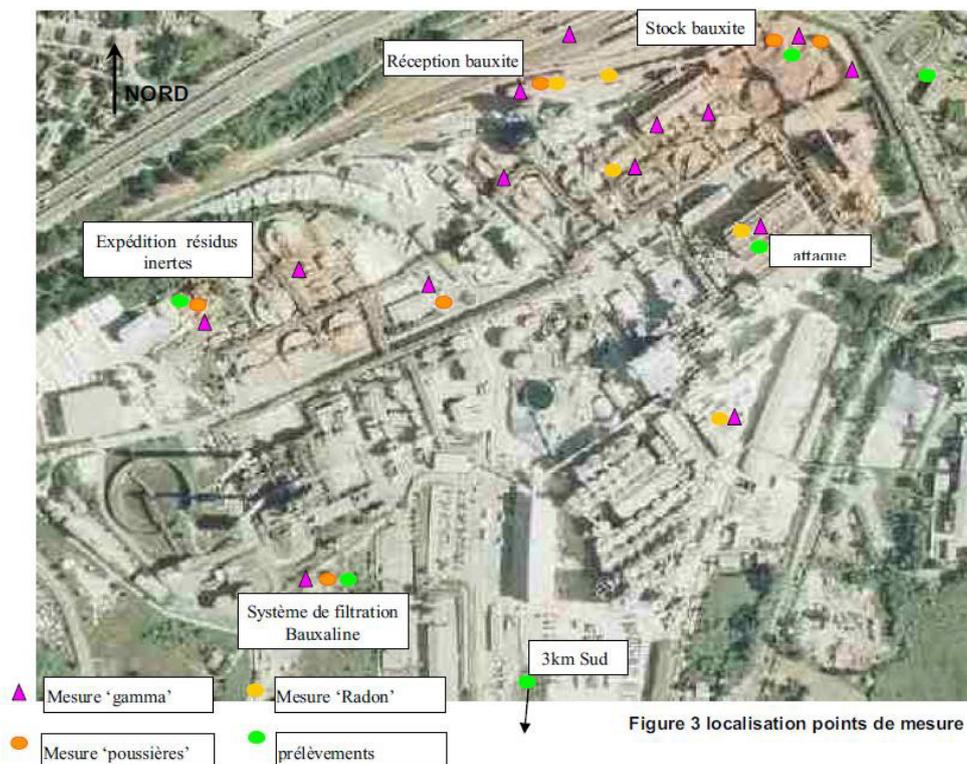


Figure 12 : Localisation des points de mesure ALGADE de 2006

ALGADE conclu de ces résultats d'analyses :

- qu'il existe un terme source d'exposition externe limité aux zones du process mettant en œuvre la bauxite et la Bauxaline®,
- que le terme source en radon est négligeable mais qu'il existe un risque poussière à considérer.

L'évaluation des expositions des travailleurs est conforme à l'état de l'art et a pour conclusions :

- Volet Travailleurs :

- « On constate que dans les conditions de travail rencontrées les 15 et 16 mars 2007 et en considérant des scénarii d'exposition réalistes, les expositions susceptibles d'être reçues par les agents sont inférieures à la valeur de 1 mSv/an en supplément du niveau naturel au-dessus de laquelle la réglementation française considère les travailleurs comme exposés aux rayonnements ionisants. Plus précisément, il apparaît que les personnes le plus exposé sont les agents au dépotage de train avec une valeur maximale de l'ordre de 0,3 mSv/an (sans considération de port d'EPI), avec une prépondérance du risque d'inhalation de 'poussières'. Le cas du scénario des agents de maintenance de la zone bauxite est

du même ordre de grandeur, avec une part d'exposition externe plus importante compte tenu du travail au contact des installations. »

- Comme préconisations :
 - ✓ limiter la manipulation au contact des produits Bauxaline®, tartres, et les stocker hors des voies de circulation courantes,
 - ✓ pour garantir les faibles niveaux de risque d'exposition interne dus à la manipulation de produits pulvérulents, préconiser et garantir le port d'EPI au cours de ces opérations spécifiques.
- Volet Riverains : Concernant les mesures effectuées en limite de propriété, compte tenu d'un scénario d'exposition du public de type résidence, on peut évaluer l'exposition du groupe de référence constitué par les riverains de l'usine à 0,08 mSv (avec un scénario d'exposition de 6300 h, 40 nSv/h de Débit de dose ambiant et 0,7 mBq/m³ comme activité des poussières).
- Pour le cas du stockage de Bauxaline® de Mange-Garri, le dossier d'étude d'impact réalisé en 2005 conclut sur le fait que l'impact radiologique potentiel sur la population était inférieur à 1 mSv/an.

Le tableau suivant présente une synthèse des résultats des analyses réalisées en 2006 pouvant être utiles à la présente étude.

Echantillon	Activités massiques en Bq/kg				Observations
	Chaîne de l'uranium 238 (ex : Th234)	Chaîne de l'uranium 235	Chaîne du thorium 232 (ex : Ra228)	Potassium 40	
Bauxite 1	< 180	< 100	130	200	
Bauxite 2	70	< 50	90	100	
Bauxaline® 1	< 200	< 80	490	< 300	
Bauxaline® 2	170	< 50	340	< 130	
Tartre 1	210	< 50	160	< 140	Déséquilibre U238/Ra226 (0,09 Bq/g)
Tartre 2	550	30	360	30	Déséquilibre U238/Ra226 (0,15 Bq/g)
Terre limite site 0-10 cm	50	< 50	40	30	
Terre limite site 10-20 cm	70	< 60	40	34	
Environnement 3 km	60	< 40	30	32	

Note : Pour alléger le tableau, il n'est pas fait mention de l'incertitude des mesures

Tableau 10 : Résultats des analyses radiologiques de 2006

Ces résultats d'analyses confirment les mesures réalisées de 2002 à 2005. A partir d'une bauxite relativement pauvre en radionucléides (de l'ordre de 0,1 Bq/g en U238 et Th232), on peut obtenir au cours du process industriel des composés :

- comme le tartre d'autoclave à environ 0,4 Bq/g en U238 et Th232 mais avec un déséquilibre apparent en Ra226,
- ou comme le résidu industriel principal, la Bauxaline®, avec peu de variation pour la chaîne de l'U238 et une activité pour la chaîne du Th232 de 0,4 Bq/g,
- Au moins 30 Bq/kg de potassium 40 se retrouvent dans l'environnement proche et éloigné du site.

2.3.6. Rapport de l'autorité de sureté nucléaire de 2009

Dans son bilan sur la gestion des déchets contenant de la radioactivité naturelle renforcée, l'ASN évoque le site de Mange Gari et fait une synthèse des données en sa possession :

- Le stockage est exploité depuis 1950 et a reçu environ 130 000 tonnes de boues en 2008 (Courrier du 30 janvier 2009 de la DRIRE Provence Alpes Côte d'Azur, Groupe de Subdivisions des Bouches-du-Rhône, Bilan des solutions de gestion des déchets contenant de la radioactivité naturelle renforcée).
- L'activité des boues stockées mesurée par la société ALGADE en mars 2005 est inférieure à 0,2 Bq/g pour l'uranium 238 et comprise entre 0,3 et 0,5 Bq/g pour le thorium 232 (ALCAN site de Gardanne (13) — production d'alumine, Etude des problèmes de radioprotection liés à l'utilisation de produits contenant des Radionucléides naturels, rapport ALGADE d'août 2007),
- Selon les rapports ALGADE :
 - l'impact environnemental des rejets en mer est pilotée par un comité scientifique de suivi (Les volumes rejetés depuis 1986 sont estimés à environ 9 millions de tonnes, avec environ 700 000 tonnes rejetées en mer entre 2006 et 2008 et l'activité des boues mesurée par la société ALGADE en novembre 2007 est inférieure à 0,07 Bq/g pour l'uranium 238 et de 0,05 pour le thorium 232),
 - le projet de valorisation des boues sous la forme de « Bauxaline® » a été approuvé par ce comité scientifique de suivi, et que,
 - le stockage sous forme de terrils a fait l'objet d'un dossier d'étude d'impact qui a conclu que l'impact radiologique sur la population était inférieur à 1 mSv/an

L'ASN s'interroge :

- Sur la juste prise en compte des boues et des tartres dans les études d'impact et valorisation des déchets,
- Sur les modalités de surveillance de l'environnement des sites après les études ALGADE de 2005, 2006 et 2007.

2.3.7. Suivi du site conduit par ALGADE de 2008 à 2012

La surveillance du site confiée au laboratoire ALGADE est la suivante :

- Mise en place d'une station dosimétrique au niveau de la station du drain valabre avec mesure trimestrielle des Débits de doses, Energies Alpha potentielles dues au radon (EAP Rn 222 et EAP Rn 220), activité alpha des poussières,
- Prises épisodiques (5) d'échantillons de boues, Bauxaline® et bauxite en vue d'analyse
- 2 analyses radiochimiques en 2005 et 2008 (forme solubles et insolubles du radium et de l'uranium)
- Analyses tous les deux ans environ des eaux par spectrométrie gamma. Il s'agit d'une méthode moins précise que la précédente mais elle permet de détecter une éventuelle anomalie radiologique.

Les résultats sont présentés ci-après.

2.3.7.1. Air

Les résultats du suivi trimestriel de la qualité de l'air varient peu et ne remettent pas en cause les conclusions de l'étude d'impact de 2005 réalisée par ALGADE : absence d'impact radiologique significatif dans l'environnement en regard du vecteur de transfert « air » du stockage de Bauxaline® sur le site RIO TINTO ALCAN de Mange-Garri.

Niveau moyen radiologique rencontré en supplément du niveau naturel Moyennes des campagnes de mesures au drain Valabre				
Années	EAP Rn222 nJ.m⁻³	EAP Rn220 nJ.m⁻³	Poussières mBq.m⁻³	Débit d'équivalent de dose nSv.h-1
2005	30	10	< 0.3	70
2007/2008	36	14	0.1	90
2009	19	8	0.1	50
2010	31	9	0.2	80
2011	34	13	0.2	80
2012	34	12	0.2	70

Note : Pour alléger le tableau, il n'est pas fait mention de l'incertitude des mesures

Tableau 11 : Résultats du suivi trimestriel de la qualité de l'air au drain valabre

A des fins de comparaison, un «bruit de fonds avait été prélevé en 2005 à Gardanne.

Niveau moyen radiologique rencontré en supplément Groupe de du niveau naturel				
Moyennes des campagnes de mesures station milieu naturel de Gardanne				
Années	EAP Rn222 nJ.m ⁻³	EAP Rn220 nJ.m ⁻³	Poussières mBq.m ⁻³	Débit d'équivalent de dose nSv.h-1
2005	36	14	< 0.3	60

Note : Pour alléger le tableau, il n'est pas fait mention de l'incertitude des mesures

Tableau 12 : Résultats de la station dite du milieu naturel à Gardanne

Ces résultats montrent l'absence d'une problématique liée au radon sur le site et nous permettent d'évaluer les résultats du modèle pour les débits de dose liées aux poussières dans l'air et déposées.

2.3.7.2. Boues, bauxite et Bauxaline®

Depuis 2006, 5 échantillons ont été prélevés par le site, analysés par ALGADE, avec des activités conformes à l'attendu des produits qui ont peu variés.

Année	Echantillon	Activités massiques en Bq/kg				Observations
		Chaîne de l'uranium 238 (ex : Th234)	Chaîne de l'uranium 235	Chaîne du thorium 232 (ex : Ra228)	Potassium 40	
2006	Bauxite	< 180	< 100	130	< 300	
2006	Déchets résidus « RI »	< 200	< 80	410	100	
2009	Bauxaline®	273	-	624	-	
2011	Boue de bauxite	170	-	501	-	
2011	Bauxaline®	276	-	612	-	

Notes : - non mesuré car activités basses au BDF

Pour alléger le tableau, il n'est pas fait mention de l'incertitude des mesures

Tableau 13 : Résultats d'analyses de produits entre 2006 et 2011

Le terme source de la Bauxaline® reste celui défini dès 2005, à savoir :

- 300 Bq/kg pour la famille de l'uranium 238U,
- 600 Bq/kg pour du thorium 232Th.

2.3.7.3. Eaux de drainage du dépôt

Les résultats d'analyses radiochimiques réalisées en 2005 et 2008 montrent un léger marquage en Uranium des eaux avec environ 10 µg/l d'uranium sur la fraction soluble. Les analyses complémentaires en spectrométrie gamma ne mettent pas en évidence de marquage particulier en regard de la chaîne radioactive du Thorium 232.

Au fil des ans, on ne constate pas de différence significative entre analyses.

Analyse radio-chimiques Campagnes de mesures au drain Valabre				
Années	Ra226 Soluble Bq/l	Ra226 Insoluble Bq/l	Uranium soluble µg/l	Uranium insoluble µg/l
2005	< 0.02	< 0.02	11	< 10
2008	0.01	< 0.02	9.1	< 1

Note : Pour alléger le tableau, il n'est pas fait mention de l'incertitude des mesures

Tableau 14 : Analyses radio-chimique des eaux de la station valabre

Année	Echantillon	Activités mesurées par spectrométries en Bq/l				Observations
		Chaîne de l'uranium 238 (ex : Th234)	Chaîne de l'uranium 235	Chaîne du thorium 232 (ex : Ra228)	Potassium 40	
2008	Valabre	< 0.46	< 0.34	< 0.06	< 0.71	
2010	Valabre 2	< 0.06	< 0.041	< 0.008	0.49	
2011	Eau	< 0.04	< 0.05	< 0.01	< 0.09	
2013	Eau	0.13	< 0.05	0.09	0.71	

Notes : - non mesuré

Pour alléger le tableau, il n'est pas fait mention de l'incertitude des mesures

Tableau 15 : Analyses par spectrométrie des eaux de la station valabre

Ces résultats tendent à montrer l'absence d'une problématique liée aux eaux rejetées par le dépôt.

3. Evaluation des risques sanitaire liés à une exposition chimique et radiologique

3.1. Méthodologie mise en œuvre

Le présent rapport développe les quatre étapes préconisées pour la réalisation d'une l'Evaluation des Risques Sanitaires de l'Etude d'Impact :

- l'identification des dangers,
- la présentation des relations dose-effet pour les substances à effet potentiel,
- l'évaluation de l'exposition,
- la caractérisation du risque sanitaire,

Ces quatre étapes sont suivies d'une discussion des incertitudes.

Le modèle d'évaluation des risques pour la santé repose sur le concept « sources-vecteurs-cibles » illustré par le schéma ci-dessous.

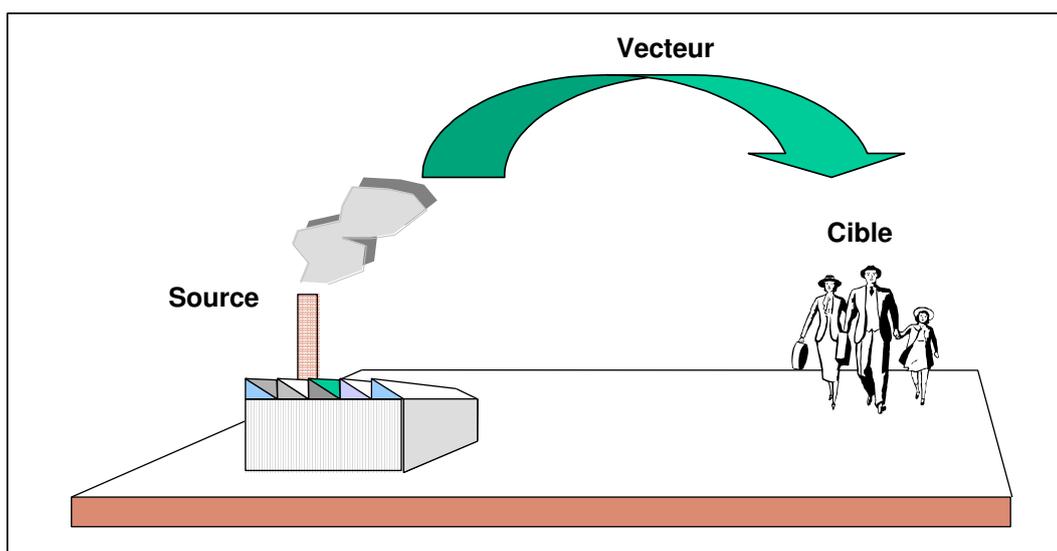


Figure 13: Illustration du concept « Source – Vecteur – Cibles »

La connaissance du procédé industriel a permis de répertorier les sources potentielles de danger.

Pour les émissions atmosphériques, la concentration au point d'exposition a été évaluée par un modèle de dispersion dans l'atmosphère de poussières.

Les quantités de substances auxquelles sont exposées les populations (doses absorbées) ont été estimées par des modèles de transfert à partir des concentrations évaluées au point d'exposition.

Le schéma suivant est un synoptique détaillé de la méthodologie générale mise en œuvre dans les évaluations de risque sanitaire.

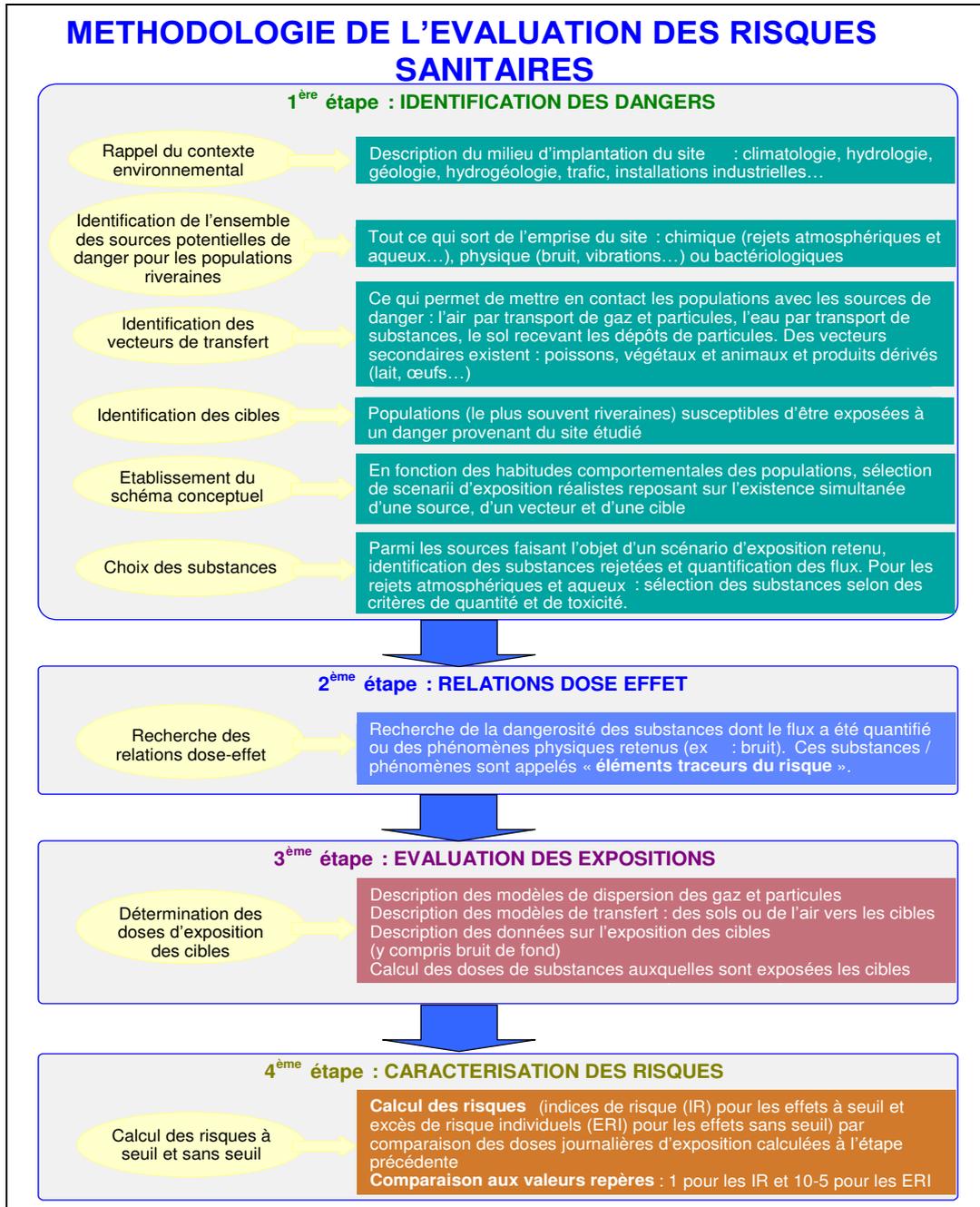


Figure 14 : Synoptique de la démarche mise en œuvre

3.2. Identification des dangers

Les activités de la décharge de Mangegarri à l'origine d'émissions atmosphériques de poussières sont :

- les opérations de chargements et déchargements au niveau du filtre presse 23, du bassin 5 et du bassin 6,
- les phénomènes d'érosion survenant sur les bassins 5, 6 et 7 et les stockages provisoires du filtre presse 2,
- la circulation des camions sur les pistes.

Afin de quantifier les émissions atmosphériques, nous nous sommes basés sur les équations de l'AP 42. Deux granulométries ont été considérées les PM 2,5 µm et les PM < 10 µm. En effet, selon l'US-EPA, les particules de taille supérieure à 100 µm se déposent sur une courte distance (à environ 10 mètres de l'émission). Celles comprises entre 30 et 100 µm vont à une cinquantaine de mètres de la source d'émission.

Comme indiqué au chapitre 2.2.1.1 les analyses granulométriques pratiquées au mois d'août 2012 sur le site⁴ indiquent que les poussières dans l'ensemble ont un diamètre supérieur à 2 µm. Cette même étude recommande de suivre les PM 10 dans le cadre du suivi environnemental.

L'exploitation des bassins 5 et 6 ne se fera pas simultanément. Le bassin 6 sera d'abord exploité puis le bassin 5.

3.2.1. Flux émis par les opérations de chargement et de déchargement

Les sources principales d'émission de poussières lors des opérations de manipulations sont :

- chargements des tombereaux et camions,
- opérations d'épandage.

³ Il est rappelé que le filtre presse 1 est implanté au sein de l'usine et non pas sur le site de Mangegarri

⁴ Evaluation des émissions diffuses du site de Gardanne et de la décharge de Mangegarri Burgéap 2013

Le calcul des émissions liées au chargement/déchargement des matériaux a été réalisé à l'aide de la formule établie dans le document AP 42 de l'US-EPA (§ 13.2.4 « Aggregate Handling And Storage Piles ») suivante :

$$FE = k \cdot 0,0016 \cdot \left(\frac{U}{2,2}\right)^{1,3} \cdot \left(\frac{M}{2}\right)^{-1,4}$$

Avec :

- FE : facteur d'émission en kg par tonne de matériaux manipulés, chargés ou déchargés,
- U : vitesse moyenne du vent (m/s),
- M : humidité relative du matériau (%),
- k : facteur multiplicatif fonction du diamètre aérodynamique des particules.

Les paramètres suivants ont été retenus lors de l'étude :

Paramètre	Valeur	Source
k	0,053	Valeur par défaut pour les particules de diamètre aérodynamique < 2,5 µm proposée dans le chapitre 13.2.4.3 du document AP-42 de l'US EPA
	0,35	Valeur par défaut pour les particules de diamètre aérodynamique < 10 µm proposée dans le chapitre 13.2.4.3 du document AP-42 de l'US EPA
U	2,32 m/s	Vitesse moyenne du vent (période 2010 - 2012)
M	4,8 %	Humidité moyenne relative des matériaux et agrégats ⁵

Tableau 16 : paramètres relatif au calcul du facteur d'émission des opérations de chargement et de déchargement

Le calcul des quantités de poussières émises se détermine en appliquant au facteur d'émission précédemment calculé le tonnage annuel manipulé. Il est à noter que le tonnage annuel de matériaux manipulés est de 295 248 t/an de matériaux au global (78 000 t/an issus du filtre presse 1, puis 217 248 t/an issus du filtre presse 2). Ce tonnage est réparti sur le bassin 6 dans un premier temps puis sur le bassin 5. Les deux bassins ne sont pas exploités en même temps.

⁵ Selon l'exploitant, le taux d'humidité en sortie de filtre presse est 30%. L'US-EPA donne un intervalle d'humidité à utiliser pour l'équation compris entre 0,25 % et 4,8%. Afin de se rapprocher le plus possible de la réalité, nous avons retenu le taux d'humidité maximal recommandé par l'US-EPA.

Les hypothèses de tonnage annuel suivantes ont été retenues

Source d'émission	Tonnage manipulé sur une année	Emission en PM 2,5 (kg/an)	Emission en PM 10 (kg/an)
Bassin 6 ou Bassin 5	295 248	8	52
Filtre-presse n° 2	217 248	6	38

Tableau 17 : Calcul des flux émis pour les activités de chargement et de déchargement

3.2.2. Flux émis par l'érosion des stockages

Le calcul de l'émission de poussières via l'action du vent se produit sur le bassin 5, le bassin 6, la plage du bassin 7 ainsi que sur les stockages en sortie du filtre presse n°2.

Concernant la plage du bassin 7 un dépôt de compost a été effectué sur la moitié de la plage; l'autre moitié est arrosée et sera recouverte de compost d'ici fin 2013. La seule partie susceptible d'émettre des poussières est la partie découverte liée aux variations de niveau du bassin. Cette partie découverte a été retenue comme source d'émission.

Les émissions ont été calculées sur la base du document AP 42 de l'US-EPA (§ 13.2.5 « *Industrial Wind Erosion* »).

Ce document indique les équations suivantes :

$$E = FE \cdot S$$

Avec :

- E : émissions annuelles de polluants (g/an)
- FE : facteur d'émission (g/m²)
- S : surface (m²)

Le facteur d'émission est calculé de la manière suivante :

$$E = k \cdot P$$

Où :

- K est le facteur dépendant de la taille des particules considéré
- P : potentiel d'érosion total. Le potentiel d'érosion total est égal à la somme des potentiels d'érosion entre deux perturbations des surfaces soumises à l'érosion éolienne (g/m²).

Chaque potentiel d'érosion se calcule sur la base de la formule suivante :

$$P_i = 58 \cdot (u_i - u_t)^2 \cdot s_i \cdot u_i > u_t$$

$$P_i = 0 \cdot s_i \cdot u_i < u_t$$

Avec $u_i \equiv 0,053 \cdot u_{i10}$

Ou

- u_i : vitesse de frottement (m/s)
- u_t : vitesse limite de frottement (m/s)
- u_{i10} : rafales de vents mesurées par un anémomètre à 10 m au-dessus du sol. Les rafales de vents sont celles mesurées par la station météorologique d'Aix les milles (à partir des vitesses maximales instantanées horaires des années 2010-2012).

Les différents paramètres retenus sont explicités ci-après :

Paramètres	Valeur	Justification
Surface bassin 6	130 000 m ²	Surface de stockage
Surface bassin 5	100 000 m ²	Surface de stockage
Surface de la plage du bassin 7	20 000 m ²	Surface de la partie découverte en basses eaux
Filtre Presse 2	57 m ²	Surface de stockage
K Pm 2,5	0,075	Valeur indiquée par l'AP 42
K Pm 10	0,5	Valeur indiquée par l'AP 42
u_t	0,54 m/s	Valeur de l'AP 42 donnée pour des poussières fines de charbon redéposées. A noter que la granulométrie de la Bauxaline® est < 80 µm avec 30 à 40 % < 1 µm.
P_i (bassin)	68,32	Au vu de la taille des bassins, nous avons pris comme hypothèse que chaque zone n'est manipulée qu'une seule fois. Ainsi, le potentiel d'érosion est égal à la vitesse maximale instantanée horaire sur les 3 années pour les bassins (27 m/s).
P_i (Filtre presse 2)	11926,59	Cette valeur correspond à la somme des potentiels d'érosion calculés sur la base des vitesses maximales instantanées horaires sur les 3 années.

Tableau 18 : paramètres utilisés pour le calcul des émissions liées à l'érosion

Le tableau ci-dessous présente les résultats des calculs d'émission liés à l'érosion.

Source d'émission	Emission en PM 2,5 (kg/an)	Emission en PM 10 (kg/an)
Bassin 6	666	4441
Bassin 5	512	3416
Bassin 7	51	341
Filtre-presse n° 2	51	340

Tableau 19 : Calcul des flux émis par l'érosion

3.2.3. Flux émis par la circulation sur le site

La circulations sur le site se fait sur des voies pavées ou non pavées. L'AP-42 donne des équations différentes pour ces différents types de voies. Il est rappelé que les 2 bassins ne seront pas exploités simultanément.

3.2.3.1. Circulation sur des voies non pavées

Les déplacements des engins de chantiers (tombereaux et dumpers) sont à l'origine d'envols de poussières sur le site.

Ces envols sont évalués en considérant la méthodologie établie par le document AP 42 de l'US-EPA (§ 13.2.2 « Unpaved Roads »). La quantité de PM10 et PM2,5 émises par le roulement d'un véhicule sur une piste s'estime par la formule suivante :

$$E = FE \cdot D$$

Avec

- E : Emissions annuelles de poussières (g/an)
- FE : facteur d'émission lié au trafic (g/km)
- D : distance parcourue par an (km/an)

$$FE = k \cdot \left(\frac{S}{12}\right)^{0,9} \cdot \left(\frac{W}{3}\right)^{0,45}$$

Avec :

- FE : quantité de poussières émises par le roulement des engins de chantiers sur les pistes (lb/mile)⁶ ;
- k : facteur multiplicatif caractérisant la granulométrie des poussières. Pour les PM 10, k est égal à 1,5 et pour les PM 2,5, k est égal à 0,15 ;
- S : teneur en limon du sol des pistes (%) ;
- W : poids moyen des engins (tonnes).

⁶ A noter : facteurs de conversion données par l'US-EPA : 0,45 kg/lb et 0,62 mile/km

Une pondération du facteur d'émission en fonction du nombre de jour présentant une pluviométrie supérieure à 0,254 mm peut être réalisée sur la base de l'équation suivante.

$$FE = FE \cdot \left(\frac{365 - P}{365} \right)$$

Où P est le nombre de jour où la pluviométrie dépasse 0,254 mm.

Les différents paramètres retenus sont explicités ci-après :

Paramètres	Valeur	Justification
S	25,2	La teneur en silt de la Bauxaline® est évaluée à 90 %. L'US-EPA donne des pourcentages de silt pour son équation compris entre 1,8% et 25,2%. Il est retenu dans la présente étude le pourcentage maximal
W	40 kg 15 kg	Poids moyen d'un camion à plein Poids moyen d'un camion à vide
P	146	Nombre de jours pour lesquels la pluviométrie est supérieure à 0,254 mm sur la base des données météo de 2010-2012
Distance sur le bassin 5	421 m	Distance maximale parcourue sur le bassin
Distance sur le bassin 6	467 m	Distance maximale parcourue sur le bassin
Nombre de camions en provenance du filtre press n°1 allant sur le bassin 6	3120	10 camions par jour sur 312 jours soit 3120 camions par an
Nombre de camions en provenance du filtre press n°2 allant sur le bassin 6	8690	217 248 t/an transportées avec des camions de 25 t soit un total de 8690 camions/an
Nombre de camions en provenance du filtre press n°1 allant sur le bassin 5	3120	10 camions par jour sur 312 jours soit 3120 camions par an
Nombre de camions en provenance du filtre press n°2 allant sur le bassin 5	8690	217 248 t/an transportées avec des camions de 25 t soit un total de 8690 camions/an
Distance totale parcourue sur le bassin 6 à plein	5 515 km/an	467 m * 3120 camions par an + 467 m * 8690 camion par an
Distance totale parcourue sur le bassin 6 à vide	5 515 km/an	467 m * 3120 camions par an + 467 m * 8690 camion par an
Distance totale parcourue sur le bassin 5 à plein	4971 k/an	421 m * 3120 camions par an + 421 m * 8690 camion par an
Distance totale parcourue sur le bassin 5 à vide	4971 k/an	421 m * 3120 camions par an + 421 m * 8690 camion par an

Tableau 20 : paramètres utilisés pour le calcul des émissions liées à la circulation sur les bassins

Le tableau ci-dessous présente les résultats des calculs d'émission liés à circulation sur les bassins.

Source d'émission	Emission en PM 2,5 (kg/an)	Emission en PM 10 (kg/an)
Bassin 6	278	2784
Bassin 5	250	2509

Tableau 21 : Calcul des flux émis par la circulation sur les bassins

3.2.3.2. Circulation sur des voies pavées

Les déplacements des camions sur les routes pavées empoussiérées du site sont à l'origine d'envols de poussières sur le site.

Ces envols sont évalués en considérant la méthodologie établie par le document AP 42 de l'US-EPA (§ 13.2. « Paved Roads ». La quantité de PM10 et PM2,5 émises par le roulement d'un véhicule sur une piste s'estime par la formule suivante :

$$E = FE \cdot D$$

Avec

- E : Emissions annuelles de poussières (g/an)
- FE : facteur d'émission lié au trafic (g/km)
- D : distance parcourue par an (km/an)

$$FE = k \cdot (sL)^{0,91} \cdot (W)^{1,02}$$

Avec :

- FE : quantité de poussières émises par le roulement des engins de chantiers sur les pistes (lb/mile)⁷ ;
- k : facteur multiplicatif caractérisant la granulométrie des poussières. Pour les PM 10, k est égal à 0,62 et pour les PM 2,5, k est égal à 0,15 ;
- sL : taux de charge de fraction fine (silt) sur la surface des routes (g/m²);
- W : poids moyen des engins (tonnes).

⁷ A noter : facteurs de conversion données par l'US-EPA : 0,45 kg/lb et 0,62 mile/km

Une pondération du facteur d'émission en fonction du nombre de jour présentant une pluviométrie supérieure à 0,254 mm peut être réalisée sur la base de l'équation suivante.

$$FE_{\text{corrigé}} = FE \cdot \left(1 - 1,2 * \frac{P}{N} \right)$$

Où

- P est le nombre d'heur de pluie où la pluviométrie dépasse 0,254 mm
- N est le nombre d'heure totale sur une année

Les différents paramètres sont explicités ci-après :

Paramètres	Valeur	Justification
SL	0,6	L'AP 42 donne les limites de validité du modèle suivantes : 0,03 à 400 g/m ² . Pour un nombre de véhicule journalier inférieur à 500, l'AP 42 recommande une valeur de sL de 0,6 g/m ² . cette valeur est donc retenue dans la présente étude
W	40 15	Poids moyens des camions en charge Poids moyens des camions à vide
P	282	Nombre d'heure de pluie sur 2010-2012
Distance entre l'entrée du site et le bassin 5	500 m	Distance maximale parcourue
Entré du site et filtre presse 2	590 m	Distance maximale parcourue
Distance entre l'entrée du site et le bassin 6	1 100 m	Distance maximale parcourue
Nombre de camions en provenance du filtre presse n°1 allant sur le bassin 6	3 120	10 camions par jour sur 312 jours soit 3120 camions par an
Nombre de camions en provenance du filtre presse n°2 allant sur le bassin 6	8 690	217 248 t/an transportées avec des camions de 25 t soit un total de 8690 camions/an
Nombre de camions en provenance du filtre presse n°1 allant sur le bassin 5	3 120	10 camions par jour sur 312 jours soit 3120 camions par an
Distance totale parcourue de l'entrée du site et le bassin 6 à vide	3 432 km/an	1100 m * 3120 camions par an
Distance totale parcourue de l'entrée du site et le bassin 6 à plein	3 432 km/an	1100 m * 3120 camions par an
Distance totale parcourue du filtre presse n°2 et le bassin 6 à vide	5 127 km/an	590 m * 8690 camions par an

Paramètres	Valeur	Justification
Distance totale parcourue du filtre presse n°2 et le bassin 6 à plein	5 127 km/an	590 m * 8690 camions par an
Distance totale parcourue de l'entrée du site et le bassin 5 à vide	1 560 km/an	500 m * 3120 camions par an
Distance totale parcourue de l'entrée du site et le bassin 5 à plein	1 560 km/an	500 m * 3120 camions par an

Tableau 22 : paramètres utilisés pour le calcul des émissions liées à la circulation sur les voies de circulation pavées

Le tableau ci-dessous présente les résultats des calculs d'émission liés à circulation sur les voies pavées.

Source d'émission	Emission en PM 2,5 (kg/an)	Emission en PM 10 (kg/an)
Bassin 6	41	169
Bassin 5	8	34

Tableau 23 : Calcul des flux émis par la circulation sur les voies pavées

3.2.4. Synthèse des émissions de poussières

Le tableau suivant récapitule les émissions de poussières susceptibles de se produire sur le site :

	Bassin 6		Bassin 5		Filtre presse 2		Bassin 7	
	PM 10 (kg/an)	PM 2,5 (kg/an)						
Mouvement de matériau	52	8	52	8	38	6	-	-
Envols du à l'érosion	4441	666	3416	512	340	51	342	51
Circulation sur routes pavées	169	41	34	8	-	-	-	-
Circulation sur routes non pavées	2784	278	2509	250	-	-	-	-

Tableau 24 : Bilan des émissions de PM10 et PM2,5 relatives aux sources d'émission de poussières

Les calculs de flux indiquent que l'érosion par le vent sur les 3 bassins est la source d'émission principale du site en termes de flux.

3.3. Composition chimique et radiologique de la Bauxaline®

3.3.1. Composition en éléments chimiques de la Bauxaline®

La Fiche de Données Sécurité transmise par ALTEO indique la composition suivante de la Bauxaline®

- Al₂O₃: 10-16%
- SiO₂: 5-8%
- TiO₂: 9-15%
- CaO: 3-8%
- Fe₂O₃: 45-53%
- Na₂O: 3-5%

Le FDS est donnée en Annexe A.

3.3.2. Composition en radioéléments

Pour les radioéléments et conformément aux résultats d'analyses du chapitre 2.3, Le terme source de la Bauxaline® est :

- 300 Bq/kg pour la famille de l'uranium 238U,
- 600 Bq/kg pour la famille du thorium 232Th,
- Familles à l'équilibre dénommées « 238Usec » et « 232Thsec »

3.4. Les vecteurs de transfert

Les vecteurs de transfert sont les milieux permettant de mettre en contact les sources potentielles de danger identifiées au paragraphe précédent avec les populations riveraines, appelées « cibles » par la suite.

3.4.1. L'air

L'air peut être considéré comme la principale voie de transfert des substances dangereuses identifiées. Il permet le transfert des poussières depuis les zones d'exploitation du site vers les populations.

L'air constitue le principal vecteur de transfert des poussières émises par les activités du site vers les populations avoisinantes.

3.4.2. Le sol du site

Le sol est un milieu récepteur de dépôt des particules issues de l'exploitation du site ; il peut devenir un vecteur d'exposition des populations avoisinantes.

L'accès au site est interdit.

De ce fait, le sol du site ne constitue donc pas un vecteur de transfert dans la présente étude.

3.4.3. Le sol hors site

Le sol hors site constitue un milieu récepteur des particules émises à l'atmosphère. Les populations alentours y sont directement exposées.

Le sol hors site peut donc devenir vecteur de transfert par mobilisation de particules par le vent ou en tant que milieu de croissance de végétaux consommés (après dépôt au sol des particules, celles-ci sont susceptibles de se bio-accumuler au sein de végétaux) par les populations alentours.

Certains composés, comme les métaux, peuvent être transférés au travers de la chaîne alimentaire (légumes et fruits autoproduits).

Compte tenu, de la nature des substances rejetées par l'exploitation du site (poussières et métaux) et de la présence de terre cultivée à proximité, le sol hors site est pris en compte comme vecteur de transfert dans la présente étude.

3.5. Les cibles

La zone d'étude retenue sur la base des précédente études réalisée est de 100 km² centrée sur le site de Mangegarri. Les communes concernées par cette zone d'étude sont les suivantes présentées sur la figure ci-dessous.

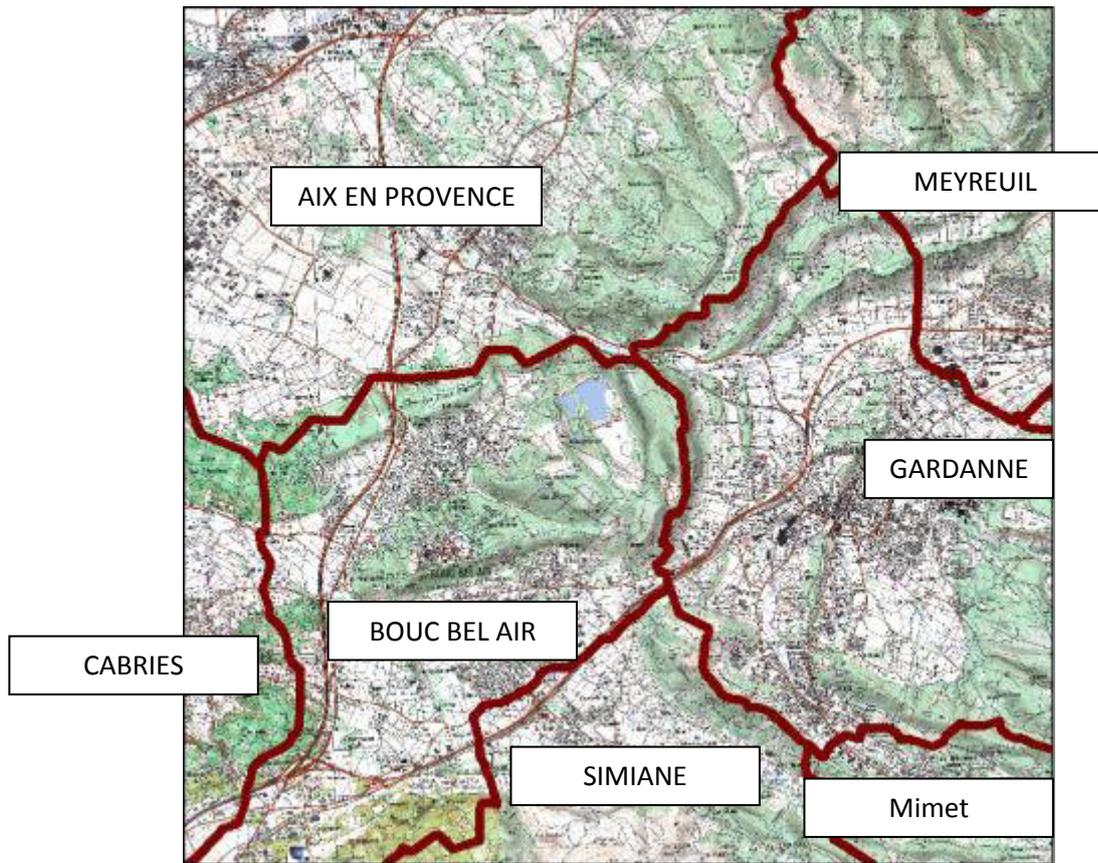


Figure 15 : Liste des communes situées dans la zone d'étude

3.5.1. La population générale

Selon le dernier recensement de l'INSEE en 2010, les populations des agglomérations avoisinantes (environ 5 km autour du site) se répartissent de la manière suivante :

Classe d'âges	Gardanne		Bouc Bel Air		Meyreuil	
	Nombre d'hommes	Nombre de femmes	Nombre d'hommes	Nombre de femmes	Nombre d'hommes	Nombre de femmes
< 3 mois	341	365	195	187	81	74
3 à 5 ans	373	392	204	254	97	105
6 à 10 ans	628	528	459	408	180	179
11 à 17 ans	914	825	606	677	270	258
18 à 24 ans	1053	854	465	415	235	198
25 à 39 ans	1850	1954	938	989	467	490
40 à 54 ans	2056	2393	1542	1675	647	687
55 à 64 ans	1155	1282	1045	1077	342	303
65 à 79 ans	1459	2053	1143	1399	295	388
Somme	9829	10645	6597	7082	2614	2681

Classe d'âges	SIMIANE		AIX EN PROVENCE		CABRIES	
	Nombre d'hommes	Nombre de femmes	Nombre d'hommes	Nombre de femmes	Nombre d'hommes	Nombre de femmes
< 3 mois	70	75	2021	1867	103	136
3 à 5 ans	99	76	1851	1857	161	142
6 à 10 ans	203	182	3143	3095	289	266
11 à 17 ans	277	252	5192	4888	460	395
18 à 24 ans	221	221	10169	12666	322	273
25 à 39 ans	392	463	14624	14155	627	666
40 à 54 ans	628	690	12189	13594	977	981
55 à 64 ans	380	362	7288	8861	564	640
65 à 79 ans	362	482	9463	14513	733	837
Somme	2632	2803	65940	75498	4236	4336

Classe d'âges	MIMET	
	Nombre d'hommes	Nombre de femmes
< 3 mois	60	56
3 à 5 ans	67	86
6 à 10 ans	144	124
11 à 17 ans	202	222
18 à 24 ans	209	148
25 à 39 ans	324	325
40 à 54 ans	557	590
55 à 64 ans	348	353
65 à 79 ans	324	382
Somme	2233	2286

Tableau 25 : Répartition en pourcentage de la population totale par tranche d'âge

3.5.2. Les populations sensibles

Les populations sensibles sont constituées des enfants, des personnes âgées ainsi que des personnes dont l'immunité est déficiente. Ces personnes sont susceptibles de développer plus facilement des pathologies.

Le tableau ci dessous présente la liste des établissements sensibles présents dans un rayon d'environ 6 km autour du site.

Réf sur la figure	Etablissement	Fonction	Capacité	Commune	Distance (km)
1	La Bergerie	Ecole maternelle et primaire privée Collège	/	Bouc Bel Air	1,5
2	Valabre	Lycée agricole	500 élèves	Gardanne	1,5
3	International Bilingual School of Provence	Ecole	/	Aix en Provence	1,6
4	Gratianne	Ecole maternelle	/	Bouc Bel Air	1,8
5	Fontvenelle - Multi-accueil La souris-Verte Fontvenelle Lucie Aubrac	Crèche + maternelle Primaire	41 places (crèche)	Gardanne	1,9
6	Les Pins	Ecole maternelle et primaire privée	/	Bouc Bel Air	2,4
7	Edouard Peisson	Ecole communale	/	Aix en Provence	2,4
8	EPIM	Ecole maternelle et primaire privée bilingues	/	Aix en Provence	2,4
9	Georges Duby	Lycée	/	Aix en Provence	2,5
10	Saint François d'Assise	Ecole privée Maternelle et Primaire Catholique	/	Aix en Provence	2,5
11	Collège Gabriel Péri Lycée de l'Etoile	Collège Lycée professionnel	/ 333 élèves	Gardanne	2,7
12	Multi-accueil La Farandole	Crèche	50 places	Gardanne	3
13	Les Aires	Ecole maternelle	/	Gardanne	3,1
14	La Salle	Ecole élémentaire	/	Bouc Bel Air	3,1
15	Edouard Labeille	Ecole maternelle	210 enfants	Simiane-Collongue	3,3
16	Le Pesquier	Collège	/	Gardanne	3,3
17	Ecole Saint Joseph	Ecole maternelle et primaire privée	215 élèves	Gardanne	3,5

Réf sur la figure	Etablissement	Fonction	Capacité	Commune	Distance (km)
18	Les Velines en Comptines Mutli Accueil Ecole Beausoleil Albert Bayet + Jacques Prévart Lycée Marie-Madeleine Fourcade	Crèche Ecole maternelle Ecole Primaire Lycée et enseignement supérieur (BTS)	24 places 1500 élèves	Gardanne	3,5
19	Ecole François Mitterrand	Collège	600 élèves	Simiane-Collongue	3,5
20	Ecole Georges Brassens	Collège	/	Bouc Bel Air	3,6
21	Les Pitchounets - Multi-accueil	Crèche	35 enfants	Simiane-Collongue	3,6
22	Ecole Georges Brassens	Ecole primaire	/	Gardanne	3,8
23	Les Marronniers - Multi-accueil	Crèche	15 enfants	Simiane-Collongue	3,8
24	Ecole des Mines – site Georges Charpak	Ecole d'ingénieurs en microélectronique	~350 étudiants	Gardanne	4
25	Les Terrils Bleus Paul Cézanne + Frédéric Mistral	Ecole maternelle Ecole primaire	/	Gardanne	4
26	Marius Roussel	Ecole élémentaire	386 élèves	Simiane-Collongue	4
27	Elsa-Triolet Château Pitty	Ecole maternelle Ecole primaire	/	Gardanne	4,1
28	Laurent Chazal	Ecole maternelle	/	Meyreuil	4,8
29	Virgile Arène	Ecole primaire	/	Meyreuil	4,8
30	Les Moulières	Ecole élémentaire	/	Mimet	5,1
31	Le Petit Lac	Ecole maternelle Ecole primaire	5 classes 10 classes	Cabries	5,3
32	Auguste Benoit	Ecole élémentaire	7 classes	Cabries	5,3
33	Les Chabauds	Ecole maternelle et primaire privée	/	Bouc Bel Air	5,6
34	Sainte Bernadette	Ecole élémentaire privée	/	Aix en Provence	5,6
35	Joseph Roumanille	Ecole élémentaire	/	Aix en Provence	5,7
36	Ecole d'ingénieurs	Arts et métiers paristech pôle méditerranéen de l'innovation	/	Bouc Bel Air	5,7

Tableau 26 : liste des établissements scolaires

Réf sur la figure	Etablissement	Fonction	Capacité	Commune	Distance (km)
1	Clinique La Chenaie	Centre de convalescence	/	Bouc Bel Air	1,8
2	Centré Acanthe	Centre médico psychologique	/	Gardanne	2,4
3	Centre François Billoux	Centre de santé mutualiste	/	Gardanne	3,1
4	Clinique Saint-Christophe	Centre hospitalier	/	Bouc Bel Air	3,1
5	Clinique La Lauranne	Clinique Psychiatrique	/	Bouc Bel Air	3,2
6	Centre Filieris	Centre de santé	/	Gardanne	3,6
7	La Maison	Centre de soins palliatifs	28 places	Gardanne	3,7
8	Centre Paul Cézanne	Centre de réadaptation fonctionnelle		Mimet	5,6

Tableau 27 : liste des établissements de santé

Réf sur la figure	Etablissement	Fonction	Capacité	Commune	Distance (km)
1	Le Domaine de l'Olivier	Maison de retraite	/	Gardanne	3,8
2	Korian Val des Sources	Maison de retraite médicalisée	/	Simiane-Collongue	3,9
3	Le Château de la Malle	Maison de retraite	/	Bouc Bel Air	5,8
4	Valgros	Maison de retraite	/	Aix en Provence	5,8

Tableau 28 : liste des établissements accueillant des personnes âgées

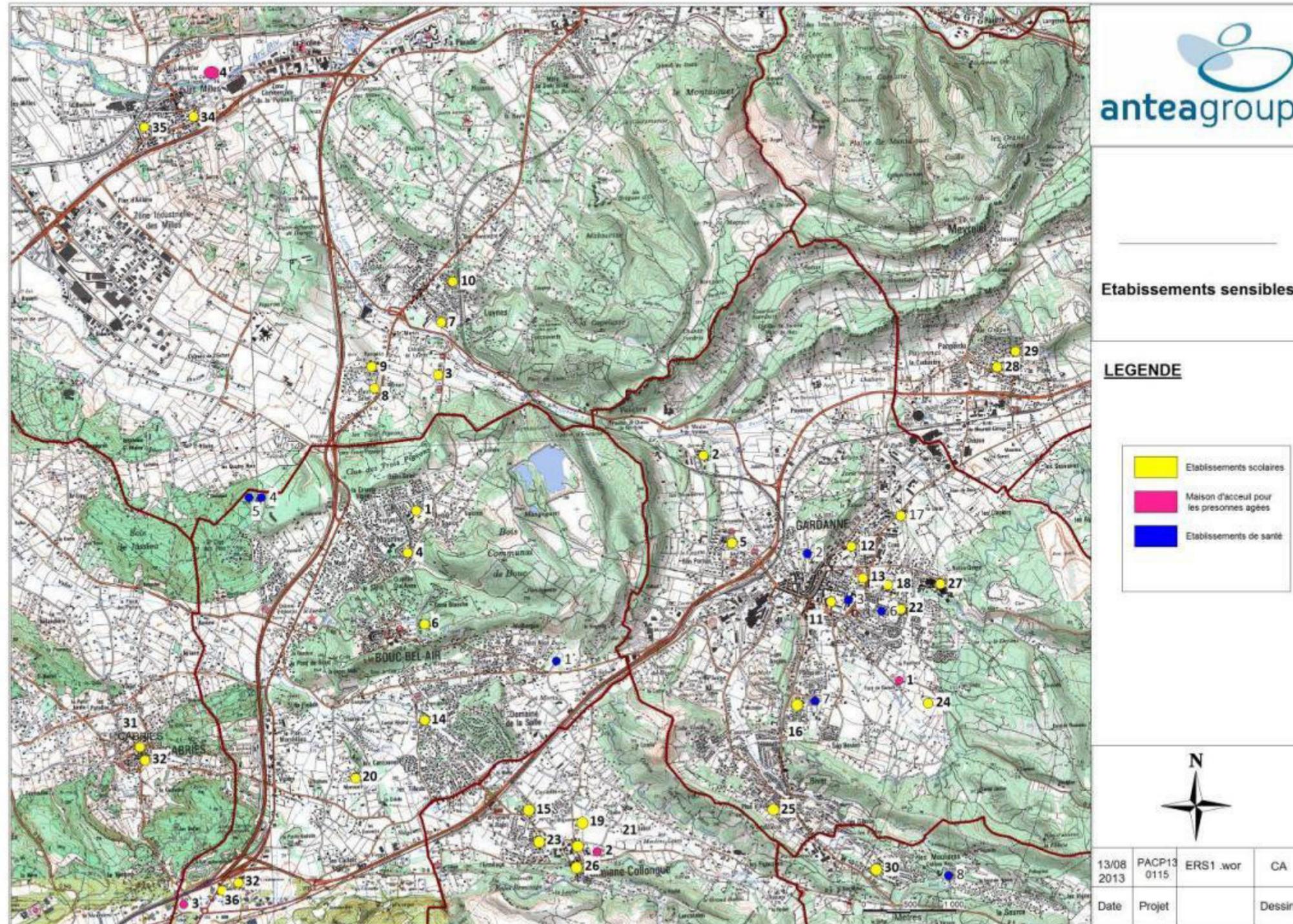


Figure 16 : Localisation des établissements sensibles

3.5.3. Etude de terrain

Par ailleurs une étude de terrain a été menée dans le périmètre proche (3,5 km) du site par repérage depuis la voie publique. Le but de cette enquête est de recenser les usages et de dénombrer le nombre d'habitations.



Figure 17 : Localisation de la zone sur laquelle l'étude de terrain a été menée

Cette étude a permis de mettre en évidence la présence de 1700 habitations dans le champ proche du site se répartissant comme indiqué dans le tableau suivant.

Communes	N° zone	Nombre d'habitations
Bouc Bel Air	1	450
	2	750
	3	4
	4	3
	5	6
	Maison isolée	1
Gardanne	7	55
	8	3
	9	100
	10	6
	11	4
	12	30
	Maisons isolées	3
Simiane-Collongue	6	4
Aix en Provence	14	5
	15	190
	Maisons isolées	3

Tableau 29 : Nombre d'habitations situées dans le champ proche du site

Par ailleurs cette étude de zone a permis d'identifier la présence de potagers privés comme indiqué sur la figure ci-après.

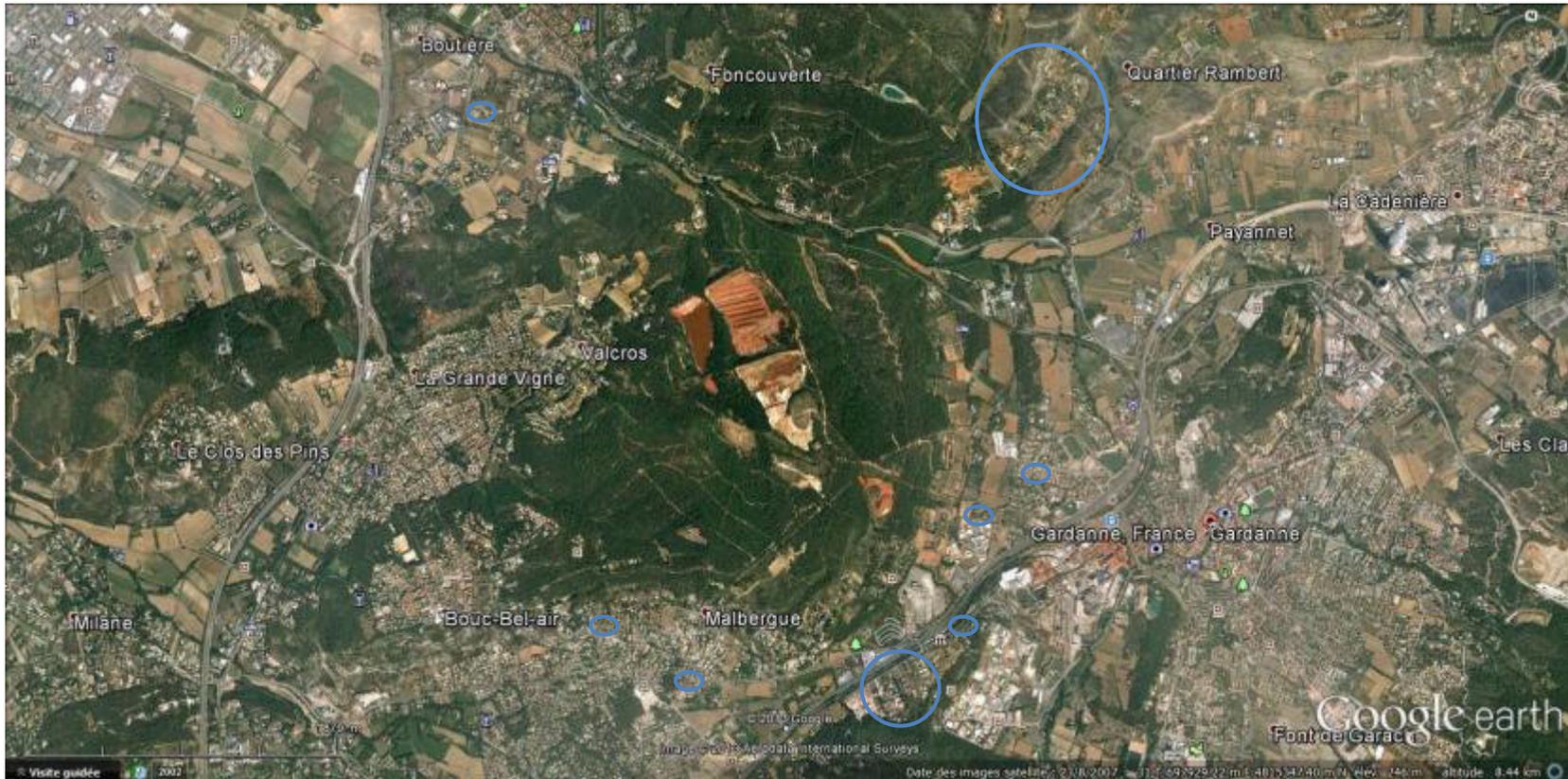


Figure 18 : localisation des zones à potagers recensés

3.5.4. « cibles » retenues pour la modélisation

Afin de présenter des résultats numériquement détaillés dans le rapport, nous avons choisi 4 « cibles » spécifiques :

- N°1 : habitation la plus proche,
- N°2 : le lycée de Gardanne (ERP dans Gardanne),
- N°3 : école maternelle de Bouc Bel Air (ERP le plus proche dans le sens des vents dominants),
- N°4 : Ecole/crèche de Gardanne (ERP le plus proche dans le 2eme sens des vents dominants).



Figure 19 : localisation des 4 cibles retenues pour la présentation des résultats

3.6. Les scénarii d'exposition

Les scénarii d'exposition envisageables découlent de l'approche en termes de « sources », de « vecteurs » et de « cibles » présentée ci avant. Les tableaux suivants présentent un récapitulatif des scénarios retenus ainsi que leur justification.

Sources	Vecteurs	Scenarii d'exposition	Choix justifié
Chargement et déchargement des matériaux	Air	Inhalation de particules	Retenu
Transport des matériaux (circulation des camions sur les pistes pavées et non pavées) Erosion du vent	Dépôts	Après dépôt des particules au sol : Ingestion de sol ; Inhalation de poussières de sol ; Ingestion de végétaux.	Retenu

Tableau 30 : Scénarii potentiels d'exposition pour les polluants chimiques

Sources	Vecteurs	Scenarii d'exposition	Choix justifié
Chargement et déchargement des matériaux	Air	Inhalation de particules radioactives Exposition externe à l'air	Retenu
Transport des matériaux (circulation des camions sur les pistes pavées et non pavées) Erosion du vent	Dépôts	Après dépôt des particules au sol : Ingestion de sol ; Inhalation de poussières de sol ; Ingestion de végétaux. Exposition externe aux dépôts sur le sol	Retenu

Tableau 31 : Scénarii potentiels d'exposition pour les radioéléments

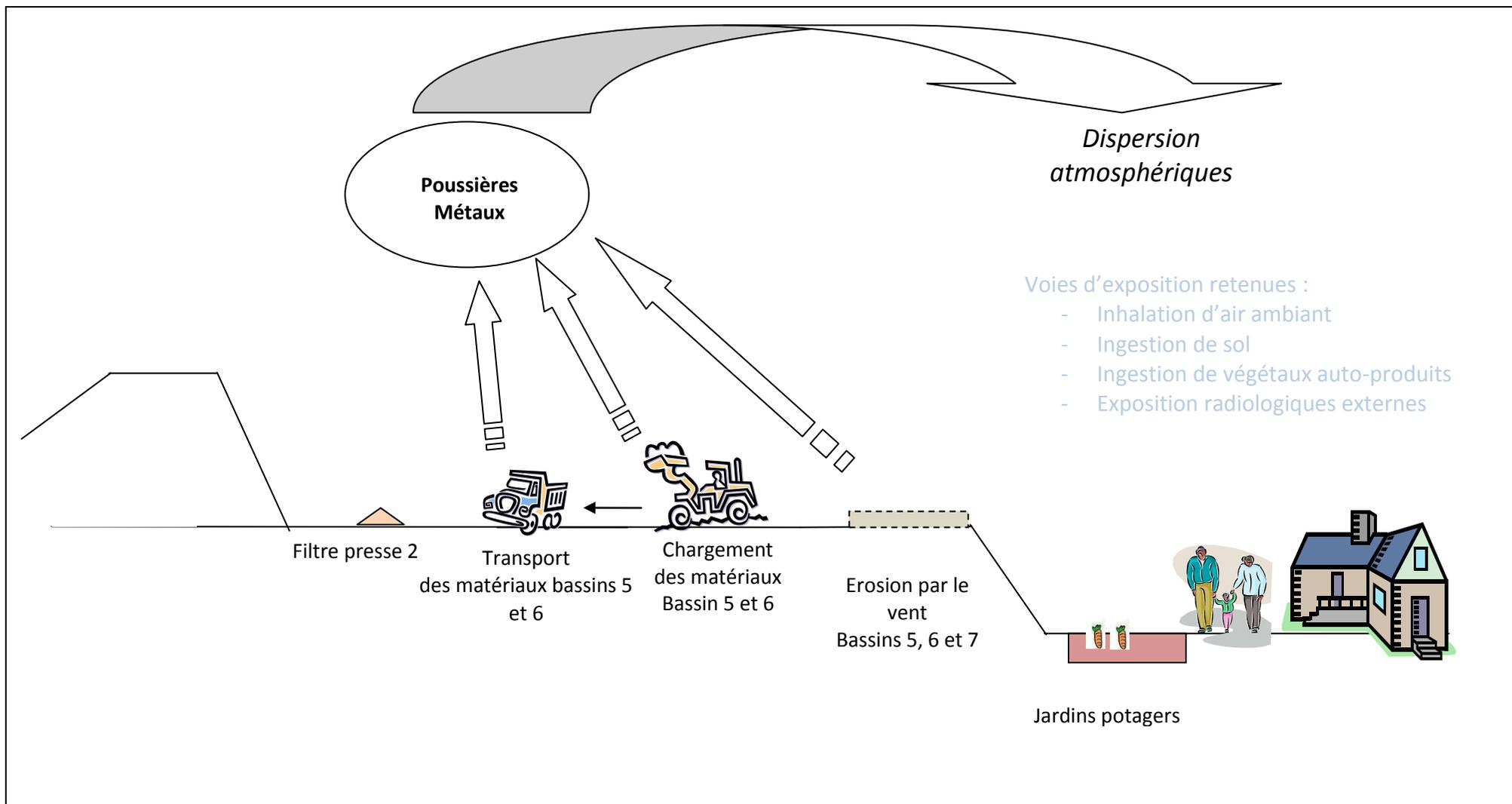


Figure 20 : Schéma conceptuel final

3.7. Choix des éléments traceurs du risque

3.7.1. Choix des substances chimiques

Comme indiqué au paragraphe la Fiche de Données Sécurité transmise par ALTEO indique la composition suivante de la Bauxaline® :

- Al₂O₃: 10-16%
- SiO₂: 5-8%
- TiO₂: 9-15%
- CaO: 3-8%
- Fe₂O₃: 45-53%
- Na₂O: 3-5%

Afin de caractériser le flux émis par substance, nous avons appliqué les pourcentages maximaux présentés ci-avant au flux global en PM 10 émis par le site.

Par ailleurs, le choix des traceurs du risque s'est basé sur la présence ou non de **Valeur Toxicologique de Référence ou de valeur de qualité de l'air**. En effet, sur la base de la circulaire DGS de mai 2006 ; en l'absence de Valeur Toxicologique de Référence, la démarche d'évaluation du risque ne peut être menée jusqu'à son terme. Ainsi, seules les substances disposant de VTR ou de valeur de qualité de l'air ont été retenues comme éléments traceurs du risque.

Substances	Flux annuel en (kg/an)	VTR inhalation ou Valeur qualité de l'air (mg/m ³)	VTR ingestion (mg/kg/j)	ERU inhalation (mg/m ³)-1	ERU ingestion (mg/kg/j)-1	Substances retenues
PM 10	14177	0,02 (valeur qualité de l'air)	-	-	-	Oui
Pm 2,5	1879	0,01 (valeur qualité de l'air)	-	-	-	Oui
Al ₂ O ₃ assimilé à de l'aluminium	2268.32	-	1 (ATSDR, 2008)	-	-	Oui
SiO ₂ (silice)	1134.16	0,003 (OEHHA, 2003)	-	-	-	Oui
TiO ₂ assimilé au titane	2126.55	-	-	-	-	Non
CaO	1134.16	-	-	-	-	Non
Fe ₂ O ₃ assimilé au fer	7513.81	-	0,8 (OMS, 1983)	-	-	Oui
Na ₂ O	708.85	-	-	-	-	Non

Tableau 32 : Choix des éléments traceurs du risque

A noter qu'aucune de ces substances ne présente de VTR pour les risques cancérogènes.

Les substances retenues pour l'inhalation sont donc les PM10, PM 2,5 et SiO₂.

Les substances retenues pour l'ingestion sont l'Al₂O₃ et le Fe₂O₃.

3.7.2. Choix des radioéléments

Le terme source de la Bauxaline® tel que défini dans les chapitres précédents se résume comme suit :

- 300 Bq/kg pour la famille de l'uranium 238U dénommée « 238Usec » ,
- 600 Bq/kg pour la famille du thorium 232Th dénommée « 232Thsec ».

Afin de caractériser le flux émis par substance, nous avons appliqué les activités présentés ci-avant au flux global en PM 10 émis par le site.

Substances	Flux annuel en (Bq/an)	Substances retenues
238Usec	4 253 100	Oui
232thsec	8 506 200	Oui
40K	708 850	Non*

*Le potassium 40 est exclu en raison de son activité relevant du BDF de la zone.

Tableau 33 : Choix des traceurs du risque radiologique

3.8. Relations doses-effets

3.8.1. Choix des Valeurs Toxicologiques de Référence pour les effets chimiques

3.8.1.1. Généralités

Cette étape concerne, d'une part, la description des symptômes pouvant être observés suite à une exposition à long terme et d'autre part, le choix des valeurs toxicologiques de référence (VTR). Elles seront recherchées dans la littérature scientifique.

On distingue deux types d'effets : les effets à seuil ou systémiques et les effets sans seuil (correspondant globalement aux effets cancérogènes). La terminologie varie selon les organismes produisant ces différentes VTR.

- **Effets à seuil**

La VTR est exprimée en milligramme par kilogramme de poids corporel et par jour pour la voie d'ingestion et en milligramme (ou microgramme) par mètre cube pour l'inhalation. C'est une estimation de l'exposition journalière d'une population humaine (y compris les sous-groupes sensibles : enfants, personnes présentant des maladies, personnes âgées...) qui, vraisemblablement, ne présente pas de risque appréciable d'effets néfastes durant une vie entière.

- **Effets sans seuil**

L'ERU (Excès de Risque Unitaire) est la pente de la droite qui relie la probabilité d'effets à la dose toxique pour des valeurs faibles de la dose. Il s'agit d'une hypothèse linéaire permettant de calculer la probabilité au-delà du domaine des doses réellement expérimentées. C'est une estimation haute du risque d'apparition d'un cancer par unité de dose liée à une exposition vie entière applicable à tous les individus d'une population qu'ils appartiennent ou non à un groupe sensible. Cette valeur est appelée « slope factor » ou « unit risk » par les Anglo-saxons. Un ERU s'exprime en inverse de dose soit en (milligramme par kilogramme de poids corporel et par jour)⁻¹ pour la voie d'ingestion et en (milligramme par mètre cube)⁻¹ pour la voie d'inhalation.

Remarque : Les valeurs toxicologiques de référence utilisées sont calculées notamment à partir de facteur d'incertitude afin de couvrir la variabilité intra-individuelle humaine. Les populations sensibles, décrites au niveau du paragraphe sur les cibles, sont donc incluses dans les résultats de la présente étude.

Les VTR sont fonctions des effets, des voies d'exposition et des traceurs de risque retenus.

3.8.1.2. Choix des valeurs toxicologiques de référence

La sélection des VTR est effectuée conformément aux prescriptions établies par la circulaire n° DGS/SD7B/2006/234 du 30 mai 2006 relative « *aux modalités de sélection des substances chimiques et de choix des valeurs toxicologiques de référence pour mener les évaluations des risques sanitaires dans le cadre des études d'impact* ».

Les VTR sont recherchées parmi les 6 bases de données nationales et internationales suivantes : IRIS de l'US EPA, ATSDR, OMS, Health Canada, RIVM et de l'OEHHA.

La méthodologie proposée par la circulaire DGS du 30 mai 2006 et utilisée dans la présente étude pour la sélection des VTR est décrite ci après.

Trois cas de figure sont présentés :

- Aucune VTR n'est recensée pour une substance chimique parmi les 6 bases de données citées précédemment. En l'absence de VTR pour cette substance, une quantification des risques n'est pas envisageable même si les données d'exposition sont exploitables. Aucune valeur limite d'exposition professionnelle (VLEP) ni aucune valeur guide de qualité des milieux ne peut être prise en compte ;
- Une seule VTR existe dans l'une des 6 bases de données. Cette valeur sera retenue si elle est appropriée à la situation étudiée (transposition proscrite exposition aiguë / exposition chronique, ou voie orale / voie respiratoire) et qu'elle n'est pas qualifiée d'avant-projet ou de provisoire ;
- Plusieurs VTR existent dans les 6 bases de données pour un même effet critique, une même voie et une même durée d'exposition (hors VTR de transposition, d'avant-projet ou provisoire). La VTR retenue est la première rencontrée dans les bases de données selon une hiérarchie définie :
 - pour les substances à effets à seuil, sélection de la première VTR rencontrée suivant la hiérarchie US EPA, ATSDR, OMS, Health Canada, RIVM puis OEHHA,
 - pour les substances à effets sans seuil, sélection de la première VTR rencontrée suivant la hiérarchie US EPA, OMS, RIVM puis OEHHA.

3.8.1.3. Valeur Toxicologique de Référence retenues pour les calculs de risques

Le tableau suivant indique les valeurs toxicologiques de références retenues pour la voie d'exposition par inhalation.

Substance	VTR à effet seuil (mg/m ³)	Organe Cible	Année	Référence	VTR sans effet seuil (µg/m ³) ⁻¹	Année	Référence
Quartz (silice cristalline libre)	0,003	Système respiratoire	2005	OEHHA	-	-	-

Tableau 34 : Valeurs toxicologiques de référence retenues pour la voie d'exposition par inhalation

Le tableau suivant présente les valeurs toxicologiques de références retenues pour la voie d'exposition par ingestion.

Substance	VTR à effet seuil (mg/kg/j)	Organe Cible	Année	Référence	VTR sans effet seuil (mg/kg/j) ⁻¹	Année	Référence
Aluminium	1	Système Nerveux Central	2008	ATSDR	-	-	-
Fer	0,8		1983	OMS	-	-	-

Tableau 35 : Valeurs toxicologiques de référence retenues pour la voie d'exposition par ingestion

Aucune des substances recensées n'est cancérigène.

3.8.1.4. Substances ne présentant pas de VTR

Pour les poussières, il n'existe pas de réelles VTR mais des objectifs de qualité de l'air existent. Conformément à la circulaire DGS/SD7B/2006/234 du 30 mai 2006 relative « aux modalités de sélection des substances chimiques et de choix des valeurs toxicologiques de référence pour mener les évaluations des risques sanitaires dans le cadre des études d'impact », les calculs de risque ne peuvent être réalisés avec des objectifs de qualité de l'air. En conséquence, seule une comparaison des concentrations modélisées aux objectifs de qualité de l'air est effectuée.

Le tableau suivant présente les objectifs de qualité de l'air relatifs aux PM 2,5, et aux PM 10 retenus pour l'étude :

Substances	Objectifs de qualité de l'air (µg/m ³)	Organe cible	Source
PM 2,5	10	Système respiratoire	Code de l'Environnement + OMS 2005
PM 10	20		OMS 2005
	30		Code de l'Environnement

Tableau 36 : Objectifs de qualité de l'air pour les poussières (PM 2,5 et 10)

A noter, de manière conservatrice, les objectifs de qualité de l'air retenu pour les PM 10, sont les valeurs de l'OMS⁸. En effet, l'OMS préconise dans le cadre d'une exposition annuelle les valeurs les plus restrictives avec pour les PM 10 : 20 µg/m³.

Cette valeur est plus contraignante que l'objectif de qualité de l'air égal à 30 µg/m³ pour les PM10, fixé dans l'article R 221.1 du code de l'environnement.

3.8.2. *Choix Coefficients de Doses pour les effets radiologiques*

3.8.2.1. *Coefficients de dose pour la radioactivité*

Le coefficient de dose (CD) ou la dose par unité d'incorporation (DPUI) est la dose reçue par unité d'activité par un individu exposé à un (ou des) rayonnement(s). Il est utilisé pour les calculs des doses équivalente ou efficace qui sont des indicateurs de la probabilité d'apparition des effets stochastiques des rayonnements (Analogie avec les effets sans seuils - ERU). Lorsque les doses absorbées se trouvent au delà des seuils d'apparition des effets déterministes, on utilise la dose absorbée- W_T (Analogie avec les effets à seuils).

Sa définition change avec la voie d'atteinte considérée :

- Exposition interne (inhalation ou ingestion) : Sv/Bq
- Exposition externe à un panache de gaz, ou de l'immersion dans l'eau : (Sv/s)/(Bq/m³)
- Exposition externe à un dépôt au sol en surface : (Sv/s)/(Bq/m²)
- Exposition externe à des sols pollués : (Sv/s)/(Bq/m³)

L'estimation moyenne du risque de cancer par mSv est actuellement de 10 cancers par million de personnes (10⁵) sur toute la durée de vie.

⁸ « WHO Air quality guidelines for particulate matter, ozone, nitrogen dioxide and sulfur dioxide – Global update 2005 »

3.8.2.2. Méthodologie de choix des CD et DPUI

L'IRSN, sur avis d'un groupe d'experts, recommande l'utilisation de sa base de données de coefficients de dose dénommée Ecrin. Cette base est publique et se base, pour chaque voie atteinte, sur les données suivantes :

- Inhalation, dose efficace : EURATOM/96/29⁹,
- Ingestion, dose efficace : EURATOM/96/29,
- Panache : Fédéral Guidance¹⁰,
- Dépôt au sol : Fédéral Guidance,
- Immersion dans l'eau : Fédéral Guidance.

Par ailleurs :

- l'IRSN recommande d'utiliser les valeurs de la base de données CIPR¹¹ pour les coefficients de dose équivalente aux organes engagée par inhalation et ingestion,
- Les filiations et déséquilibres doivent être pris en compte dans les calculs.

Ce faisant, les coefficients de doses utilisés pour ce site sont calculés par sommation des coefficients des divers radionucléides en équilibre ou non avec leurs descendants.

⁹ Directive 96/29/EURATOM du Conseil, du 13 mai 1996, fixant les normes de base relatives à la protection sanitaire de la population et des travailleurs contre les dangers résultant des rayonnements ionisants

¹⁰ Fédéral Guidance Report 12-EPA402-R-93-081,1993 External Exposure to Radionuclides in Air, Water and Soil K.F. Eckerman and J.C. Ryman

¹¹ CRP(1998) The ICRP Database of Dose Coefficients : Workers and Members of the Public.Version 1.0, CD-ROM distributed by Elsevier Science Ltd.

❖ **DPUI Inhalation**

DPUI inhalation mSv.Bq ⁻¹							
RN	Forme	Nourrisson	1-2 ans	3-7 ans	8-12 ans	13-17 ans	Adulte/travailleur
Famille de l'uranium							
U-238	M	1.20E-02	9.40E-03	5.90E-03	4.00E-03	3.40E-03	2.90E-03
Th-234	S	4.10E-05	3.10E-05	1.70E-05	1.10E-05	9.10E-06	7.70E-06
Pa-234m	M	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
Pa-234	M	2.80E-06	2.00E-06	1.00E-06	6.80E-07	4.70E-07	3.80E-07
U-234	M	1.50E-02	1.10E-02	7.00E-03	4.80E-03	4.20E-03	3.50E-03
Th-230	S	4.00E-02	3.50E-02	2.40E-02	1.60E-02	1.50E-02	1.40E-02
Ra-226	M	1.50E-02	1.10E-02	7.00E-03	4.90E-03	4.50E-03	3.50E-03
Rn-222	-	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
Po-218	M	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
Pb-214	M	6.40E-05	4.60E-05	2.60E-05	1.90E-05	1.40E-05	1.40E-05
Bi-214	M	8.70E-05	6.10E-05	3.10E-05	2.20E-05	1.70E-05	1.40E-05
Pb-210	M	5.00E-03	3.70E-03	2.20E-03	1.50E-03	1.30E-03	1.10E-03
Bi-210	M	3.90E-04	3.00E-04	1.90E-04	1.30E-04	1.10E-04	9.30E-05
Po-210	M	1.50E-02	1.10E-02	6.70E-03	4.60E-03	4.00E-03	3.30E-03
U-238 sec		1.03E-01	8.15E-02	5.31E-02	3.60E-02	3.26E-02	2.84E-02
Famille du thorium							
Th-232	S	5.40E-02	5.00E-02	3.70E-02	2.60E-02	2.50E-02	2.50E-02
Ra-228	M	1.50E-02	1.00E-02	6.30E-03	4.60E-03	4.40E-03	2.60E-03
Ac-228	F	1.80E-04	1.60E-04	9.70E-05	5.70E-05	2.90E-05	2.50E-05
Th-228	S	1.60E-01	1.30E-01	8.20E-02	5.50E-02	4.70E-02	4.00E-02
Ra-224	M	1.10E-02	8.20E-03	5.30E-03	3.90E-03	3.70E-03	3.00E-03
Rn-220	-	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
Po-216	-	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
Pb-212	M	6.20E-04	4.60E-04	3.00E-04	2.20E-04	2.20E-04	1.70E-04
Bi-212	M	1.60E-04	1.10E-04	6.00E-05	4.40E-05	3.80E-05	3.10E-05
Po-212	-	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
Tl-208	F	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
Th-232 sec		2.41E-01	1.99E-01	1.31E-01	8.98E-02	8.04E-02	7.08E-02

Tableau 37 : Doses par unité incorporée pour l'inhalation

❖ **DPUI Ingestion**

DPUI ingestion mSv.Bq-1							
RN	Forme	Nourrisson	1-2 ans	3-7 ans	8-12 ans	13-17 ans	Adulte/travailleur
Famille de l'uranium							
U-238	M	3.40E-04	1.20E-04	8.00E-05	6.80E-05	6.70E-05	4.50E-05
Th-234	S	4.00E-05	2.50E-05	1.30E-05	7.40E-06	4.20E-06	3.40E-06
Pa-234m	M	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
Pa-234	M	5.00E-06	3.20E-06	1.70E-06	1.00E-06	6.40E-07	5.10E-07
U-234	M	3.70E-04	1.30E-04	8.80E-05	7.40E-05	7.40E-05	4.90E-05
Th-230	S	4.10E-03	4.10E-04	3.10E-04	2.40E-04	2.20E-04	2.10E-04
Ra-226	M	4.70E-03	9.60E-04	6.20E-04	8.00E-04	1.50E-03	2.80E-04
Rn-222	-	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
Po-218	M	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
Pb-214	M	2.70E-06	1.00E-06	5.20E-07	3.10E-07	2.00E-07	1.40E-07
Bi-214	M	1.40E-06	7.40E-07	3.60E-07	2.10E-07	1.40E-07	1.10E-07
Pb-210	M	8.40E-03	3.60E-03	2.20E-03	1.90E-03	1.90E-03	6.90E-04
Bi-210	M	1.50E-05	9.70E-06	4.80E-06	2.90E-06	1.60E-06	1.30E-06
Po-210	M	2.60E-02	8.80E-03	4.40E-03	2.60E-03	1.60E-03	1.20E-03
U-238 sec		4.40E-02	1.41E-02	7.72E-03	5.69E-03	5.37E-03	2.48E-03
Famille du thorium							
Th-232	S	4.60E-03	4.50E-04	3.50E-04	2.90E-04	2.50E-04	2.30E-04
Ra-228	M	3.00E-02	5.70E-03	3.40E-03	3.90E-03	5.30E-03	6.90E-04
Ac-228	F	7.40E-06	2.80E-06	1.40E-06	8.70E-07	5.30E-07	4.30E-07
Th-228	S	3.70E-03	3.70E-04	2.20E-04	1.40E-04	9.40E-05	7.20E-05
Ra-224	M	2.70E-03	6.60E-04	3.50E-04	2.60E-04	2.00E-04	6.50E-05
Rn-220	-	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
Po-216	-	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
Pb-212	M	1.50E-04	6.30E-05	3.30E-05	2.00E-05	1.30E-05	6.00E-06
Bi-212	M	3.20E-06	1.80E-06	8.70E-07	5.00E-07	3.30E-07	2.60E-07
Po-212	-	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
Tl-208	F	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
Th-232 sec		4.12E-02	7.25E-03	4.36E-03	4.61E-03	5.86E-03	1.06E-03

Tableau 38 : Doses par unité incorporée pour l'ingestion

❖ **CD Immersion, dépôt et panache**

RN	Cdimmersion mSv.s-1.Bq-1.m3		CDépôt mSv.s-1.Bq-1.m3	CDpanache mSv.s-1.Bq-1.m3	
	Efficace	Peau	Efficace	Efficace	Peau
Famille de l'uranium					
U-238	7.95E-18	6.83E-17	3.41E-15	3.41E-15	2.91E-14
Th-234	7.64E-16	1.33E-15	3.38E-13	3.38E-13	7.50E-13
Pa-234m	1.52E-15	5.92E-14	7.19E-13	7.19E-13	5.84E-11
Pa-234	2.03E-13	2.51E-13	9.34E-11	9.34E-11	1.24E-10
U-234	1.75E-17	9.55E-17	7.63E-15	7.63E-15	4.25E-14
Th-230	3.94E-17	1.01E-16	1.74E-14	1.74E-14	4.51E-14
Ra-226	6.95E-16	9.31E-16	3.15E-13	3.15E-13	4.79E-13
Rn-222	9.60E-16	1.16E-15	1.91E-14	1.91E-14	2.28E-14
Po-218	9.71E-19	1.37E-18	4.48E-16	4.48E-16	7.56E-16
Pb-214	2.59E-14	4.49E-14	1.18E-11	1.18E-11	2.77E-11
Bi-214	1.66E-13	2.32E-13	7.65E-11	7.65E-11	1.28E-10
Pb-210	1.31E-16	3.00E-16	5.64E-14	5.64E-14	1.28E-13
Bi-210	6.33E-17	2.44E-14	3.29E-14	3.29E-14	2.30E-11
Po-210	9.03E-19	1.04E-18	4.16E-16	4.16E-16	4.81E-16
U-238 sec	3.99E-13	6.15E-13	1.83E-10	1.83E-10	3.63E-10
Famille du thorium					
Th-232	1.99E-17	7.65E-17	8.72E-15	8.72E-15	3.44E-14
Ra-228	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
Ac-228	1.04E-13	1.44E-13	4.78E-11	4.78E-11	7.88E-11
Th-228	2.05E-16	3.18E-16	9.20E-14	9.20E-14	1.50E-13
Ra-224	1.03E-15	1.03E-15	4.71E-13	4.71E-13	6.35E-13
Rn-220	4.03E-17	4.73E-17	1.85E-14	1.85E-14	2.20E-14
Po-216	1.80E-18	2.07E-18	8.29E-16	8.29E-16	9.57E-16
Pb-212	1.52E-14	2.35E-14	6.87E-12	6.87E-12	1.35E-11
Bi-212	2.00E-14	5.47E-14	9.24E-12	9.24E-12	4.05E-11
Po-212	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
Tl-208	3.84E-13	4.66E-13	1.77E-10	1.77E-10	2.43E-10
Th-232 sec	5.24E-13	6.90E-13	2.42E-10	2.42E-10	3.77E-10

Tableau 39 : Coefficient de dose reçue dans de l'eau contaminée, sur un dépôt sur sol ou dans un panache de gaz

3.8.2.3. CD et DPUI retenues

Pour les classes d'âge retenues, les tranches 3-7 ans et adulte sont les plus proches des catégories Enfant et adulte de l'étude de risques chimiques.

	DPUI _{inhalation} mSv.Bq-1	
RN	Enfant	Adulte
Famille de l'uranium		
U-238 sec	5.31E-02	2.84E-02
Famille du thorium		
Th-232 sec	1.31E-01	7.08E-02

Tableau 40 : Doses par unité incorporée pour l'inhalation retenue pour le calcul

	DPUI _{ingestion} mSv.Bq-1	
RN	3-7 ans	Adulte
Famille de l'uranium		
U-238 sec	7.72E-03	2.48E-03
Famille du thorium		
Th-232 sec	4.36E-03	1.06E-03

Tableau 41 : Doses par unité incorporée pour l'ingestion retenue pour le calcul

	CD _{dépôt} mSv.s-1.Bq- 1.kg	CD _{panache} mSv.s-1.Bq-1.m3	
RN	Efficace	Efficace	Peau
Famille de l'uranium			
U-238 sec	2.08E-13	1.83E-10	3.63E-10
Famille du thorium			
Th-232 sec	1.51E-13	2.42E-10	3.77E-10

Tableau 42 : Coefficient de dose reçue sur un dépôt sur sol ou dans un panache de gaz

3.9. Evaluation de l'exposition

Conformément au guide méthodologique INERIS, nous nous sommes placés dans le cas d'une évaluation du risque sanitaire de premier niveau d'approche, **c'est-à-dire, avec des hypothèses majorantes lorsqu'une information restait manquante.**

3.9.1. *Modèle de dispersion atmosphérique utilisé*

Pour quantifier l'impact sanitaire des émissions atmosphériques du site, la première étape concerne l'estimation par modélisation des concentrations de polluants traceurs, issus des rejets atmosphériques du site.

La modélisation de la dispersion atmosphérique a été menée à l'aide du logiciel ADMS 5 (Advanced Air Dispersion Model, version 5), développé par Cambridge Environmental Research Consultants Ltd (CERC).

ADMS est un modèle de type pseudo-Gaussien, adapté au calcul des concentrations atmosphériques pour les composés émis par des installations industrielles. Conçu pour répondre aux nouvelles exigences environnementales (dossiers ICPE, mise en place de SME, etc.), il s'impose comme l'outil Européen de référence pour l'évaluation de l'impact et du risque industriel.

Il permet la prise en compte du relief, des bâtiments, des fluctuations météorologiques, d'une grande variété de sources d'émissions (cheminée, volume, surface, etc.), dans un même calcul, etc.

Il dispose par ailleurs d'un modèle de calcul des dépôts secs et humides selon la nature du polluant.

Les paramètres d'entrée retenus pour la dispersion atmosphérique sont présentés dans les paragraphes suivants.

3.9.2. Emissions atmosphériques

La dispersion atmosphérique est réalisée sur la base des substances, rejetées par les activités du site de Mangegarri, qui ont été sélectionnées. Les caractéristiques physiques des sources d'émission ainsi que les flux des particules sélectionnées sont présentés dans le tableau suivant :

Activité	Sources d'émission de poussières	Caractéristiques de la source	Hauteur du rejet (m)	Vitesse du rejet (m/s)	Température du rejet (°C)	Surface (m ²)	Flux modélisé	
							PM 10	PM 2,5
Opération de déchargement et de déchargement	Bassin 6	Surfacique	-	0,001	Ambiante	130 000	1,27E-08 g/m ² /s	1,92E-09 g/m ² /s
	Bassin 5	Surfacique	-	0,001	Ambiante	100 000	1,65E-08 g/m ² /s	2,50E-09 g/m ² /s
	Filtre presse 2	volumique	1,75	0,001	Ambiante	60	1,22E-05 g/m ³ /s	1,84E-06 g/m ³ /s
Erosion	Bassin 6	Surfacique	-	0,001	Ambiante	130 000	1,08E-06 g/m ² /s	1,62E-07 g/m ² /s
	Bassin 5	Surfacique	-	0,001	Ambiante	100 000	1,08E-06 g/m ² /s	1,62E-07 g/m ² /s
	Bassin 7	Surfacique	-	0,001	Ambiante	10 000	1,08E-06 g/m ² /s	1,62E-07 g/m ² /s
	Stockages Filtre presse 2	Surfacique	-	0,001	Ambiante	60	1,89E-04 g/m ² /s	2,84E-05 g/m ² /s
Activité	Sources d'émission de poussières	Caractéristiques de la source	Largeur du rejet (m)	Vitesse du rejet (m/s)	Température du rejet (°C)	Longueur (m)		
Voies de circulations pavées	Entrée-bassin 6	Linéiques	4	0,001	Ambiante	1100	6,99E-10 g/s/m	1,69E-10 g/s/m
	Entrée-bassin 5	Linéiques	4	0,001	Ambiante	500	6,99E-10 g/s/m	1,69E-10 g/s/m
	Filtre presse 2 - bassin	Linéiques	4	0,001	Ambiante	590	6,99E-10 g/s/m	1,69E-10 g/s/m
Voies de circulations non pavées	Bassin 6	Linéiques	4	0,001	Ambiante	470	1.60E-08 g/s/m	1.60E-09 g/s/m
	Bassin 5	Linéiques	4	0,001	Ambiante	420	1.60E-08 g/s/m	1.60E-09 g/s/m

Tableau 43 : Synthèse des émissions atmosphériques de poussières modélisées

Les sources d'émission retenues sont localisées sur la carte suivante.

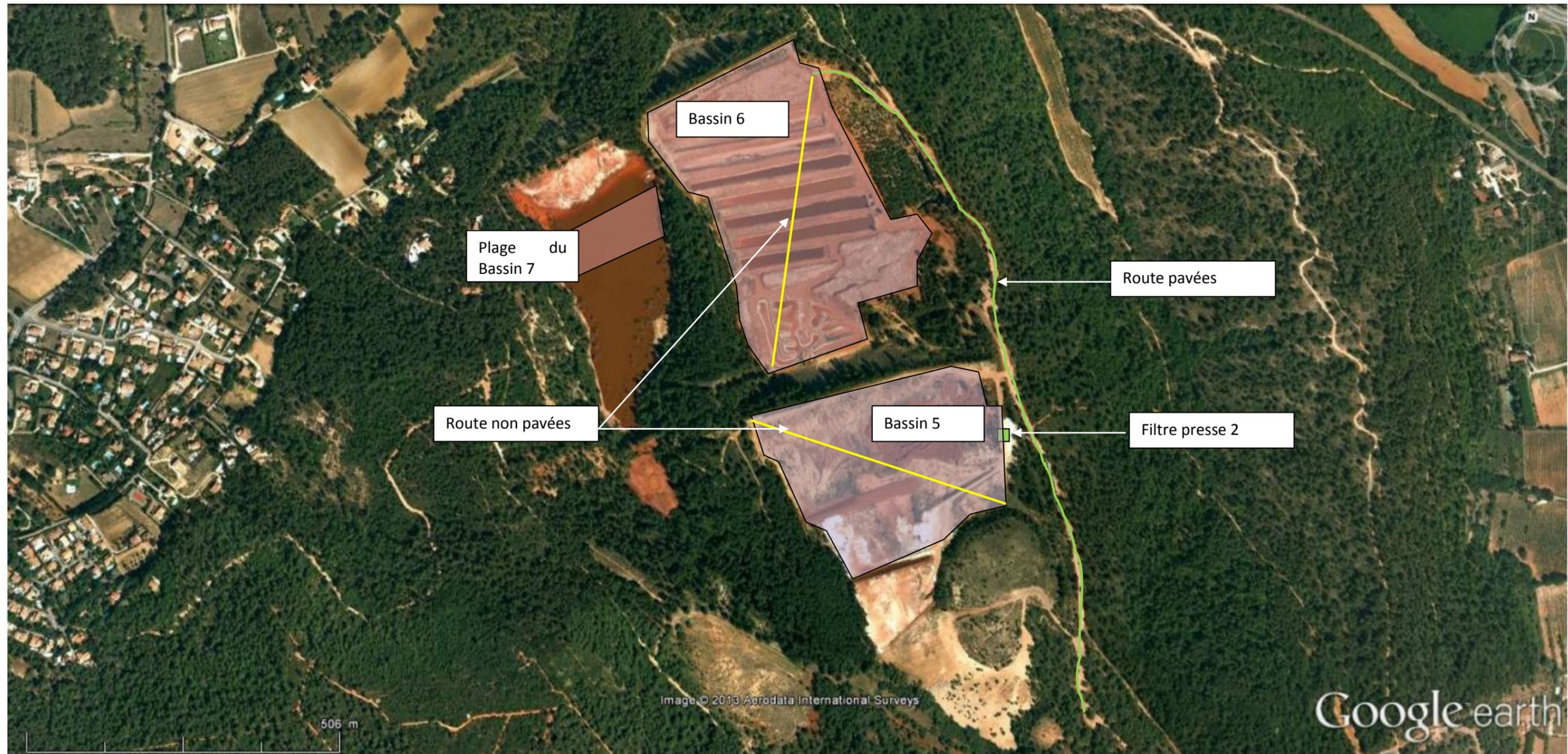


Figure 21 : Localisation des sources modélisées

3.9.3. Zone d'étude

Pour cette évaluation, une zone d'étude de 10 km sur 10 km, « centrée » sur le site, a été prise en compte. Le système comprend un total de 10 000 mailles.

3.9.4. Hauteur de rugosité

Le modèle utilise une hauteur de rugosité, qui traduit le degré de turbulence causé par le passage des vents à travers les structures de surface au sol.

La turbulence de surface est plus élevée dans les zones urbaines que dans les zones rurales, en raison de la présence de bâtiments plus nombreux et de plus grande taille, conduisant à un dépôt de polluants à une distance plus courte dans les zones urbaines que dans les zones rurales.

Compte tenu d'une occupation au sol variable (bois, quartier, résidentiel, cultures...) une rugosité variable a été intégrée sur le domaine d'étude. Celle-ci a été acquise auprès de la société Numtech sur un rayon de 25 km centré sur la ville de Gardanne ; Les rugosités intégrées dans le modèle sont présentées sur la figure ci après.

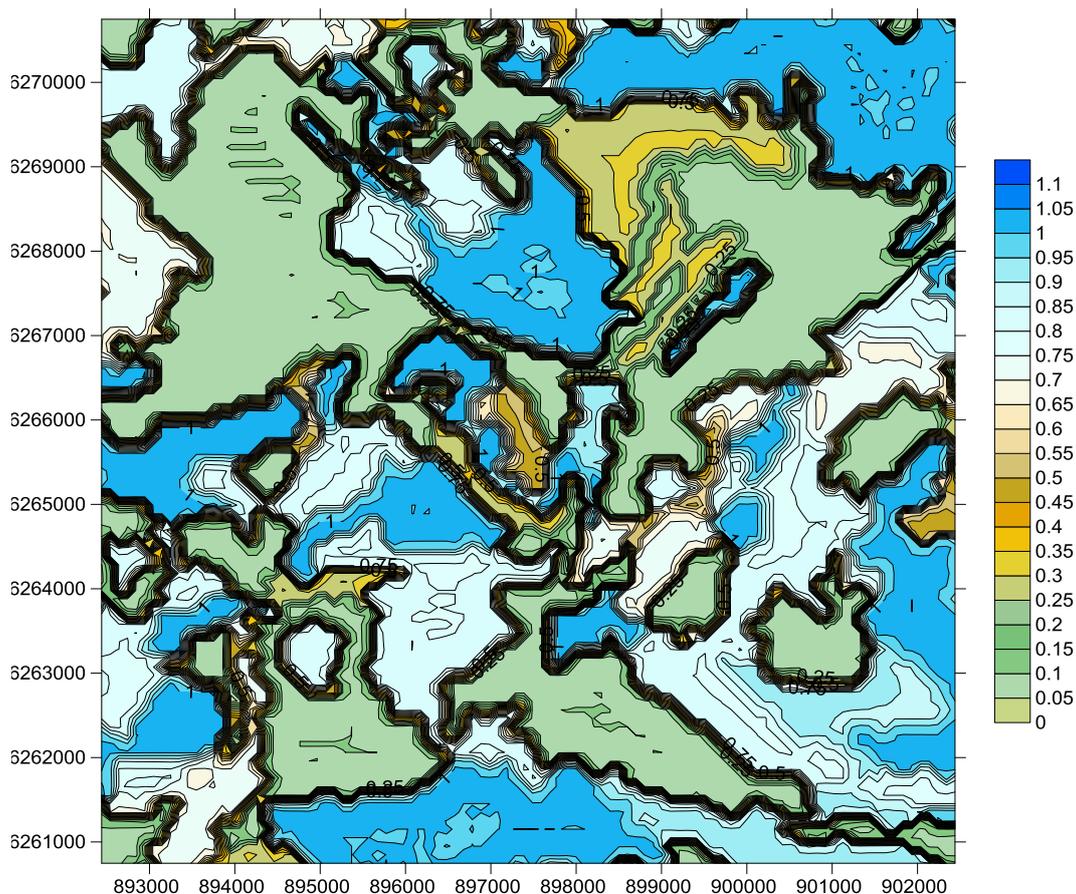


Figure 22 : Rugosité intégrée dans le modèle de dispersion

3.9.5. Prise en compte du relief

La modélisation a tenu compte les données topographiques fournies par l'IGN¹². Nous avons intégré la topographie locale au pas de 100 m en RGF 93. La topographie est présentée sur la figure ci-après.

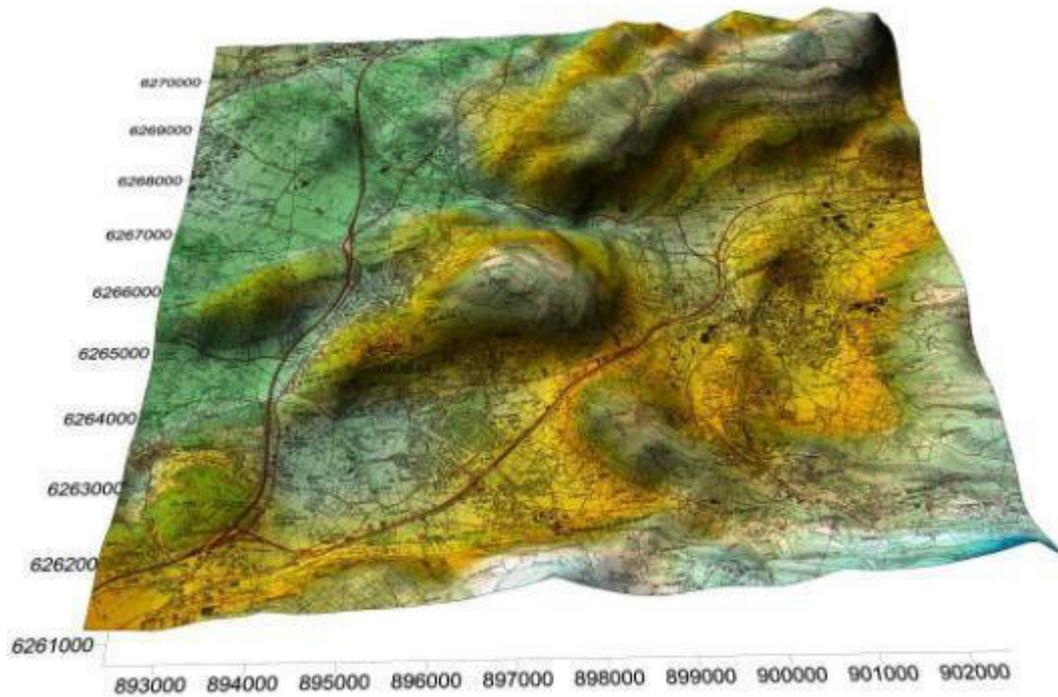


Figure 23 : Topographie de la zone d'étude

¹² Institut National de Géographie

3.9.6. Conditions météorologiques

Les conditions météorologiques du site ont une grande influence sur la dispersion atmosphérique. La dispersion est conditionnée par des facteurs tels que la vitesse du vent, sa direction et l'intensité des turbulences.

Pour un flux donné, les concentrations dans l'air prédites à hauteur d'homme peuvent varier considérablement selon les conditions météorologiques, parfois de plusieurs ordres de grandeur. La concentration maximale dans l'air au-dessus de la surface du sol peut apparaître à un endroit sous certaines conditions météorologiques et à un autre endroit sous d'autres conditions.

Certains paramètres (tels que la nébulosité, etc.) sont rarement mesurés dans les stations météorologiques locales.

Sur recommandation de Météo France concernant le choix des stations jugées les plus représentatives des conditions climatiques au niveau de la zone du projet, les données météorologiques utilisées (années 2010 à 2012) sont celles de la station Météo France Aix en Provence les Milles pour la température sous abris, hauteur de précipitation en 1 heure, force et direction du vent à 10 m. La nébulosité totale n'étant pas enregistrée sur cette station celle-ci a été obtenue auprès de la station de l'aéroport de Marignane.

Les données de vents utilisées pour la modélisation sont des données tri-horaires.

Le choix de 3 années permet de couvrir l'ensemble des situations possibles en terme de direction et de vitesse de vents notamment.

La rose des vents établie par le logiciel ADMS pour les années 2010-2012 présentée ci-dessous, indique une large prédominance des vents provenant du Nord -Ouest.

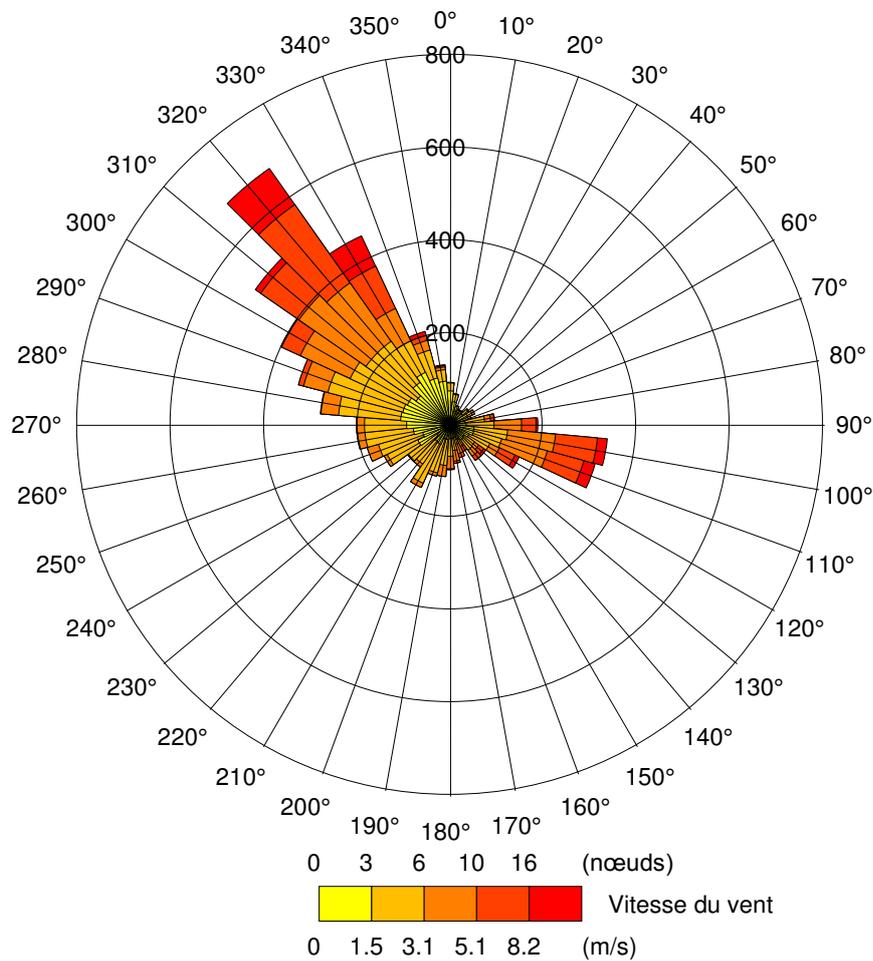


Figure 24 : Rose des vents établie par ADMS au niveau de la station d'Aix en Provence les Milles (données 2010-2012)

Il est à noter que les vitesses de vents représentées correspondent à des moyennes. Les vitesses moyennes supérieures à 8 m/s caractérisent bien les vents forts.

La rose des vents obtenue sur la base des données météorologiques de 2010 à 2012 indique que les vents les plus fréquents sont les vents dont la vitesse est comprise entre 0 et 1,5 m/s.

Les vents forts proviennent d'un secteur Nord-Ouest majoritaire. Néanmoins une part notable de vents provient également de l'Est Sud Est.

A noter que les vents faibles de 0-1 m/s représentent 50,8 % des conditions de vents enregistrées. Ces conditions sont représentatives d'envols importants mais limités à la proximité du site.

3.9.7. Validation du modèle et comparaison modèle mesure

Afin de valider la modélisation nous avons comparé les résultats du modèle aux mesures environnementales du suivi réalisées par ALTEO (cf 2.2.2). La modélisation a été réalisée sur la base des données météorologique de 2010-2012, la comparaison aux résultats de mesure se fera sur les mêmes années.

Il est à noter que l'étude de dispersion des émissions de Mangegarri a été réalisée avec la prise en compte du filtre presse 2 qui n'a pas encore été mis en œuvre et dont l'impact n'est pas quantifié dans le suivi analytique.

L'activité sur les deux bassins ne pouvant avoir lieu de manière simultanée, la quantification de l'impact de la mise en activité du bassin 5 comprend l'impact des sources suivantes :

Mise en activité du bassin 6

- Chargement et déchargement du bassin 6
- Erosion du bassin 6
- Erosion du bassin 5
- Erosion du bassin 7
- Chargement et déchargement filtre presse 2 et érosion du stockage Filtre presse 2
- Circulation sur les voies pavées entrée - bassin 6 et Filtre presse 2 – bassin 6
- Circulation sur le bassin 6

Mise en activité du bassin 5

- Chargement et déchargement du bassin 5
- Erosion du bassin 6
- Erosion du bassin 5
- Erosion du bassin 7
- Chargement et déchargement filtre presse 2 et érosion du stockage Filtre presse 2
- Circulation sur les voies pavées entrée - bassin 5
- Circulation sur le bassin 5

Les deux sources d'émissions les plus importantes en terme d'impact sont liées à l'érosion du vent sur les bassins 5 et 6. L'impact de l'exploitation du bassin 6 est supérieur à celui de l'exploitation du bassin 5.

Le tableau suivant présente la comparaison des résultats modélisés à ceux mesurées autour du site et à ceux modélisés par la société BURGEAP.

Points de mesures	Dépôt moyen en Pm Totales mesuré entre 2010-2012 (g/m ² /j)	Dépôt moyen en PM 10 modélisé lors la mise en activité du bassin 5 (g/m ² /j)	Dépôt moyen en PM 10 modélisé lors la mise en activité du bassin 6 (g/m ² /j)	Résultat de la modélisation réalisée par la société BURGEAP (g/m ² /j)
Point 1	8,57E-02	1,06E-04	1,32E-04	5,0E-04
Point 13	1,91E-01	1,40E-03	1,60E-03	2,2E-03
Point 2	8,22E-02	8,28E-04	9,58E-04	1,6E-03
Point 5	9,46E-02	5,09E-04	6,63E-04	7,0E-04
Point 7	8,57E-02	2,16E-04	2,75E-04	-
Point 6	5,57E-02	9,82E-05	1,23E-04	-
Point 12	1,26E+00			-
Point 11	7,17E-02			-
Point 10	2,14E-02			-
Point 9	1,11E-01	2,74E-03	2,93E-03	
Point 4	4,86E-02	2,07E-04	2,87E-04	
Point 3	7,29E-02	2,73E-04	3,43E-04	
Point 8	4,86E-02	1,44E-04	1,80E-04	

Tableau 44 : Comparaison des résultats de modélisation avec les mesures du suivi environnemental

Les résultats des dépôts modélisés sont inférieurs aux résultats des dépôts mesurés sur le terrain par la société ALTEO. Néanmoins, les dépôts modélisés lors de cette étude sont cohérents avec ceux modélisés par BURGEAP dans son document « Evaluation des émissions diffuses du site de Gardanne et de la décharge de Mangegarri ».

Cette différence observée entre les relevés de terrain et les résultats de la modélisation s'expliquent par le fait que les analyses de terrain prennent en compte le dépôt de particules totales alors que la modélisation ne concerne que les PM 10. Par ailleurs, les plaquettes enregistrent également les impacts d'autres sources d'émissions liées au bruit de fond (circulation, impacte du chauffage bois, érosion naturelle...)

L'observation des résultats analytiques indique que les zones d'impact sont globalement identiques entre les dépôts observés sur le terrain et les résultats modélisés. Ceci permet de conforter les résultats de l'étude de dispersion atmosphérique.

Au vu des ces résultats, nous pouvons valider les résultats de la modélisation de dispersion atmosphérique en PM 10 réalisée.

3.9.8. Comparaison des résultats de la modélisation en poussière aux objectifs de qualité de l'air

Conformément aux exigences de la circulaire du 30 mai 2006, pour les poussières (PM 2,5 et 10), seule une comparaison des concentrations modélisées aux objectifs de qualité de l'air est effectuée pour ces substances.

Le tableau ci-dessous présente les concentrations en PM 10 et PM 2,5 obtenues au niveau des « cibles » retenues.

Objectifs de qualité de l'air ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Exploitation du bassin 5		Exploitation du bassin 6	
	PM 10	PM 2,5	PM 10	PM 2,5
	20	10	20	10
N°1 : une habitation	2.7E-01	6.1E-02	3.5E-01	8.0E-02
N°2 : le lycée de Gardanne	1.5E-02	4.3E-03	2.0E-02	5.4E-03
N°3 Ecole Bouc-Bel-air	2.6E-02	7.1E-03	3.3E-02	9.0E-03
N°4 Ecole Gardanne	4.4E-02	1.1E-02	5.7E-02	1.4E-02

Tableau 45 : Concentrations d'exposition en PM 10 et PM 2.5 au niveau des cibles retenues ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)

Aucun dépassement de la valeur de qualité de l'air n'est observé au niveau des populations.

L'impact de l'exploitation du bassin 6 est supérieur à celui de l'exploitation du bassin 5.

Les courbes d'iso-concentrations correspondantes pour les poussières (PM 2,5 et PM 10) sont présentées ci-après.

L'observation de ces cartes met en exergue l'absence de dépassements des valeurs de qualité de l'air pour les poussières PM 10 et PM 2,5 sur l'ensemble de la zone et ce pour les deux configurations.

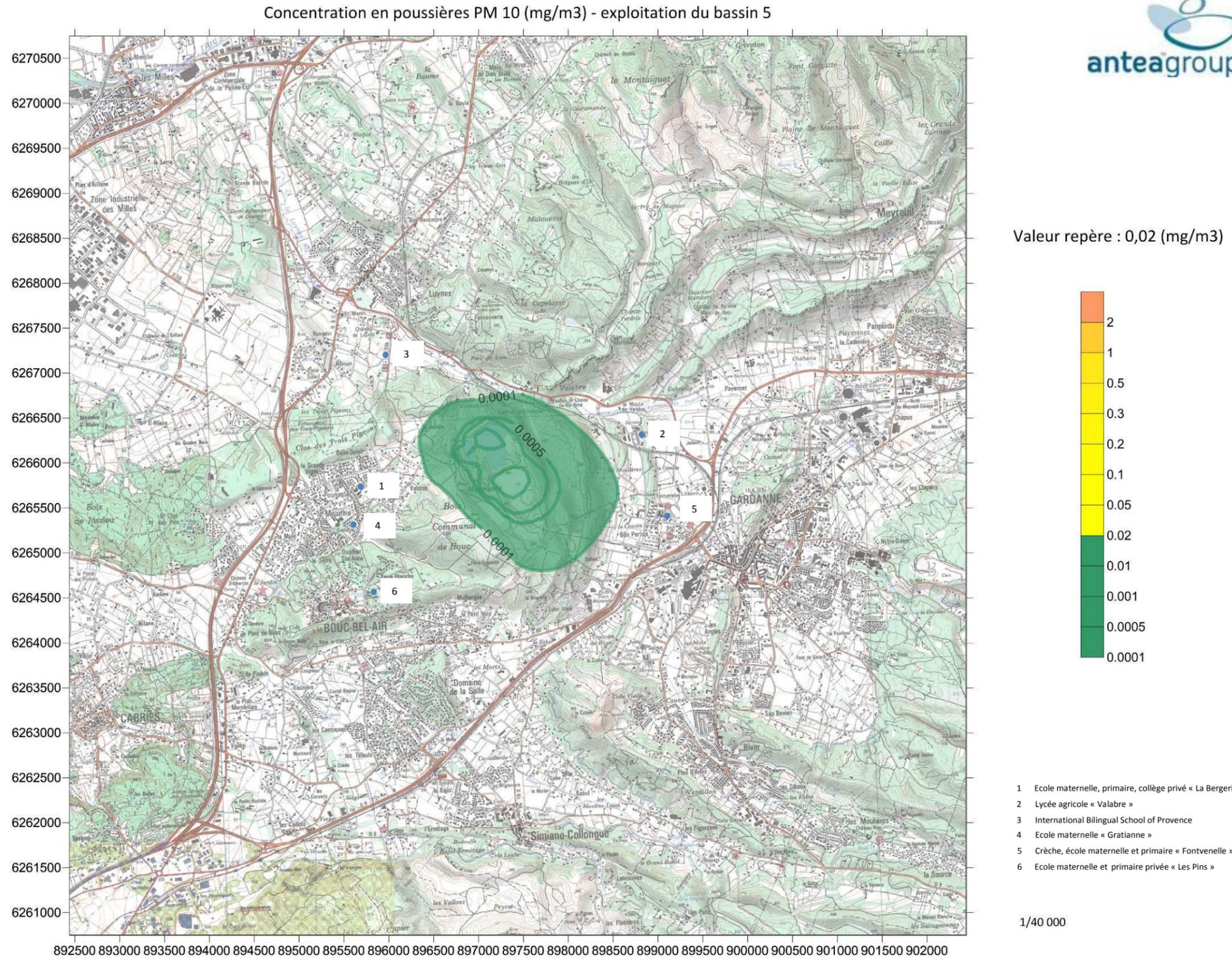
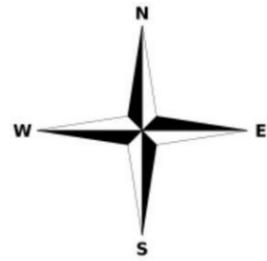


Figure 25 : Courbes d'iso concentration en PM10 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) avec l'exploitation du bassin 5

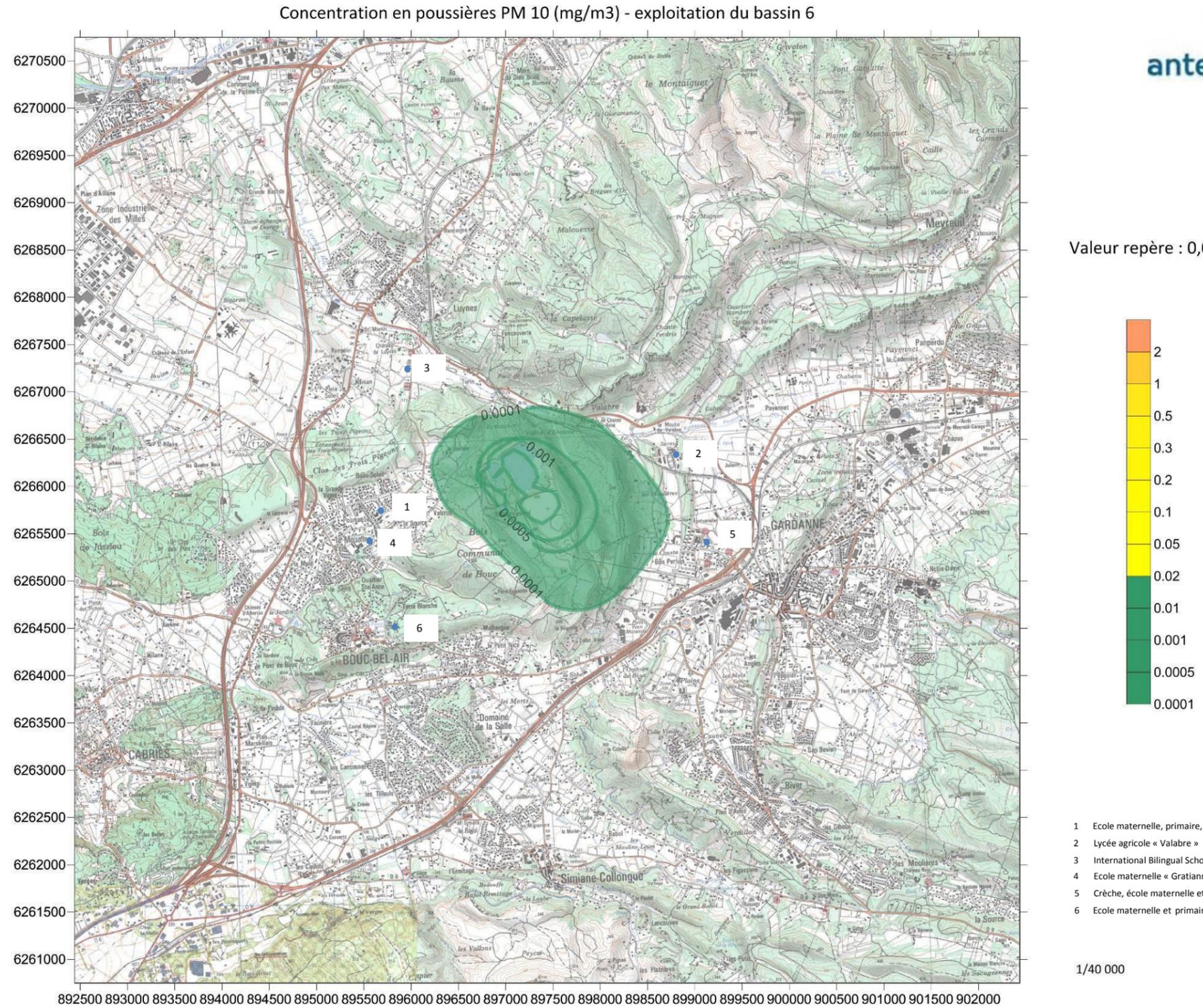
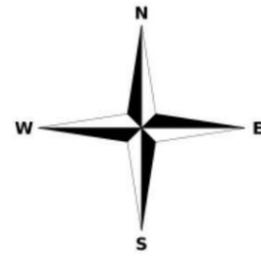


Figure 26 : Courbes d'iso concentration en PM10 (µg/m³) avec l'exploitation du bassin 6

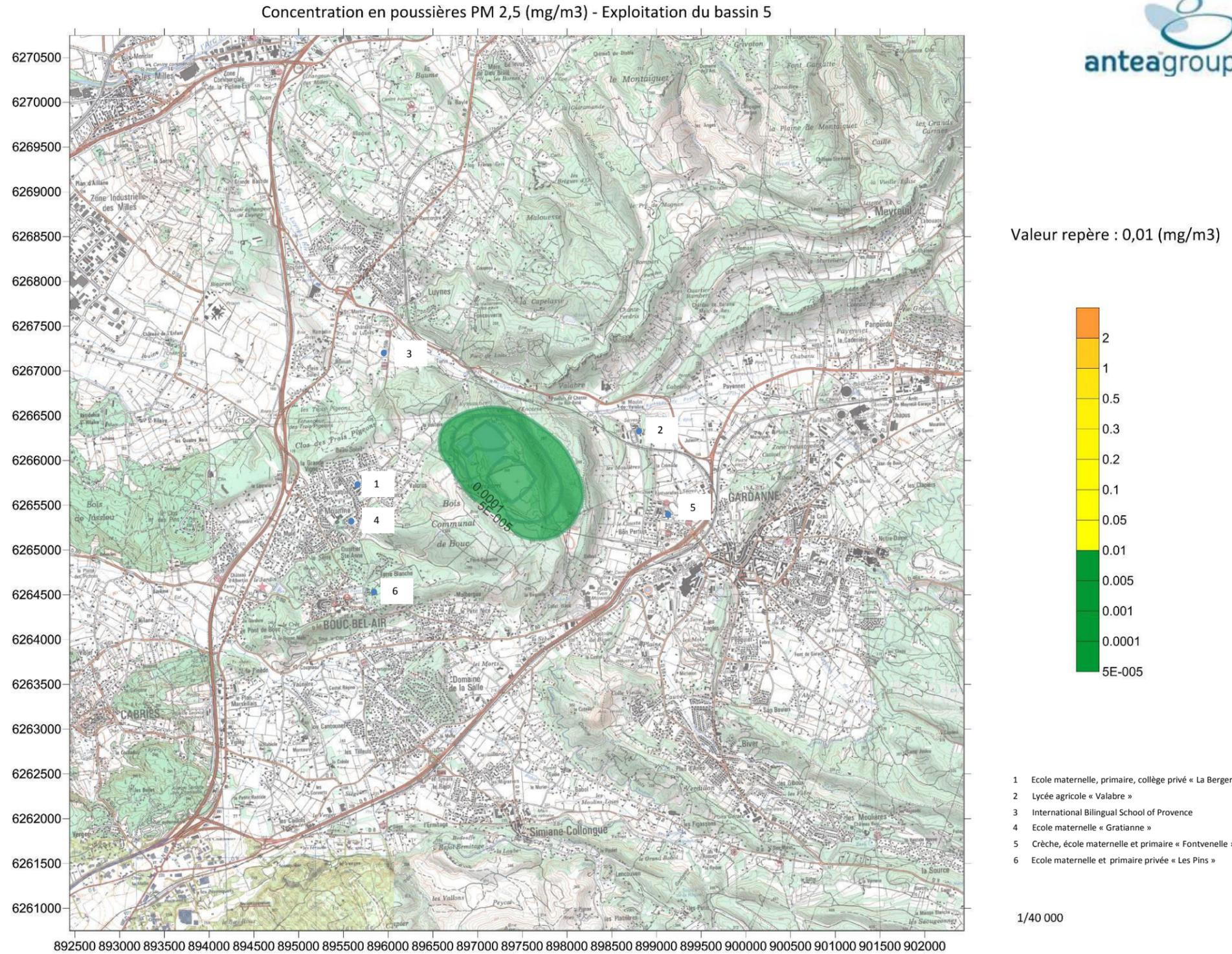
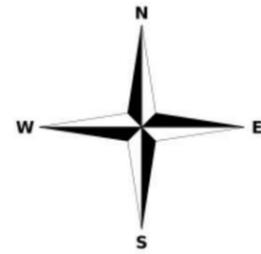


Figure 27 : Courbes d'iso concentration en PM2,5 (µg/m3) avec l'exploitation du bassin 5

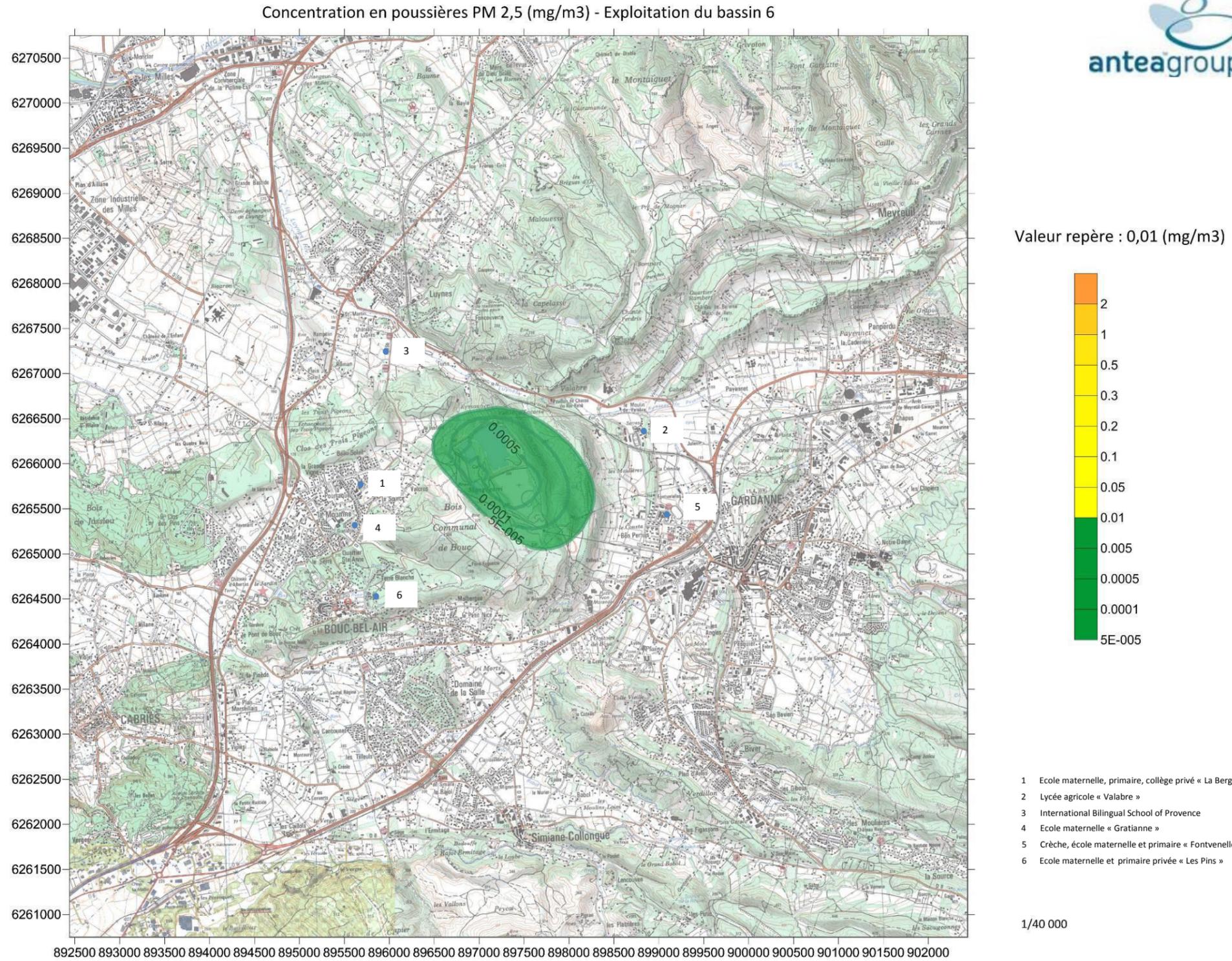
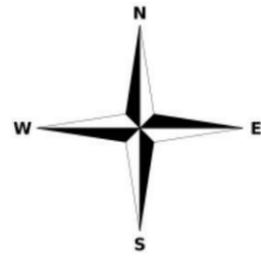


Figure 28 : Courbes d'iso concentration en PM2,5 (µg/m3) avec l'exploitation du bassin 6

3.9.9. Calcul de l'exposition au risque chimique

L'estimation des expositions a été réalisée pour la configuration la plus sécuritaire : exploitation 100% du temps du bassin 6.

3.9.9.1. Paramètres retenus pour le calcul de l'exposition par inhalation

L'évaluation des risques sanitaires prend en compte l'exposition des populations résidant au voisinage du site. Ces populations peuvent comprendre des adultes, mais également des personnes dites « sensibles » (enfants).

Nous avons utilisé les paramètres d'exposition suivants :

- l'exposition des cibles a été calculée en affectant 100 % du temps au lieu de résidence. La durée de leur exposition est donc considérée, dans une approche majorante, de 24 heures par jour, 365 jours par an, pendant 30 ans pour l'adulte (durée de fonctionnement de la carrière) et 6 ans pour l'enfant,
- le taux de pénétration des polluants à l'intérieur des habitats a été pris comme étant égal à 100 %. En effet, les phénomènes de transfert entre l'air extérieur et l'air intérieur étant complexes et difficiles à caractériser, il est supposé que l'air intérieur des bâtiments présente les mêmes concentrations que l'air extérieur,
- de plus, il a été retenu un taux d'absorption par l'organisme des substances de 100 %.

La durée d'exposition des populations avoisinantes est donc considérée, selon une approche majorante, comme permanente (24 heures par jour, 365 jours par an).

La formule permettant de calculer les concentrations inhalées CI, exprimée en mg/m³, est la suivante :

$$CI = \frac{C \times D \times F}{Tm \times 365}$$

- où :
- CI est la concentration inhalée (mg/m³) ;
 - C est la concentration au point d'exposition (mg/m³) obtenue par modélisation (logiciel ADMS) ;
 - F est la fréquence d'exposition (jours/an) ;
 - D est la durée d'exposition (années) ;
 - Tm est le temps moyen de prise en compte de l'apparition possible d'un effet néfaste sur la santé (toute la durée d'exposition D (30 ans et 6ans) pour les substances à effets à seuil et la durée de la vie (70 ans pour les effets cancérigènes).

Les concentrations obtenues au niveau des cibles sont présentées dans le tableau suivant.

Substances	Aluminium	Silice	Fer
N°1 : une habitation	5,6E-05	2,8E-05	1,9E-04
N°2 : le lycée de Gardanne	3,2E-06	1,6E-06	1,1E-05
N°3 : Ecole de Bouc-Bel-Air	5,3E-06	2,7E-06	1,8E-05
N°4 : Ecole de Gardanne	9,1E-06	4,5E-06	3,0E-05

Tableau 46 : Concentrations d'exposition au niveau des cibles retenues (mg/m³)

3.9.9.2. Paramètres retenus pour le calcul de l'exposition par ingestion

L'exposition via les retombées de particules a été calculée pour **l'ingestion de sol et de végétaux autoproduits**.

Le calcul des concentrations dans les sols à partir des retombées a été réalisé avec les hypothèses suivantes :

- pour l'ingestion des végétaux auto-produits accumulation des dépôts de particules pendant 30 ans sur les 30 premiers cm de sol et en l'absence de lixiviation.
- pour l'ingestion de sol accumulation des dépôts de particules pendant 30 ans sur le premier cm de sol et en l'absence de lixiviation.

Les paramètres d'exposition suivants ont été retenus :

Paramètres	Enfant	Adulte
Quantité de sol ingérée (mg/j)	91	50
Poids (kg)	15	60
Consommation de légumes feuilles (g/j) inclus les fruits	90	174
Consommation de légumes racines (g/j)	22	15,5
Durée d'exposition (ans)	6	30

Tableau 47 : Paramètres d'exposition

Les durées et les poids des enfants sont ceux recommandés par l'INERIS¹³. Concernant l'adulte un poids de 60 Kg a été retenu conformément aux données de l'INSERM et de l'OMS.

Dans notre étude, la durée d'exposition est assimilée à la durée de résidence des personnes en un même lieu soit égal à 30 ans pour l'adulte et 6 ans pour l'enfant.

¹³ INERIS (2001) : Méthode de calcul des Valeurs de Constat d'Impact

Cette valeur est cohérente avec les valeurs établies dans les études et bibliographies suivantes :

- selon le document de l'INERIS « Evaluation des risques sanitaires dans les études d'impact des installations classées pour l'environnement, version 2003 », le temps de résidence est pris égal à 30 ans,
- selon une étude française (Nedellec et al, 1998)¹⁴ réalisée à partir de l'analyse des abonnements privés à EDF une durée de résidence de « 30 ans » correspond au percentile 90 de la distribution,
- selon l'US EPA (exposure factor handbook) une durée de résidence de « 30 ans » correspond au percentile 90 de la distribution.

Les quantités de sol ingéré proviennent :

- du document de l'INERIS sur les valeurs de constat d'impact pour l'adulte,
- du document de l'INERIS¹⁵ sur les quantités de terre et poussières ingérées par un enfant.

Pour l'adulte, les quantités de végétaux ingérés proviennent de la base de données CIBLEX¹⁶ pour le département des Bouches du Rhône et une agglomération comprise entre 2000 et 20 000 habitants. Nous avons pondéré les quantités totales de végétaux ingérés par le pourcentage de production autarcique de ces végétaux. La base de données CIBLEX ne donne pas d'information sur la quantité de fruits ingérée. Ainsi, nous avons utilisé la quantité journalière recommandée par l'enquête INCA 2¹⁷.

Pour l'enfant, n'ayant pas de données spécifiques aux Bouches du Rhône, nous avons utilisé les données de consommation journalière d'un enfant de 3 à 5 ans issues de l'enquête INCA 2 et pondérées par le pourcentage de production autarcique de la base de données CIBLEX.

3.9.9.3. Résultats de la modélisation des substances chimiques dans les différents milieux

Les équations d'exposition et les paramètres nécessaires aux calculs sont présentés en Annexe A.

Les tableaux suivants présentent les concentrations d'exposition obtenues pour les éléments traceurs du risque.

¹⁴ Nedellec V., Courgeau D., Empereur-Bissonnet P. La durée de résidence des français et l'évaluation des risques liés aux sols pollués. *Energie Santé*, 1998, 9 (4) 503-514.

¹⁵ Quantités de terre et poussières ingérées par un enfant de moins de 6 ans et bio-accessibilité des polluants – Etat des connaissances et propositions – InVS et INERIS 2012

¹⁶ La banque de données CIBLEX, une compilation de paramètres d'exposition de la population française au voisinage d'un site pollué

¹⁷ Enquête INCA2: Etude individuelle Nationale des consommations alimentaires 2 (2006-2007). AFSSA (2009)

Substances	Aluminium	Silice	Fer
N°1 : une habitation	4,7E+01	2,4E+01	1,6E+02
N°2 : le lycée de Gardanne	1,7E+00	8,7E-01	5,7E+00
N°3 : Ecole de Bouc-Bel-Air	5,5E+00	2,8E+00	1,8E+01
N°4 : Ecole de Gardanne	5,8E+00	2,9E+00	1,9E+01

Tableau 48 : dépôts au sol modélisé au niveau des cibles retenues (mg/m²/an)

Substances	Profondeur du sol	Aluminium	Fer
N°1 : une habitation	1 ^{er} cm	8,3E+01	2,8E+02
N°2 : le lycée de Gardanne		3,1E+00	1,0E+01
N°3 : Ecole de Bouc-Bel-Air		9,7E+00	3,2E+01
N°4 : Ecole de Gardanne		1,0E+01	3,4E+01
N°1 : une habitation	30 cm	2.8E+00	9.2E+00
N°2 : le lycée de Gardanne		1.0E-01	3.4E-01
N°3 : Ecole de Bouc-Bel-Air		3.2E-01	1.1E+00
N°4 : Ecole de Gardanne		3.4E-01	1.1E+00

Tableau 49 : Concentrations dans les sols au niveau des cibles retenues (mg/kg)

Substances	Type de végétaux	Aluminium	Fer
N°1 : une habitation	Feuilles et fruits	5.3E-02	1.7E-01
N°2 : le lycée de Gardanne		1.9E-03	6.4E-03
N°3 : Ecole de Bouc-Bel-Air		6.1E-03	2.0E-02
N°4 : Ecole de Gardanne		6.5E-03	2.2E-02
N°1 : une habitation	Racines	2.5E-03	8.2E-03
N°2 : le lycée de Gardanne		9.0E-05	3.0E-04
N°3 : Ecole de Bouc-Bel-Air		2.9E-04	9.5E-04
N°4 : Ecole de Gardanne		3.1E-04	1.0E-03

Tableau 50 : Concentrations dans les végétaux au niveau des cibles retenues (mg/kg MF)

3.9.10. Calcul de l'exposition aux radioéléments

Pour les radioéléments, les mêmes paramètres sécuritaires que ceux qui ont été utilisés pour le risque chimique, à savoir :

- l'exposition des cibles a été calculée en affectant 100 % du temps au lieu de résidence (approche majorante). La durée de leur exposition est donc considérée, dans une approche majorante, de 24 heures par jour, 365 jours par an, pendant 30 ans pour l'adulte (durée de fonctionnement de la carrière) et 6 ans pour l'enfant,

- le taux de pénétration des polluants à l'intérieur des habitats a été pris comme étant égal à 100 %. En effet, les phénomènes de transfert entre l'air extérieur et l'air intérieur étant complexes et difficiles à caractériser, il est supposé que l'air intérieur des bâtiments présente les mêmes concentrations que l'air extérieur,
- de plus, il a été retenu un taux d'absorption par l'organisme des substances de 100 %.

Il est rappelé que l'ensemble des hypothèses retenues est majorant.

3.9.10.1. Exposition interne par inhalation

Il s'agit de l'incorporation par inhalation des radionucléides présents dans l'atmosphère.

$$E_{\text{inhalation}}(\text{rn,ca}) = A_{\text{air}}(\text{rn}) * F_{\text{inhalable}} * D_r(\text{ca}) * B_T(\text{ca}) * DPU_{\text{inhalation}}(\text{rn,ca})$$

Avec :

- $E_{\text{inhalation}}$: Dose efficace par inhalation, mSv.an^{-1} . Cette exposition est fonction du radionucléide (rn) et de la classe d'âge (ca).
- A_{air} : Activité volumique de l'air pour le du radionucléide (rn), Bq.m^{-3}
- $F_{\text{inhalable}}$: Fraction inhalable des aérosols, sans dimension. Ce caractère est peu accessible et pris à 1 de manière sécuritaire
- D_r : Débit respiratoire de la classe d'âge (ca), $\text{m}^3.\text{h}^{-1}$
- B_T : Budget temps h.an^{-1}
- $DPU_{\text{inhalation}}$: Dose efficace par unité d'incorporation par inhalation, mSv.Bq^{-1} . Ce coefficient est fonction du radionucléide (rn) et de la classe d'âge (ca).

Paramètres		Usagers	
		Exposition maximale	
		Enfant	Adulte
	Fréquence d'exposition (j/365j)	365/365	365/365
D_r	Débit respiratoire de la classe d'âge $\text{m}^3.\text{h}^{-1}$	1.38	1.50
$F_{\text{inhalable}}$	Fraction inhalable des aérosols, sans dimension	1	1
B_T	Budget temps (h.an-1)	8 760	8 760

Tableau 51 : Critères retenus pour les calculs d'exposition pour l'exposition par inhalation

L'activité volumique (Bq.m-3) peut se déduire de l'activité massique (Bq.kg-1) des poussières de Bauxaline® multipliée par l'empoussièrément calculé par le modèle (mg.m-3). Les concentrations obtenues au niveau des cibles sont présentées dans le tableau suivant.

Substances	Famille de l'Uranium	Famille du thorium
N°1 : une habitation	1.06E-07	2.12E-07
N°2 : le lycée de Gardanne	6.00E-09	1.20E-08
N°3 : Ecole de Bouc-Bel-Air	1.00E-08	2.00E-08
N°4 : Ecole de Gardanne	1.71E-08	3.42E-08

Tableau 52 : Concentrations d'exposition au niveau des cibles retenues (Bq/m³)

3.9.10.2. Exposition externe à l'air

Il s'agit de l'exposition aux rayonnements des radionucléides ajoutés à l'air de la zone par le site. Cette dose s'exprime comme suit :

$$E_{\text{panache}}(\text{rn,ca}) = A_{\text{air}}(\text{rn}) * \text{BT}(\text{ca}) * 3\,600 * \text{CD}_{\text{panache}}(\text{rn})$$

Avec :

- E_{panache} : Dose efficace par exposition externe à l'air activités, mSv.an⁻¹
- A_{air} : Activité volumique de l'air pour le du radionucléide (rn), Bq.m⁻³
- $\text{BT}_{\text{activités}}(\text{ca})$: Budget temps h.an-1
- $\text{CD}_{\text{panache}}$: Coefficient de dose par exposition externe à l'air, mSv.s⁻¹.Bq⁻¹.m³. Ce coefficient est fonction du radionucléide (rn).
- La constante 3 600 correspond au nombre de secondes par heure, s.h⁻¹.

Paramètres	Usagers Exposition maximale	
	Enfant	Adulte
Fréquence d'exposition (j/365j)	365/365	365/365
BT-baignade Budget temps, h.an ⁻¹	8 760	8 760

Tableau 53 : Critères retenus pour les calculs d'exposition pour l'exposition externe à l'air

3.9.10.3. Exposition externe au dépôt

Il s'agit de l'exposition aux rayonnements des radionucléides ajoutés à l'air de la zone par le site. Cette dose s'exprime comme suit :

$$E_{\text{dépôt}}(\text{rn,ca}) = A_{\text{dépôt}}(\text{rn}) * BT(\text{ca}) * 3\ 600 * CD_{\text{dépôt}}(\text{rn}) * F_p(\text{rn})$$

Avec :

- **Edépôt**: Dose efficace par exposition externe à l'air activités, mSv.an-1
- **Adépôt** : Activité volumique des sols déposés(rn), Bq.kg-3
- **BT(ca)** : Budget temps h.an-1
- **CDdépôt** : Coefficient de dose par exposition externe à l'air, mSv.s-1.Bq-1.kg. Ce coefficient est fonction du radionucléide (rn), de l'épaisseur considérée et de la densité des sols usuellement prises à 1700 kg/m3.
- **Fp(rn)** : Facteur d'atténuation apporté au rayonnement d'un radionucléide par la couverture d'une surface, sans dimension. Ce coefficient est pris à 1 de manière sécuritaire. Pour une route, il est usuellement de 0,6.
- La constante 3 600 correspond au nombre de secondes par heure, s.h-1.

Paramètres		Usagers	
		Exposition maximale	
		Enfant	Adulte
	Fréquence d'exposition (j/365j)	365/365	365/365
	Durée de déposition, an	30	
	Epaisseur d'intégration, cm	1	
BT-baignade	Budget temps, h.an ⁻¹	8 760	8 760

Tableau 54 : Critères retenus pour les calculs d'exposition pour l'exposition externe à l'air

L'activité massique du dépôt peut se déduire de l'activité massique (Bq.kg⁻¹) de la Bauxaline® par le dépôt modélisé (mg.m⁻²) par nombre d'année, le tout dilué sur 30 ans sur une épaisseur de sol de densité donnée.

Substances	Famille de l'Uranium	Famille du thorium
N°1 : une habitation	1.56E-01	3.12E-01
N°2 : le lycée de Gardanne	5.73E-03	1.15E-02
N°3 : Ecole de Bouc-Bel-Air	1.82E-02	3.65E-02
N°4 : Ecole de Gardanne	1.94E-02	3.88E-02

Tableau 55 : Activité massiques du dépôt (Bq/kg)

3.9.10.4. Ingestion de sol et de végétaux autoproduits

Le calcul des activités dans les sols à partir des retombées a été réalisé avec les mêmes hypothèses que précédemment :

- pour l'ingestion des végétaux autoproduits accumulation des dépôts de particules pendant 30 ans sur les 30 premiers cm de sol et en l'absence de lixiviation.
- pour l'ingestion de sol accumulation des dépôts de particules pendant 30 ans sur le premier cm de sol et en l'absence de lixiviation.

Il s'agit de l'incorporation par ingestion des radionucléides présents dans les aliments produits dans le potager. Les aliments produits dans le potager sont supposés ici être uniquement contaminés par transfert racinaire avec le sol contaminé. La contamination par transfert foliaire consécutif à l'irrigation par une eau contaminée ou au dépôt de poussières contaminées n'est pas considérée.

$$E_{\text{ingestion-aliments}}(\text{rn}, \text{ca}) = A_{\text{sol}}(\text{rn}) * S_{\text{aliments}} F_{\text{racinaire}}(\text{rn}, \text{aliment}) * Q(\text{ca}, \text{aliment}) * TA(\text{aliment}) * 10^3 * DPU_{\text{ingestion}}(\text{rn})$$

Avec :

- **E_{ingestion-aliments}** : Dose efficace par ingestion d'aliments, mSv.an⁻¹
- **A_{sol}** : Activité massique du sol dans le potager, Bq.kg⁻¹
- **Q (ca, aliment)** : Régime alimentaire, kg.an⁻¹
- **DPU_{ingestion}(rn)** : Dose efficace par unité d'incorporation par ingestion, mSv.Bq⁻¹.
- **F_{racinaire}** : Facteur de transfert sol-plante, kgsol sec.kg⁻¹végétal frais.
- **TA(aliment)** : Degré d'autarcie, sans dimension pris à 1 par sécurité.

Pour l'incorporation par ingestion involontaire des radionucléides présents dans le sol. La dose qui en résulte s'exprime comme suit :

$$E_{\text{ingestion-sol}}(\text{rn}, \text{ca}) = A_{\text{sol}} \text{dépôt}$$

- **E_{ingestion-sol}** : Dose efficace par ingestion de sol par inadvertance, mSv.an⁻¹. Cette exposition est fonction du radionucléide (rn) et de la classe d'âge (ca).
- **A_{dépôt}** : Activité volumique des sols déposés (rn), Bq.kg⁻³
- **Q_{sol}** : consommation de sol par inadvertance, kg/an
- **DPU_{ingestion}** : Dose efficace par unité d'incorporation par inhalation, mSv.Bq⁻¹. Ce coefficient est fonction du radionucléide (rn) et de la classe d'âge (ca).

Les paramètres d'exposition suivants ont été retenus :

Paramètres	Enfant	Adulte
Durée de déposition, an		
Epaisseur d'intégration, cm	1	
Epaisseur d'intégration des sols du jardin, cm	30	
Quantité de sol ingérée (kg/an)	0,033	0,018
Consommation de légumes feuilles (g/j) inclus les fruits	90	174
Consommation de légumes racines (g/j)	22	15,5

Tableau 56 : Paramètres d'exposition

L'activité des sols du jardin peut se déduire de l'activité massique (Bq.kg-1) de la Bauxaline® par le dépôt modélisé (mg.m⁻²) par nombre d'année, le tout dilué sur 30 ans sur une épaisseur de sol de densité donnée.

Substances	Famille de l'Uranium	Famille du thorium
N°1 : une habitation	5.20E-03	1.04E-02
N°2 : le lycée de Gardanne	1.91E-04	3.82E-04
N°3 : Ecole de Bouc-Bel-Air	6.08E-04	1.22E-03
N°4 : Ecole de Gardanne	6.46E-04	1.29E-03

Tableau 57 : Activité massiques des sols du jardin (Bq/kg)

3.10. Caractérisation des risques sanitaires

3.10.1. Caractérisation des risques sanitaires pour le risque chimique

3.10.1.1. Généralités

Selon le référentiel de l'INERIS, la caractérisation des risques se fait de la manière suivante :

- **Effet à seuil**

Un Quotient de Danger (QD) est calculé en faisant le rapport entre la Dose Journalière d'Exposition (DJE) ou la Concentration Moyenne dans l'Air (CMA) ou Concentration Inhalée (CI) et la valeur toxicologique de référence (VTR) pour la voie considérée. Selon le référentiel de l'INERIS, un QD inférieur à 1 (seuil préconisé) conduit à ce que la survenue d'un effet toxique apparaît peu probable y compris pour les populations sensibles. **Nous rappelons que l'administration a demandé que la valeur de 0,1 soit utilisée comme valeur repère dans le cadre de la présente étude.**

- **Effet sans seuil**

Pour les effets cancérogènes, un Excès de Risque Individuel (ERI) est calculé en multipliant la DJE ou la CMA/CI par l'Excès de Risque Unitaire (ERU). Selon la circulaire du 8 février 2007 relative aux sites et sols pollués, un ERI inférieur à 10^{-5} est considéré comme un risque acceptable (un excès de risque de 10^{-5} signifie qu'une personne exposée durant la vie entière a une probabilité supplémentaire, par rapport à une personne non exposée, de 1 sur 100 000 de développer un cancer lié à la pollution du site).

Nous rappelons qu'aucun calcul de risques cancérogènes ne sera réalisé du fait de l'absence, pour les substances concernées, de VTR pour les effets cancérogènes.

3.10.1.2. Calculs des risques pour les voies d'exposition retenues

Nous rappelons que la silice est la seule substance présentant une VTR pour la voie d'inhalation. L'aluminium et le fer ne présente que des VTR pour l'ingestion.

Les organes cibles retenus sont :

- l'appareil respiratoire pour la silice,
- le système nerveux central pour l'aluminium,
- le fer ne présente pas d'organe cible associé à la VTR.

Le tableau suivant présente les Quotient de Danger calculés au niveau des trois cibles retenues pour l'ensemble des voies considérées.

Cibles	QD voie d'exposition par inhalation	Somme des QD voie d'exposition par ingestion de sol	Somme des QD voie d'exposition par ingestion de végétaux auto-produits	Somme des QD	Valeur repère
N°1 : une habitation	9,4E-03	3,57E-04	7,9E-04	1,1E-02	0,1
N°2 : le lycée de Gardanne	5,3E-04	1,31E-05	2,9E-05	5,7E-04	
N°3 : Ecole de Bouc-Bel-Air	8,9E-04	4,17E-05	9,2E-05	1,0E-03	
N°4 : Ecole de Gardanne	1,5E-03	4,4E-05	9,7E-05	1,6E-03	

Tableau 58 : Calcul des Quotients de Dangers pour les adultes

Cibles	QD voie d'exposition par inhalation	Somme des QD voie d'exposition par ingestion de sol	Somme des QD voie d'exposition par ingestion de végétaux auto-produits	Somme des QD	Valeur repère
N°1 : une habitation	9,4E-03	2,60E-03	1,6E-03	1,4E-02	0,1
N°2 : le lycée de Gardanne	5,3E-04	9,52E-05	6,0E-05	6,9E-04	
N°3 : Ecole de Bouc-Bel-Air	8,9E-04	3,04E-04	1,9E-04	1,4E-03	
N°4 : Ecole de Gardanne	1,5E-03	3,2E-04	2,0E-04	2,0E-03	

Tableau 59 : Calcul des Quotients de Dangers pour les enfants

Les résultats des calculs de risque indiquent que pour l'ensemble des voies d'exposition considérées les quotients de dangers retenus sont inférieurs à la valeur repère à ne pas dépasser pour les effets toxiques.

Il est rappelé que la somme des QD sans distinction des effets dédiés aux organes cibles est une approche majorante.

Les courbes d'iso-risque suivantes représentent les valeurs de Quotient de Danger obtenues sur l'ensemble de la zone d'étude.

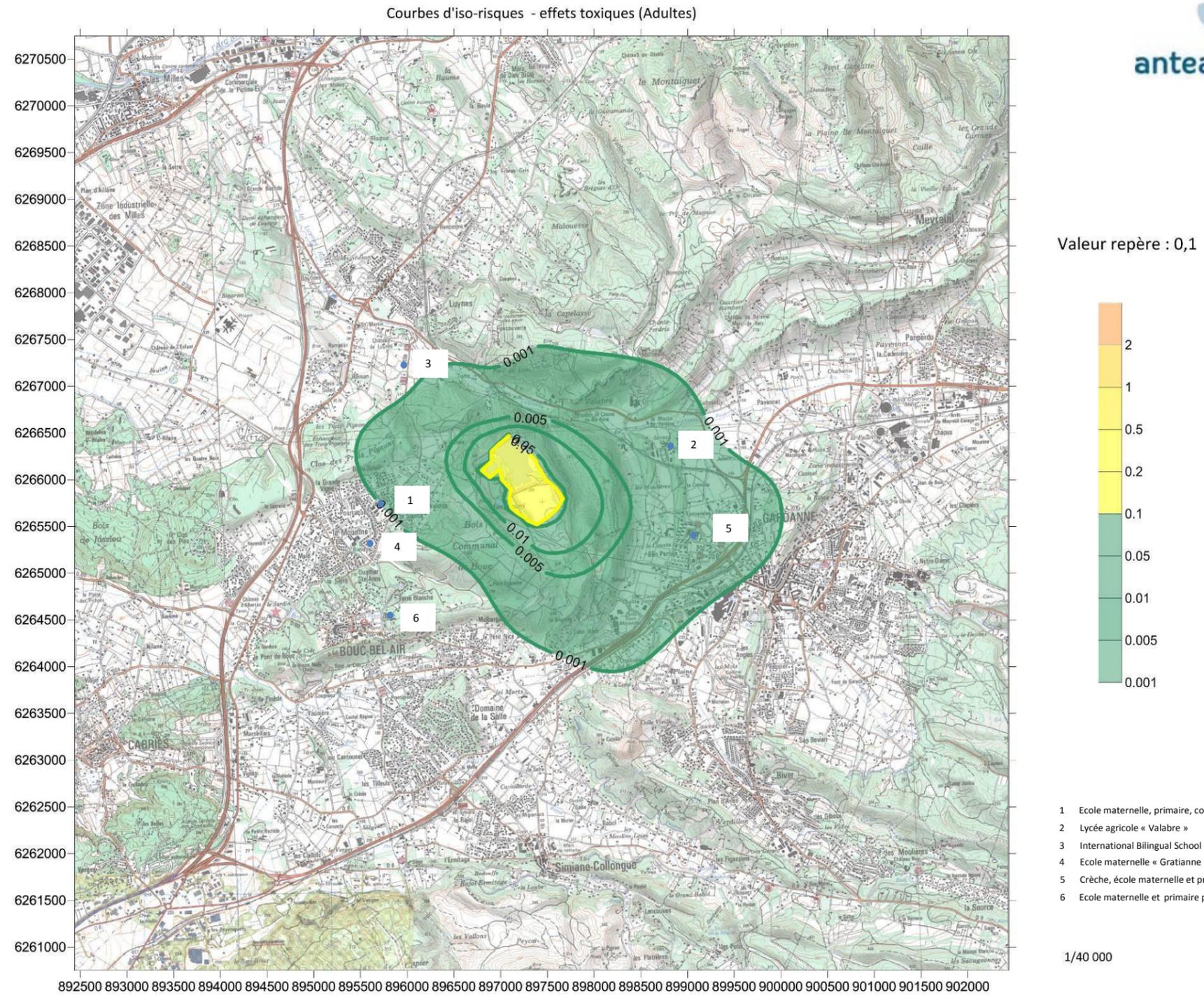
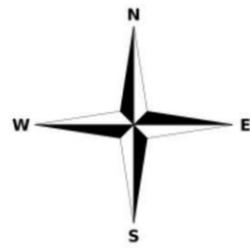
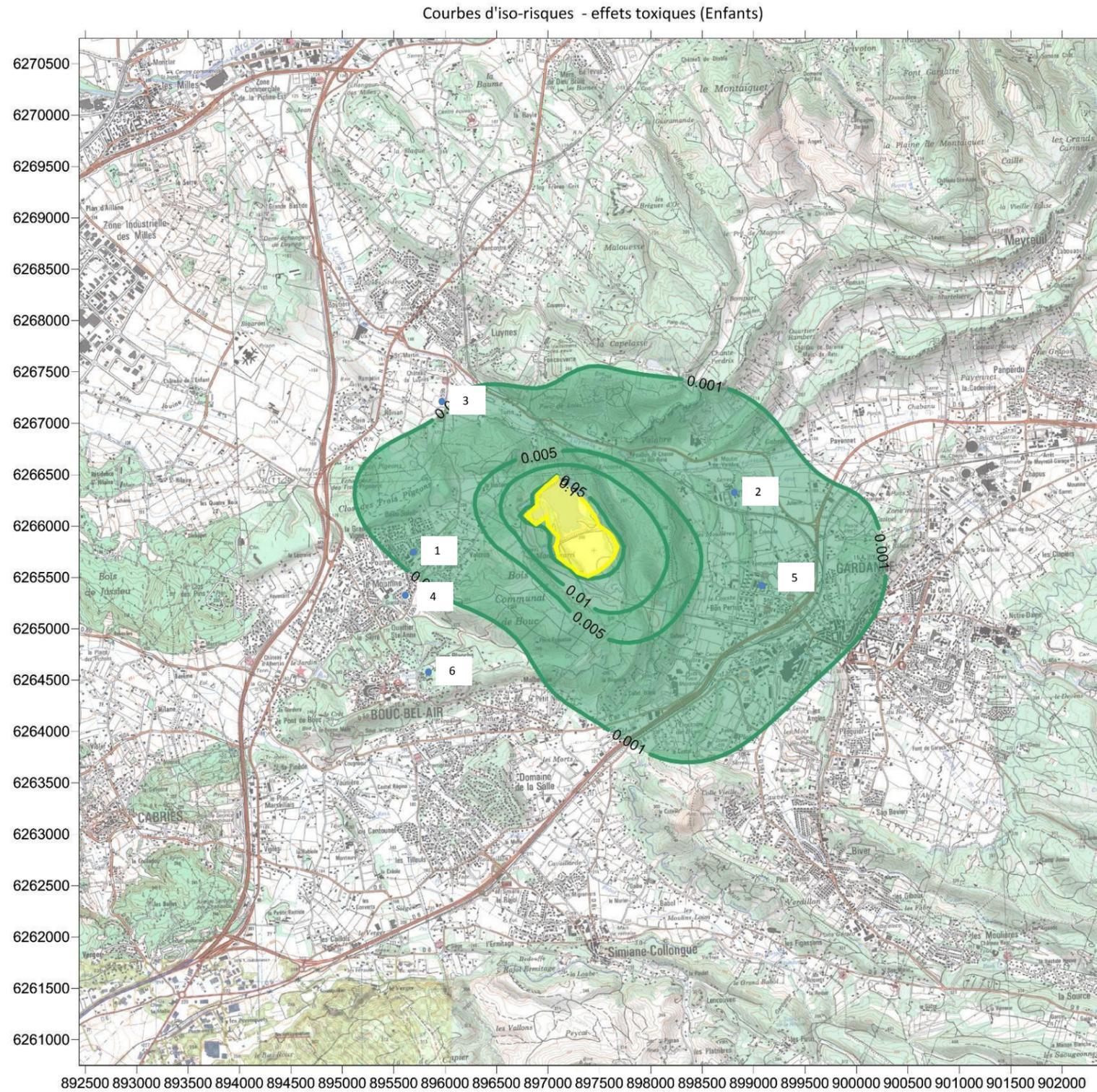
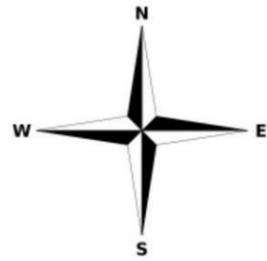


Figure 29 : Courbes d'iso risques pour les effets toxiques (Adultes)



- 1 Ecole maternelle, primaire, collège privé « La Bergerie »
- 2 Lycée agricole « Valabre »
- 3 International Bilingual School of Provence
- 4 Ecole maternelle « Gratieanne »
- 5 Crèche, école maternelle et primaire « Fontvenelle »
- 6 Ecole maternelle et primaire privée « Les Pins »

Figure 30 : Courbes d'iso risques pour les effets toxiques (enfants)

L'observation de ces figures montre que la valeur de 0,1 n'est pas dépassée sur la zone d'étude à part sur des zones situées sur l'emprise du site.

La figure suivante représente un « zoom » sur les limites concernées par la valeur de 0,1. Il est à noter que dans la circulaire du 09 août 2013 relative à la démarche de prévention et de gestion des risques sanitaires des installations soumises à autorisation indique que les critères d'acceptabilité du risque sont de 1 pour les effets toxiques.

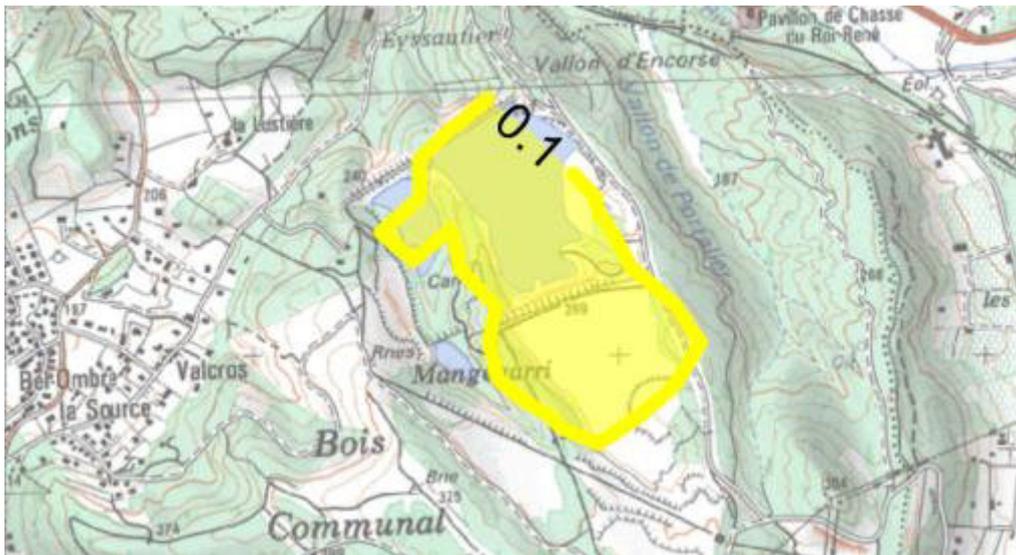


Figure 31 : Zoom sur la zone concernée par un QD de 0,1

La figure ci-dessus montre qu'aucune habitation ou ERP, ou agriculteur n'est concerné par une valeur de QD de 0,1.

3.10.2. Caractérisation des risques sanitaires pour le risque radiologique

3.10.2.1. Méthodologie

Selon le référentiel de l'IRSN, la caractérisation des risques radiologiques n'est pas fondée sur des seuils en termes de risque mais de dose. A ce jour, aucune correspondance simple ne peut être effectuée entre dose et excès de risque individuel.

La dose efficace engagée, exprimée en sievert (Sv) ou milli Sievert (mSv), 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 de l'EQRS.

Le code de la santé publique (article R1333-8 du code de la santé publique) fixe à **1 mSv/an**¹⁸ la limite maximale des expositions que peuvent recevoir les membres de la population du fait des activités nucléaires (Cette valeur de 1 mSv/an ajoutée constitue de ce fait une valeur à laquelle doivent être comparées les résultats de la présente EQER).

La Directive Européenne n°96/29/EURATOM adoptée le 13 mai 1996 et qui est déclinée dans la loi française, précise les normes de base relatives à la protection sanitaire de la population et des travailleurs contre les dangers résultant des rayonnements ionisants.

	Public	Travailleur
Dose efficace	1 mSv	100 mSv/ 5 ans consécutifs et au plus 50mSv/an
Dose efficace à la peau	50 mSv	500 mSv

Tableau 60 : limites de dose annuelles

¹⁸ Arrêté du 25 mai 2005 (Art. R.1333-13 du Code de la Santé Publique et R.231-114 du Code du Travail)
Guide DPPR : « Gestion des sites potentiellement pollués par des substances radioactives », IRSN, version de 2011.

3.10.2.2. Résultats des calculs de Dose pour les voies d'exposition retenues

Les tableaux suivants présentent les doses calculés au niveau des quatre cibles retenues pour l'ensemble des voies considérées.

Cibles	Dose d'exposition par inhalation mSv/an	Dose par exposition externe au panache et au sol mSv/an	Dose d'exposition par ingestion de sols ou de végétaux auto-produits mSv/an	Somme	Valeur repère
N°1 : une habitation	2.36E-04	2.51E-06	1.73E-05	2.56E-04	1
N°2 : le lycée de Gardanne	1.34E-05	9.22E-08	6.36E-07	1.41E-05	
N°3 : Ecole de Bouc-Bel-Air	2.24E-05	2.94E-07	2.03E-06	2.47E-05	
N°4 : Ecole de Gardanne	3.82E-05	3.12E-07	2.15E-06	4.07E-05	

Tableau 61 : Doses pour les adultes

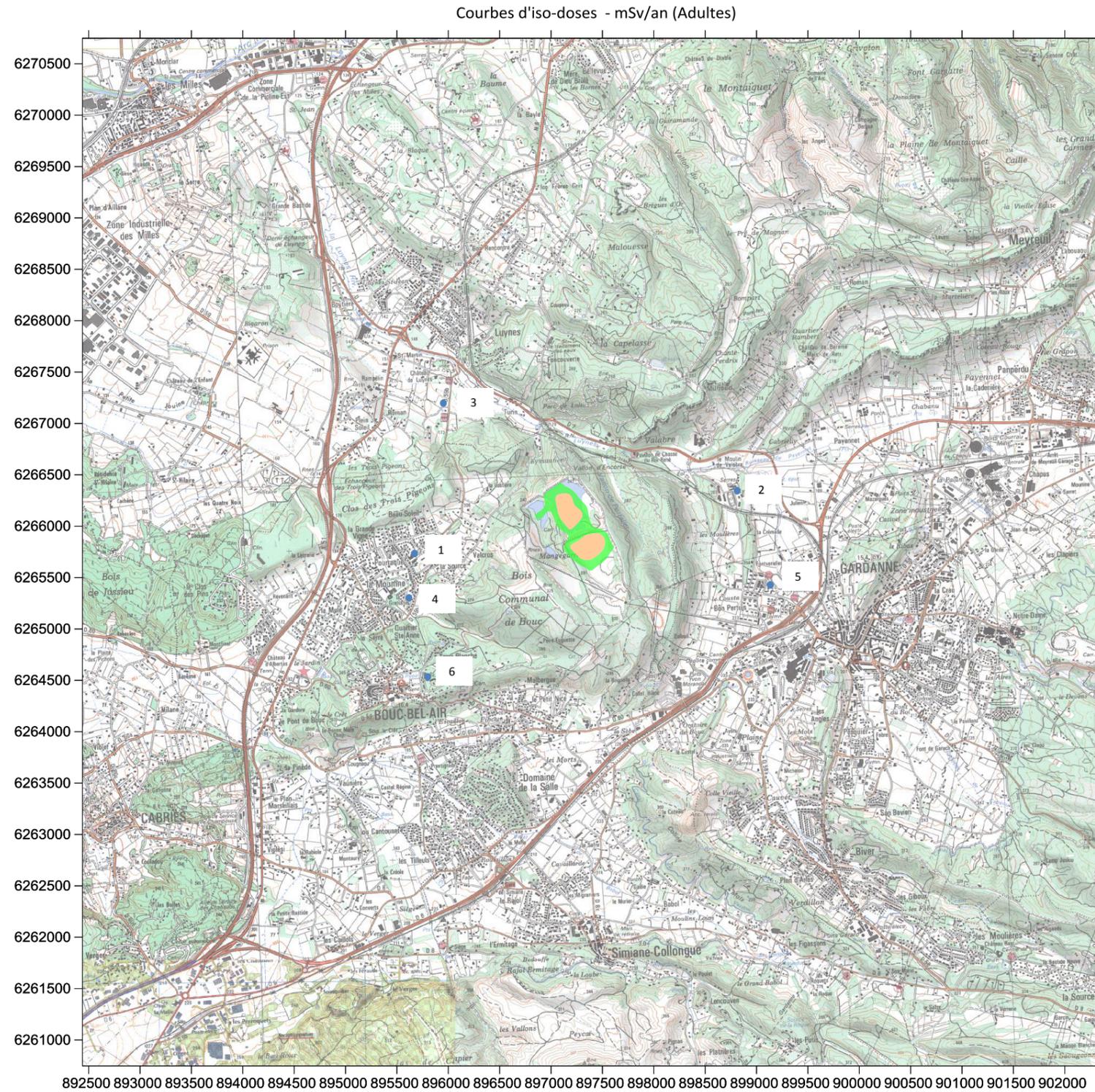
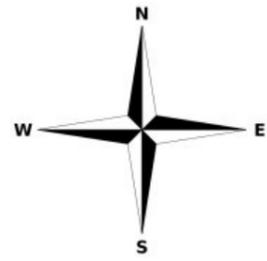
Cibles	Dose d'exposition par inhalation mSv/an	Dose par exposition externe au panache et au sol mSv/an	Dose d'exposition par ingestion de sols ou de végétaux auto-produits mSv/an	Somme	Valeur repère
N°1 : une habitation	4.03E-04	2.51E-06	1.01E-04	5.07E-04	1
N°2 : le lycée de Gardanne	2.28E-05	9.22E-08	3.70E-06	2.66E-05	
N°3 : Ecole de Bouc-Bel-Air	3.82E-05	2.94E-07	1.18E-05	5.03E-05	
N°4 : Ecole de Gardanne	6.51E-05	3.12E-07	1.25E-05	7.80E-05	

Tableau 62 : Doses pour les enfants

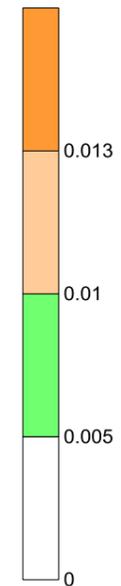
Les Doses efficaces totales calculées pour les usagers sont bien inférieures au seuil de 1 mSv indiquant l'absence de risque lié aux poussières de Bauxaline®.

Les courbes d'iso-doses suivantes représentent les valeurs de doses annuelles obtenues sur l'ensemble de la zone d'étude.

L'observation des figures ci-après montre que la valeur de 1 mSv n'est pas dépassée sur la zone d'étude.



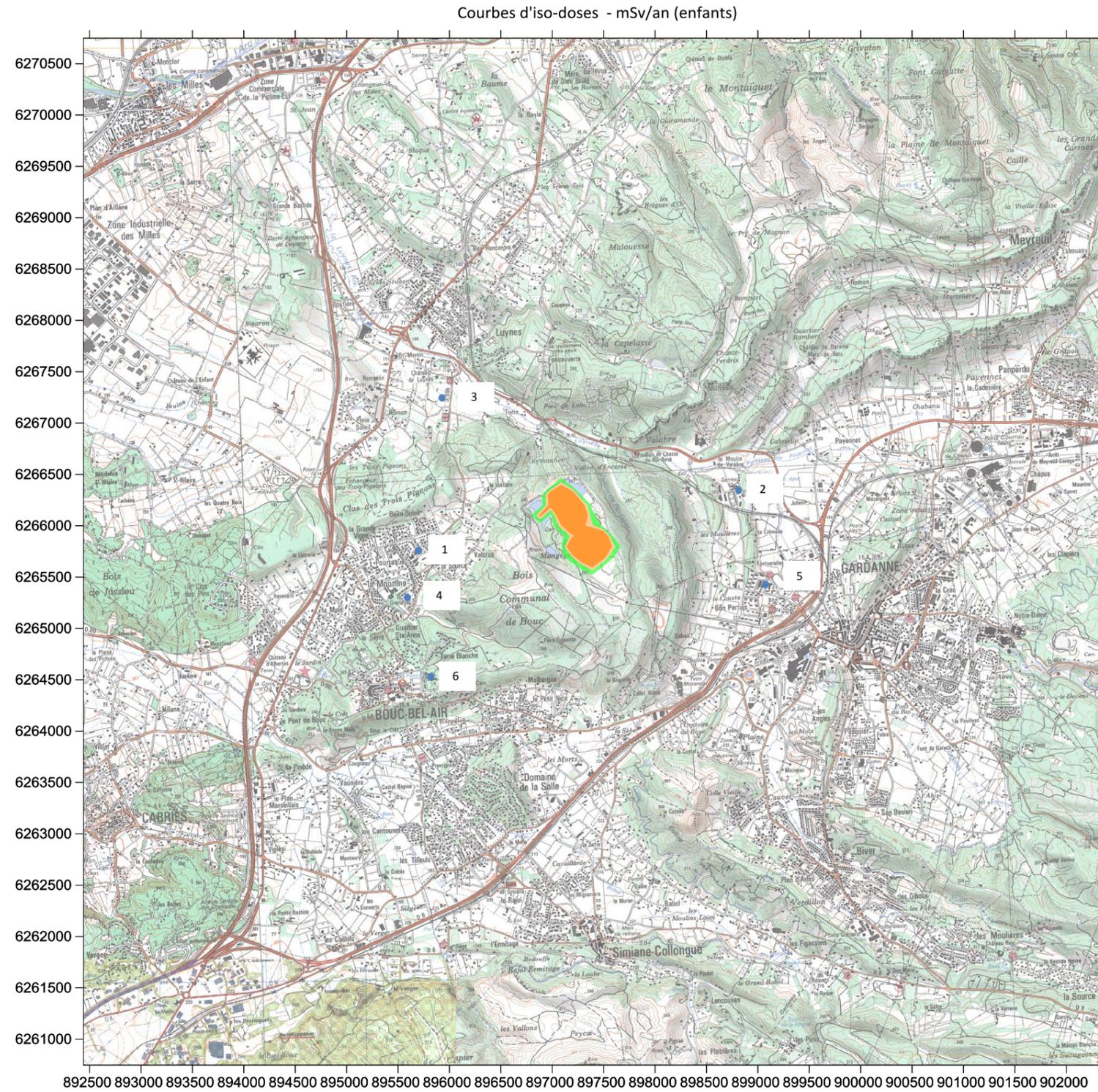
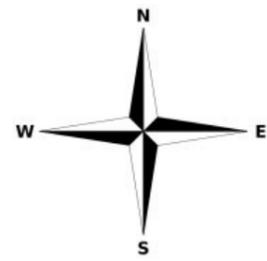
Valeur repère : 1



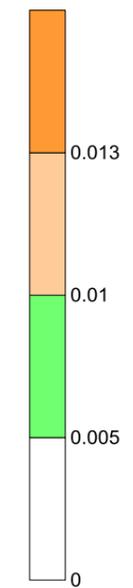
- 1 Ecole maternelle, primaire, collège privé « La Bergerie »
- 2 Lycée agricole « Valabre »
- 3 International Bilingual School of Provence
- 4 Ecole maternelle « Gratianne »
- 5 Crèche, école maternelle et primaire « Fontvenelle »
- 6 Ecole maternelle et primaire privée « Les Pins »

1/40 000

Figure 32 : Courbes d'iso doses (Adultes)



Valeur repère : 1



- 1 Ecole maternelle, primaire, collège privé « La Bergerie »
- 2 Lycée agricole « Valabre »
- 3 International Bilingual School of Provence
- 4 Ecole maternelle « Gratieanne »
- 5 Crèche, école maternelle et primaire « Fontvenelle »
- 6 Ecole maternelle et primaire privée « Les Pins »

1/40 000

Figure 33 : Courbes d'iso dose (enfants)

3.11. Discussion des incertitudes

Les principales étapes de la caractérisation des risques liés aux rejets atmosphériques du site sont :

- l'identification des dangers, comprenant la quantification des flux ;
- les relations dose effet et ;
- l'évaluation de l'exposition, comprenant la modélisation de la dispersion atmosphérique.

Chacune de ces étapes s'accompagne d'incertitudes qui sont détaillées dans les paragraphes ci-dessous.

3.11.1. Incertitudes liées à l'identification des dangers

3.11.1.1. Quantification des flux

L'évaluation des risques sanitaires a été réalisée en considérant les flux maximaux théoriques pouvant être émises à l'atmosphère avec la prise en compte des surfaces maximales soumises à l'érosion du vent et aux tonnages maximaux de matériaux manipulés et chargés/déchargés.

Les quantifications des flux émis sont estimées à l'aide des formules présentées dans le document AP-42 de l'US EPA (*Compilation of Air Pollutant Emission Factors*).

L'approche retenue est considérée comme conservative.

3.11.1.2. Sources retenues

L'ensemble des sources d'émission de poussières a été retenu. Aucune source d'émission de poussières n'a été exclue.

3.11.1.3. Choix des scénarii étudiés

Le scénario étudié est l'inhalation d'air, l'ingestion de sol et de végétaux autoproduits. Ce choix réaliste repose sur l'analyse des émissions du site.

3.11.2. Incertitudes liées à l'évaluation de l'exposition

3.11.2.1. Incertitudes liées à la modélisation de la dispersion

Tout modèle est une représentation simplifiée de la réalité, comprenant des éléments d'incertitude qu'il est important de prendre en compte, notamment pour l'analyse des résultats. La qualité de ces résultats dépend d'une part, du modèle et de la modélisation (phénomène modélisé, équations utilisées, ...) et d'autre part, de la qualité des données d'entrée saisies dans le modèle.

Les paramètres d'entrée du modèle (données météorologiques, caractéristiques des sources, etc.) correspondent à des données adaptées, disponibles à ce jour pour le site et son environnement et qui sont conformes au principe de proportionnalité. Il est raisonnable de considérer que les résultats fournis par ce type de modèle sont du même ordre de grandeur que les concentrations qui pourraient être observées.

La modélisation mise en œuvre ne tient pas compte des phénomènes de dégradation advenant après diffusion dans l'environnement ni des phénomènes de complexation de substances.

3.11.2.2. Incertitudes sur le modèle

Le logiciel ADMS 5 fait partie des logiciels de calcul de dispersion élaborés, intégrant de nombreuses options, et reconnus par la communauté scientifique. Les études de validation du modèle, ainsi que les tests inter-modèles réalisés avec les modèles mondialement reconnus de l'US-EPA (ISCST3 et AERMOD), montrent une bonne performance du modèle ADMS 5.

Ce type de modèle de dispersion atmosphérique est conçu pour calculer la concentration moyenne d'un composé sur une période donnée avec des conditions météorologiques dont les variations présentent une amplitude relativement faible. Le modèle utilise un fichier météorologique séquentiel, comportant des données météorologiques pour chaque heure. Néanmoins les fluctuations des concentrations mesurées par rapport aux concentrations moyennes calculées, dues aux variations des conditions météorologiques et des conditions d'émissions, ne peuvent être complètement prises en compte par les modèles.

Plusieurs campagnes de mesures très documentées, effectuées sur des sites industriels durant les 50 dernières années, ont été référencées et leurs données intégrées à des bases de données destinées à évaluer *a posteriori* les modèles de dispersion atmosphérique. Parmi ces bases de données, on citera l'outil européen d'évaluation MVK (Model Validation Kit). Plusieurs articles internationaux^{19,20} rapportent les résultats de campagnes de comparaisons entre le modèle ADMS et les mesures sur site. On citera notamment :

- la campagne de mesures « Prairie Grass » réalisée sur terrain plat et herbeux. Les rejets se situent à 0,5 mètre au-dessus du sol, avec des conditions météorologiques pour moitié instables (convection) et pour moitié stables. Les mesures ont été effectuées sur des arcs situés à différentes distances de la source. Les simulations effectuées avec ADMS ont montré que les concentrations étaient proches des mesures dans les cas instables, et qu'elles avaient tendance à être légèrement sous-estimées dans les autres cas. Le biais fractionnel (caractérisant l'erreur systématique) est de 19 %. Notons que ces tests montrent que ADMS donne des résultats tout à fait satisfaisants en champ proche (50 mètres de la source) ;

¹⁹ Hanna S.R., Egan B.A., Purdum J. and Wagler J. (1999), *Evaluation of ISC3, AERMOD, and ADMS Dispersion Models with Observations from Five Field Sites*. HC Report P020, API, 1220 LSt. NW, Washington, DC 20005-4070, 1999.

²⁰ ADMS3 validation Summary, CERC, 2001.

- la campagne intitulée « Indianapolis » se déroulent en milieu urbain dense, sans relief. Les émissions proviennent d'une cheminée de 83,8 mètres de haut. Sur cet exercice, ADMS a tendance à surestimer les concentrations à proximité des sources, et à les sous-estimer plus loin. Le biais fractionnel est de 10 %. Globalement ADMS surestime légèrement les concentrations maximales mesurées (7 %) et sous-estime les concentrations moyennes de 14 % ;
- l'exercice « OPTEX Tanks » se situe dans une raffinerie. Les rejets sont émis par une source ponctuelle au niveau du sol, au milieu de plusieurs obstacles. Dans ce cas, ADMS sous-estime de 50 % les concentrations moyennes, et sous-estime la concentration maximale d'un facteur 3 ;
- l'exercice « OPTEX Matrix » se déroule sur le même site que le précédent, mais cette fois les rejets proviennent de plusieurs sources ponctuelles. ADMS surestime dans ce cas les concentrations moyennes d'environ 10 %, et la concentration maximale d'un facteur 3 ;
- le cas « Duke Forest » correspond à des rejets provenant de plusieurs sources ponctuelles situées près du sol, dans un champ, sans obstacle autour. ADMS prédit bien les concentrations maximales dans ce cas (sous-estimation de moins de 10%) et sous-estime les concentrations moyennes d'environ 40 % ;
- le cas « Kincaid » se déroule dans une ferme, sur un terrain relativement plat, avec des émissions provenant d'une cheminée de 187 mètres de haut. Les concentrations maximales sont sous-estimées d'environ 30 %, et les concentrations moyennes sont bien estimées, avec une surestimation de seulement 3 %.

Ces résultats ont été repris et validés par l'Ecole Centrale de Lyon, dans le cadre d'une étude demandée par l'association RECORD en 2005²¹.

3.11.3. Incertitudes liées aux données météorologiques

L'hypothèse que la modélisation et les mesures fournissent une estimation à long terme de ce qui se passe dans l'environnement repose sur la représentativité des données météorologiques indispensables à la simulation.

Les données choisies sur les températures et le vent sont représentatives du site puisqu'elles correspondent à la station d'Aix les Milles implantée à proximité du site, au sein d'un environnement climatique identique.

Météo France a été consulté pour le choix de la station et des années à prendre en compte. Cette démarche limite l'incertitude relative aux données météorologiques.

3.11.4. Incertitudes liées aux critères d'exposition des populations

Les modalités d'exposition, varient d'un individu à l'autre (volume respiratoire, poids corporel, etc.).

²¹ Laboratoire de Mécanique des Fluides et d'Acoustique, Ecole Centrale de Lyon, Modélisation de la dispersion des émissions atmosphériques d'un site industriel – Vers un guide de l'utilisateur – 2ème partie: évaluation des modèles, 2005.

Les hypothèses retenues pour la voie d'exposition par inhalation sont sécuritaires :

- Le taux de pénétration des polluants à l'intérieur des habitats a été pris comme étant égal à 100 %, ce qui est pénalisant ;
- Le taux d'absorption par l'organisme des substances a été retenu égal à 100 %. Là encore ce choix est sécuritaire, puisque certaines substances présentent des taux d'absorption inférieurs.

Pour l'ingestion de végétaux autoproduits, nous nous sommes basés sur les données d'exposition locales indiquées dans la base de données CIBLEX.

Le choix des VTR réalisé dans la présente étude est en adéquation avec la circulaire DGS/SD7B/2006/234 du 30 mai 2006.

Le choix des DPUI et CD dans la présente étude a été réalisé au moyen de la base ECRIN de l'IRSN.

Enfin, concernant l'ingestion de sol, les quantités ingérées sont celles communément utilisées dans les études de risques sanitaires.

4. Conclusion

Une évaluation des risques sanitaire vise à évaluer l'impact de la décharge de Mangearri sur la santé des populations avoisinantes (apports des émissions atmosphériques).

Les sources de danger potentielles pour la santé des populations environnantes retenues sont les émissions de poussières diffuses liées :

- aux zones soumises à l'érosion du vent (surfaces mises à nu),
- aux opérations de manipulation, de chargement et de déchargement des matériaux,
- à la circulation des engins sur les pistes.

L'érosion des 2 bassins constitue la source d'émission de poussières prépondérante. Les substances sélectionnées pour les rejets atmosphériques sont au nombre de 5, il s'agit des PM 2,5, des PM 10 et de la silice pour l'inhalation et du fer et de l'aluminium pour l'ingestion. Il est rappelé que le fer, l'aluminium sont présents sous forme oxydés et ont été assimilés aux formes métalliques pour les calculs de risque (approche sécuritaire).

A partir du choix raisonné des sources, des substances à retenir comme éléments traceurs du risque et des quantités associées, l'inhalation directe de poussières, l'ingestion de sol et de végétaux autoproduits sont jugées comme étant les voies d'exposition les plus pertinentes.

Les concentrations d'exposition en poussières ont été modélisées sur une zone d'étude de 10 km sur 10 km centrée sur le site.

Les habitations situées autour du site sont exposées à une concentration en PM2,5 inférieure à l'objectif de qualité de l'air de 10 µg/m³. Il en est de même pour les concentrations en PM10 qui sont également inférieures à l'objectif de qualité de l'air de 20 µg/m³ pendant l'exploitation.

En outre, les calculs de risque menés pour une exposition à la silice, au fer et à l'aluminium, conduisent à des valeurs inférieures à la valeur de 0,1 sur l'ensemble de la zone d'étude.

Enfin, les Doses efficaces totales liées aux radioéléments des poussières calculées pour le public sont bien inférieures au seuil de 1 mSv indiquant l'absence de risque lié aux poussières de Bauxaline® sur l'ensemble de la zone d'étude.

Observations sur l'utilisation du rapport

Ce rapport, ainsi que les cartes ou documents, et toutes autres pièces annexées constituent un ensemble indissociable ; en conséquence, l'utilisation qui pourrait être faite d'une communication ou reproduction partielle de ce rapport et annexes ainsi que toute interprétation au-delà des énonciations d'ANTEA ne saurait engager la responsabilité de celle-ci. Il en est de même pour une éventuelle utilisation à d'autres fins que celles définies pour la présente prestation.

Il est rappelé que les résultats de la reconnaissance s'appuient sur un échantillonnage et que ce dispositif ne permet pas de lever la totalité des aléas liés à l'hétérogénéité du milieu naturel ou artificiel étudié.

La prestation a été réalisée à partir d'informations extérieures non garanties par ANTEA ; sa responsabilité ne saurait être engagée en la matière.

Annexe A :

Fiche de données sécurité

(5 pages)



Usine de Gardanne
13541 Gardanne - France
☎ : (33) 04 42 65 22 22
fax : (33) 04 42 51 41 79

FICHE DE DONNEES SECURITE

RISQUES SPECIFIQUES

1. IDENTIFICATION

Désignation Commerciale :

Fournisseur :

Type d'utilisation (pour plus de détails, se reporter aux fiches techniques des produits) :

Bauxaline®

ALTEO Gardanne
Alumines de spécialité Gardanne
Route de Biver BP 43
13541 Gardanne – France

Support de culture, récif marin artificiel, revêtement, couverture de décharge, coloration (peintures, matériaux de construction, sols élastomères, confection de masterbatches).

2. COMPOSITION

Composition chimique :

Composition minéralogique :

Numéro CAS * =

*CAS (Chemical Abstracts Service)

Al₂O₃: 10-16% SiO₂: 5-8%
TiO₂: 9-15% CaO: 3-8%
Fe₂O₃: 45-53% Na₂O: 3-5%
Perte au Feu (PaF) : 7 – 12%

Cancrinite: 12,9% Gibbsite: 4,4%
Hydrogénats: 4,8% Boehmite + Diaspore: 8,3%
Perovskite: 5,8% Goethite: 12,7%
Rutile + Anatase: 7,9% Hématite: 35%

Non répertorié CAS.

3. IDENTIFICATION DES DANGERS

Pas de danger identifié.

4. MESURES DE PREMIER SECOURS

Inhalation :

Contact oculaire :

Contact dermique :

Ingestion :

En cas d'inhalation massive, déplacer la personne dans un local ventilé ou à l'air libre.

En cas de contact oculaire massif, laver abondamment à l'eau, en écartant bien les paupières, consulter un médecin en cas d'irritation.

En cas de contact cutané important, laver à l'eau.

Aucune précaution particulière en cas d'ingestion de faibles quantités.

Aucun effet toxique connu par ingestion.

En cas d'ingestion massive, consulter un médecin.

5. MESURES DE LUTTE CONTRE L'INCENDIE

Précautions à prendre :

Moyens d'extinction appropriés :

Le produit n'est pas combustible et ne présente aucun risque d'incendie ou d'explosion.

Non combustible.



Usine de Gardanne
13541 Gardanne - France
☎ : (33) 4 42 65 22 22
fax : (33) 4 42 51 41 79

FICHE DE DONNEES SECURITE

RISQUES SPECIFIQUES

6. MESURES A PRENDRE EN CAS DE DISPERSION ACCIDENTELLE

Précautions individuelles :

Port de masque anti-poussière.

Précautions environnement :

Pas de mesures spéciales.

7. STOCKAGE ET MANIPULATION

Manipulation :

Eviter la dispersion du produit comme pour toutes manipulations de produits pulvérulents.

Stockage :

Pas de précaution particulière.

8. CONTRÔLE DE L'EXPOSITION

Valeurs limites d'exposition professionnelle :

Maintenir une ventilation générale et locale de façon à respecter les règles d'empoussièremment en hygiène industrielle.
En cas de nécessité, utiliser des protections individuelles.

Pour chacun des composants, en France, les valeurs limites sont fixées par l'INRS (Institut National de Recherche et de Sécurité), à savoir :

	VME(mg/m ³)*	VLE**
SiO ₂ (VME pour le quartz) :	0,1	néant
TiO ₂ :	10	néant
Fe ₂ O ₃ :	5	néant

*VME : valeur limite de moyenne d'exposition destinée à protéger les travailleurs des effets à terme, mesurées ou estimées sur la durée d'un poste de travail de 8 heures.

**VLE : valeur limite d'exposition à court terme dont le respect permet d'éviter le risque d'effets toxiques immédiats ou à court terme.

Valeurs limites d'exposition aux poussières (article R.232-5-5 du Code du travail):

Poussières totales: 10mg/m³
Poussières alvéolaires: 5mg/m³

9. PROPRIETES PHYSIQUES

Etat physique, aspect, odeur :

Solide très divisé – présence de particules sous microniques – sans odeur

Grandeurs caractéristiques :

pH en solution aqueuse : basique entre 9 et 10 (par exemple, pH=9,9 pour une concentration en Bauxaline de 100g.L⁻¹).
Pt de fusion : non connu.
Pt d'ébullition : non connu.
Couleur: rouge-brun
Modification de la teinte avec la température (300-1100°C):
FeOOH (jaune) ⇒ Fe₂O₃ (rouge) ⇒ Fe₂O₄ (noir)
Pt éclair : non concerné.
Caractéristiques d'explosivité : non concerné.
Masse volumique : 3,18g/cm³.
Très peu soluble dans tous les milieux.



Usine de Gardanne
13541 Gardanne – France
☎ : (33) 04 42 65 22 22
fax : (33) 04 42 51 41 79

FICHE DE DONNEES SECURITE

RISQUES SPECIFIQUES

10. STABILITE ET REACTIVITE

Stabilité :	Produit stable – Pas de décomposition.
Produit corrosif :	Non.
Conditions à éviter :	Néant.
Matières à éviter :	Néant.
Produits de décomposition dangereux :	Néant.

11. INFORMATIONS TOXICOLOGIQUES

<u>Toxicité aiguë :</u>	Pas de toxicité aiguë connue par ingestion, inhalation ou voie cutanée.
Par ingestion :	
Par inhalation :	
Par voie cutanée :	
<u>Toxicité chronique et à long terme :</u>	Pas de toxicité chronique à long terme connue.
Cancérogénicité :	Aucun des composés de la Bauxaline® ne figure dans une quelconque des trois catégories de la classification réglementaire des produits chimiques cancérogènes, mutagènes, toxiques pour la reproduction.

12. INFORMATIONS ECOLOGIQUES

La Bauxaline® ne présente pas de risques pour l'environnement et ne fait l'objet d'aucun classement écotoxique. Il n'a pas été démontré de toxicité aiguë pour le poisson, les daphnies et les algues selon les tests standardisés OCDE. Il n'existe pas de réglementation spécifique concernant la Bauxaline®.

13. CONSIDERATIONS RELATIVES A L'ELIMINATION

Déchets et résidus :	Si recyclage impossible, le produit peut être mis en décharge considéré comme déchet industriel banal.
Emballages souillés :	La Bauxaline® est inerte et ne requiert aucune précaution particulière.



Usine de Gardanne
 13541 Gardanne - France
 ☎ : (33) 04 42 65 22 22
 fax : (33) 04 42 51 41 79

FICHE DE DONNEES SECURITE

RISQUES SPECIFIQUES

14. INFORMATIONS RELATIVES AU TRANSPORT

Réglementations internationales :

La Bauxaline® n'est pas concernée par les réglementations nationales et internationales suivantes relatives aux produits dangereux:

R.T.M.D.R: Règlement pour le transport des matières dangereuses par route.

A.D.R: Accord européen relatif au transport international des matières dangereuses par route.

A.D.N.R: Règlement pour le transport des matières dangereuses par voie fluviale, géré par la commission du Rhin.

I.N.O: International Maritime Organisation.

I.M.D.G: Code de recommandations pour le transport par mer des matières dangereuses.

I.A.T.A: International Air Transport Association.

15. INFORMATIONS REGLEMENTAIRES :

Réglementations applicables aux Etats membres de la Communauté Européenne :

Produit non classé comme dangereux.

Symbole de danger :

Il n'existe pas de symbole de danger pour la Bauxaline®.

Phrases de risque :

Il n'existe pas de phrase de risque pour la Bauxaline®.

Conseil de prudence :

Il n'existe pas de conseil de prudence pour la Bauxaline®.

Protection des travailleurs et Santé Publique :

La Bauxaline® n'est pas concernée par la directive 90/394/CEE du 28/06/1990 relative à la protection des travailleurs vis à vis des agents cancérogènes.

Réglementation française :

Aération et assainissement des locaux, atmosphère de travail

Article R 232-5 à R 232-5-14 du code du travail est applicable, mais non spécifique à la Bauxaline®.

Non concerné.

Maladie professionnelle

Il n'existe pas de surveillance médicale spécifique pour les travailleurs exposés à la Bauxaline® au titre de l'arrêté du 11/07/97 (J.O du 24/07/77).

Surveillance médicale des travailleurs exposés :

Travaux interdits :

Les articles R 234-9 (relatif aux travaux interdits aux femmes) et R 234-20 (relatif aux jeunes travailleurs de moins de dix-huit ans) du code du travail ne concernent pas la Bauxaline® de façon spécifique.

Protection de l'air, des sols et de la qualité de la vie:

Non concerné.



Usine de Gardanne
13541 Gardanne - France
☎ : (33) 04 42 65 21 21
fax : (33) 04 42 51 41 79

FICHE DE DONNEES SECURITE

RISQUES SPECIFIQUES

16. AUTRES INFORMATIONS :

Informations basées sur les connaissances actuelles.

AVIS

Cette fiche complète les notices techniques d'utilisation, lorsqu'elles existent, mais ne les remplace pas. Les renseignements contenus dans cette fiche sont fondés sur l'état de nos connaissances sur le produit, à la date indiquée. Ils sont donnés de bonne foi, ils ont pour objet la description du produit au regard des exigences dans le domaine de la santé, de la sécurité et de l'environnement. Ces renseignements ne sauraient en aucun cas constituer une quelconque garantie des propriétés spécifiques du produit. L'attention des utilisateurs est en outre attirée sur les risques éventuellement encourus lorsqu'un produit est utilisé à d'autres usages que ceux pour lesquels il est conçu.

Cette fiche a été rédigée conformément à la norme NF-T-01-102 et à l'article R-231-53 du code du travail, complété par l'arrêté du 5 janvier 1993 qui transcrivent en droit français la directive 93/112/CE. La présente fiche tient compte également de la directive 93/112/CE qui abroge et remplace l'annexe de la directive 91/155/CE.

Cette fiche ne dispense en aucun cas l'utilisateur de connaître et d'appliquer l'ensemble des textes réglementant son activité. Il prendra sous sa seule responsabilité les précautions liées à l'utilisation qu'il fait du produit.

L'ensemble des prescriptions réglementaires mentionnées, en particulier à la rubrique 15, a simplement pour but d'aider le destinataire à remplir les obligations qui lui incombent lors de l'utilisation du produit concerné par cette fiche.

Cette énumération ne doit pas être considérée comme exhaustive et n'exonère pas le destinataire de s'assurer qu'éventuellement d'autres obligations lui incombent en raison des textes autres que ceux cités concernant la détention et la manipulation du produit pour lesquelles il est seul responsable.

Le contenu de cette fiche est strictement confidentiel et ne peut être communiqué qu'aux personnes physiques visées par la réglementation en vigueur.

Cette fiche de données de sécurité comporte 5 pages. Elle est la propriété de la société émettrice. Elle est STRICTEMENT CONFIDENTIELLE et ne peut être ni reproduite ni communiquée à des tierces personnes non prévues par la loi, sans l'autorisation préalable écrite de la société ALTEO.

Annexe B :

Equations de calculs de risque

(4 pages)

SCENARIO INGESTION DE VEGETAUX CONTAMINES PAR RETOMBEEES ATMOSPHERIQUES

1) Calcul de la concentration dans les sols

Pour les scenarii d'ingestion de végétaux, le « Guide méthodologique pour l'évaluation de l'impact sanitaire des rejets des raffineries de pétrole », de février 2005, utilise la concentration dans les sols après une accumulation des dépôts de particules sur 1 m² et 30 cm de profondeur, soit un réservoir de 510 kg (0,3 m³ de sol avec une masse volumique de 1,7 kg/dm³) de terre : l'augmentation annuelle de concentration qui en résulterait = dépôt (en mg/m²/an)/510.

Avec les hypothèses suivantes, ces dépôts sont ensuite caractérisés dans le temps et permettent le calcul de la concentration dans les sols au bout de 30 ans :

- accumulation pendant 30 ans,
- mélange du dépôt et des 30 cm de sol [US-EPA, 1998],
- absence de lixiviation.

Ainsi la concentration dans le sol se calcule de la manière suivante :

$$C_{sol} = \text{dépôt} / 510 \text{ (en mg/m}^2\text{/an)} * 30 \text{ ans}$$

2) Equations de transfert dans les végétaux

Les formules exposées ici sont tirées de : « Human Health Risk Assessment Protocol for Hazardous Waste Combustion Facilities » de 2005.

- La concentration en substance dans les végétaux racinaires est donnée par les formules suivantes (Table B-2-10) :

$$Pr_{bg} = Cs \cdot Br_{racines} \cdot VG_{racines}$$

où :

- Pr_{bg} est la concentration souterraine en substance due à l'absorption racinaire (en mg de substance/kg de matière sèche)
- Cs est la concentration moyenne du sol pour le temps d'exposition (en mg de substance/kg de sol)
- $Br_{racines}$ est le facteur de bioconcentration souterraine du sol (sans unité)
- $VG_{racines}$ Facteur de correction empirique pour le sous-sol (sans unité)

- La concentration en substance dans les feuilles des végétaux est donnée par la somme des formules suivantes (Table B-2-7, B-2-8, B-2-9) :

$$Pv = \frac{(C_{air} \times 1000) \cdot Bv_{ag} \cdot VG_{ag}}{Pa}$$

où :

- Pv est la concentration en substance dans la partie aérienne due au transfert air-plante (μg de substance/g de matière sèche (équivalent à mg de substance/kg de matière sèche)
- C_{air} est la concentration dans l'air (en mg/m^3), obtenue par modélisation
- Bv_{ag} est le facteur de transfert de concentration air-plante pour la partie aérienne (sans unité)
- VG_{ag} est le facteur de correction empirique pour la partie aérienne (sans unité)
- Pa est la densité de l'air (en g/m^3)

$$Pd = \frac{D\acute{e}p\hat{o}t \cdot Rp \cdot [1.0 - \exp(-kp \cdot Tp)]}{Yp \cdot kp}$$

où :

- Pd est la concentration en substance sur la partie aérienne due au dépôt direct (en mg de substance/kg de matière sèche)
- $D\acute{e}p\hat{o}t$ est le dépôt des particules au sol (en $\text{g}/\text{m}^2/\text{an}$), obtenu par modélisation
- Rp est la fraction interceptée par la partie comestible de la plante (sans unité)
- kp est le coefficient de perte sur la surface de la plante (en année⁻¹)

T_p est le temps d'exposition avec dépôt sur la partie comestible de la plante (en année)

Y_p est la productivité (kg de matière sèche/m²)

$$Pr_{ag} = Cs \cdot Br_{ag}$$

où :

Pr_{ag} est la concentration en substance dans la partie aérienne de la plante due à l'absorption racinaire (en mg de substance/kg de matière sèche)

Cs est la concentration moyenne dans le sol pour le temps d'exposition (en mg de substance/kg de sol)

Br_{ag} est le facteur de bioconcentration plante-sol pour la partie aérienne du produit (sans unité)

Les valeurs utilisées sont celles par défaut indiquées par le modèle.

Paramètres	Nom	Valeur	Unité	Origine
Fraction interceptée	Rp	0.39	-	HHRAP
Coefficient de perte sur surface plante	kp	18	an-1	HHRAP
Rendement de production	Yp	2.24	kgMS/m2	HHRAP
Durée des cultures	Tp	0.164	an	HHRAP

3) PARAMETRES LIES A L'INGESTION DE VEGETAUX

Les facteurs de bio accumulation retenus pour les végétaux racinaires et feuillus sont présentés ci-après et sont exprimés en poids sec. La conversion poids sec poids frais est réalisée en multipliant les BFC poids sec par la teneur en matière sèche présentée dans le deuxième tableau.

Dans un premier temps nous avons favorisé les données bibliographiques issues du modèle HHRAP.

Le modèle HHRAP donne des valeurs de bioaccumulation pour les plantes racinaires ou les plantes feuillues (tenant compte du transport des polluants des racines vers les niveaux supérieurs)..

Enfin, lorsque la base de données de HHRAP, ne mentionnait pas la substance concernée, les données spécifiques de la base de données RAIS ont été utilisées.

Paramètres de calcul	Valeur	Unités	Justification
Teneur en matière sèche feuillus	0,178	-	INERIS - Méthode de Calcul des VCI - 2001
Teneur en matière sèche racinaires	0,222 (valeurs relatives aux navets et aux radis)	-	INERIS - Méthode de Calcul des VCI - 2001

Les paramètres physico-chimiques utilisés dans l'étude sont les suivants :

Substances	Facteur de bioconcentration (mg.kg ⁻¹ /mg.kg ⁻¹) végétaux racinaires (en poids frais)	Facteur de bioconcentration (mg.kg ⁻¹ /mg.kg ⁻¹) végétaux feuillus (en poids frais)
Fer	8,88E-04 (RAIS)	7,12E-04 (RAIS)
Aluminium	8,88E-04 (RAIS)	7,12E-04 (RAIS)

SCENARIO INGESTION DE SOL CONTAMINES PAR RETOMBEES ATMOSPHERIQUES

Pour les scenarii d'ingestion de végétaux, le « Guide méthodologique pour l'évaluation de l'impact sanitaire des rejets des raffineries de pétrole », de février 2005, utilise la concentration dans les sols après une accumulation des dépôts de particules sur 1 m² et 1 cm de profondeur, soit un réservoir de 17 kg (1^{er} cm de sol avec une masse volumique de 1,7 kg/dm³) de terre : l'augmentation annuelle de concentration qui en résulterait = dépôt (en mg/m²/an)/17.

Avec les hypothèses suivantes, ces dépôts sont ensuite caractérisés dans le temps et permettent le calcul de la concentration dans les sols au bout de 30 ans :

- accumulation pendant 30 ans,
- mélange du dépôt et du 1^{er} cm de sol [US-EPA, 1998],
- absence de lixiviation.

Ainsi la concentration dans le sol se calcule de la manière suivante :

$$C_{sol} = \text{dépôt} / 17 \text{ (en mg/m}^2\text{/an)} * 30 \text{ ans}$$

Rapport

Titre : Evaluation des risques sanitaires
Numéro et indice de version : A 72432 /A
Date d'envoi : 11 décembre 2013
Nombre de pages : 110
Diffusion (nombre et destinataires) :
1 ex, Client
1 ex, Agence

Nombre d'annexes dans le texte : 2
Nombre d'annexes en volume séparé : 0
1 ex, Auteur

Client

Coordonnées complètes : ALTEO.
Route de Biver
BP 62
13541 Gardanne Cedex

Téléphone : 04.42.65.48.37

Télécopie : 04.42.65.28.95

Nom et fonction des interlocuteurs : *Anne-Claire PASZKOWSKI, Ingénieur Environnement Santé Sécurité*

Antea Group

Unité réalisatrice : Agence Rhône Alpes Méditerranée
Equipe RERI
Nom des intervenants et fonction remplie dans le projet :
Anne-Catherine MARTY, interlocuteur commercial
Christian ARNAUD, responsable du projet
Christian ARNAUD et Stéphane BELBEZE, auteur
Virginie GAUTHIER, Secrétariat

Qualité

Contrôlé par : *Anne-Catherine MARTY*
Date : Novembre 2013 - Version A
N° du projet : LRO P 12 0197
Références et date de la commande : n°4511032698 du 17.07.2013

Mots-clés : *ETUDE-SANTE, INDUSTRIE-METALLURGIQUE, EVALUATION,*