

CETE APAVE NORD-OUEST
UNITE MAITRISE DES RISQUES
2 Rue des Mouettes – BP98
76132 MONT ST AIGNAN Cedex
Tél. : 02 35 52 60 60 - Fax : 02 35 59 41 10

YARA
Site d'Issoudun (36)

Dates d'intervention :
du 5/08/10 au 13/09/10
Et du 14/12/2010 au 7/01/11

ANALYSE DES RISQUES RESIDUELS

Code prestation : (10347718 / EV0067)

Adresse(s) d'expédition :

1 Exemple(s) YARA FRANCE
3 avenue Jean Bonnefont
36 100 Issoudun
A l'attention de : MM. De Bont et Duhamel

	Date	Signature
Chef de Projet : Aude OSSELIN	Le 18/07/2011	
Superviseur : Caroline DIONISI	Le 18/07/2011	

HISTORIQUE DES MODIFICATIONS

Version	Date	Objet de la modification
0	13/09/10	Version initiale
1	7/01/11	Version provisoire, modifiée suite à la réalisation d'investigations complémentaires
2	18/07/11	Version définitive

SOMMAIRE

RESUME TECHNIQUE.....	4
1. INTRODUCTION.....	5
1.1. CONTEXTE DE LA MISSION.....	5
1.2. OBJECTIFS.....	5
1.3. METHODOLOGIE.....	5
2. DESCRIPTION DES INVESTIGATIONS REALISEES SUR LE SITE.....	6
2.1. RAPPORTS PRECEDENTS.....	6
2.2. INFORMATIONS ISSUES DU DIAGNOSTIC INITIAL (RAPPORT N°10216931-EV0068).....	6
2.2.1. Contexte géographique.....	6
2.2.2. Contexte environnemental & vulnérabilité.....	7
2.2.3. Historique des activités recensées sur le site.....	7
2.2.4. Investigations sur les sols.....	7
2.3. CARACTERISATION DES POLLUANTS.....	10
2.4. IDENTIFICATION DES VOIES D'EXPOSITION.....	10
2.5. IDENTIFICATION DES CIBLES.....	10
2.6. SCHEMA CONCEPTUEL DETAILLE.....	12
3. MESURES SIMPLES DE GESTION.....	12
4. ANALYSE DES RISQUES RESIDUELS.....	12
4.1. IDENTIFICATION DES DANGERS – DETERMINATION DES RELATIONS DOSE-EFFET DES POLLUANTS.....	13
4.1.1. Classification des substances.....	13
4.1.2. Valeurs toxicologiques de référence.....	13
4.1.3. Pour les effets à seuil (généralement non cancérogènes) ou effets chroniques.....	14
4.1.4. Pour les effets sans seuil (cancérogènes).....	16
4.2. SELECTION DES SUBSTANCES A PRENDRE EN COMPTE.....	16
4.3. EVALUATION DE L'EXPOSITION.....	16
4.3.1. Concentrations dans les sols.....	17
4.3.2. Présentation de la stratégie de calcul.....	19
4.3.3. Evaluation et caractérisation des risques.....	22
4.4. INCERTITUDES ET SENSIBILITES.....	22
4.4.1. Prélèvements et analyses chimiques.....	22
4.4.2. Concentrations dans les sols.....	22
4.4.3. Bruit de fond.....	23
4.4.4. Paramètres de modélisation liés aux cibles.....	24
4.4.5. Valeurs toxicologiques de référence.....	24
4.4.6. Calcul des doses d'exposition et évaluation du risque.....	24
4.4.7. Voies d'exposition retenues.....	24
4.4.8. Conclusions sur les incertitudes et la sensibilité.....	25
5. CONCLUSION.....	26
ANNEXES.....	27
ANNEXE 1 : DESCRIPTION DES VALEURS TOXICOLOGIQUES DE REFERENCE.....	27

RESUME TECHNIQUE

La société YARA a cessé ses activités sur son site d'Issoudun (36). L'usage futur prévu est industriel. Avant la vente et dans le cadre de la cessation d'activités soumises à la législation ICPE, la société YARA souhaite connaître les risques sanitaires liés à la présence de déchets de pyrite grillée sur une grande partie du site (l'extension des zones d'épandage supposée figure sur la carte diagnostic de pollution des sols).

Le diagnostic réalisé a permis de recenser les activités du site : production d'acide sulfurique et de superphosphates, puis production de sulfo-magnésiens et d'engrais liquides. Une étude de vulnérabilité a également été menée. Elle a mis en évidence que la nappe au droit du site est la nappe des Calcaires, elle est assez profonde mais peu protégée. Elle semble de plus être en relation avec la nappe des alluvions de la Théols.

Trente sondages de sol ont été réalisés dans le cadre du diagnostic de pollution des sols. Ils ont mis en évidence la présence d'un dépôt de pyrite sur une partie du site. Ce dépôt présente des contaminations en métaux lourds : arsenic, cadmium, chrome, cuivre, mercure, plomb, zinc, bore, molybdène, antimoine, cobalt, étain, sélénium, strontium. Une majorité de ces contaminations se trouve sous des recouvrements (enrobé, dalle de béton, bâtiments, ballast).

Le scénario d'évaluation des risques sanitaires étudié prend donc en compte les concentrations maximales présentes dans les zones non recouvertes pour le site dans sa configuration actuelle, c'est-à-dire, sans enrobé, dalle de béton, bâtiment ou ballast. Ce scénario ne prend également pas en compte la zone de déchets car celle-ci doit à terme être recouverte par un revêtement.

Une mesure de gestion est également proposée au niveau du sondage S17 présentant les concentrations maximales dans les zones non recouvertes. Cette zone sera également recouverte afin de désactiver les voies de transferts et d'exposition.

Les voies d'exposition prises en compte dans le calcul sont l'ingestion et l'inhalation de poussières de sol. En l'absence de contamination mise en évidence dans les eaux souterraines, les voies d'exposition liées à l'ingestion d'eau ou d'inhalation de vapeurs d'eau ont été supprimées. De plus, en l'absence de données sur la voie d'exposition contact cutané, celle-ci n'a également pas été prise en compte.

Les cibles sont des adultes, employés sur le site. Il a été considéré une durée d'exposition de 40 ans, 220 jours par an, 4 heures passées à l'extérieur et 4 heures passées en intérieur des bâtiments (budget espace temps couramment retenu dans les évaluations des risques sanitaires).

Pour les concentrations dans le sol, la méthodologie adoptée pour procéder aux calculs est la suivante :

- > détermination des concentrations dans les sols (dans les zones non recouvertes uniquement, mesures de gestion incluses) : choix des concentrations maximales et appliquées sur l'ensemble du site
- > détermination de la concentration d'exposition,
- > calcul des risques sanitaires associés.

Les risques sanitaires calculés dans le cadre de cette étude sont acceptables pour les hypothèses retenues.

Le quotient de danger le plus élevé est dû à l'ingestion de poussières de sol (QD max : $1,17 \cdot 10^{-3}$ < 1 pour le cœur, lié au cobalt et pas de risque cancérogène).

(En italique : les seuils de risques acceptables définis par les pouvoirs publics)

1. INTRODUCTION

1.1. CONTEXTE DE LA MISSION

La société YARA FRANCE est propriétaire d'un site industriel sur la commune d'Issoudun (36). Dans le cadre de la cessation d'activités du site, YARA a fait réaliser un diagnostic de pollution des sols au premier semestre 2010 (Ref APAVE n°10216931-EV0068). Ce diagnostic a permis la réalisation de trente sondages de sol et d'autant de prélèvements pour analyses.

Ce diagnostic a mis notamment en évidence la présence de contaminations métalliques de surface sur une grande partie du site. Les métaux lourds retrouvés sont l'arsenic, le cadmium, le chrome, le cuivre, le mercure, le plomb, le zinc, le cobalt et le sélénium.

Le diagnostic n'a pas permis de déterminer de façon précise l'extension de cette contamination métallique.

La société YARA FRANCE souhaite donc connaître les risques sanitaires pour un usage industriel liés aux voies ingestion et inhalation de poussières de sol contaminées par des métaux lourds suite aux dépôts de pyrites.

1.2. OBJECTIFS

L'analyse des risques résiduels va permettre de déterminer si les concentrations en métaux lourds mises en évidence dans les sols de surface non recouverts entraînent des risques sanitaires pour les futurs usagers du site et de proposer des mesures de gestion simples aboutissant à des risques sanitaires acceptables.

En effet, il est considéré que le site reste dans son état actuel : conservation des bâtiments et des recouvrements (enrobé et ballasts au niveau des voies ferrées). Un recouvrement de la zone de déchets est prévu.

1.3. METHODOLOGIE

La méthodologie de cette étude est conforme aux nouvelles modalités de gestion des sites et sols pollués en France. Elle s'appuie ainsi sur les textes suivants :

- 8 février 2007 : *Note ministérielle – site et sol pollués – Modalité de gestion et de réaménagement des sites pollués*. Les trois annexes de ce document ont également été prises en compte.
- 8 février 2007 : *Circulaire relative aux installations classées – Prévention de la pollution des sols – Gestion des sols pollués*.

A l'appui de ces textes réglementaires, les guides suivants ont été pris en compte pour la réalisation technique de cette étude :

- Guide « La démarche d'Analyse des Risques Résiduels », MEDAD, 8 Février 2007

Elle s'appuie également sur les référentiels internationaux qui font référence en matière d'évaluation quantitative des risques sanitaires.

2. DESCRIPTION DES INVESTIGATIONS REALISEES SUR LE SITE

2.1. RAPPORTS PRECEDENTS

Le site a fait l'objet d'un diagnostic APAVE n°10216931-EV0068 en date du 12 juillet 2010 et d'investigations complémentaires intégrées au précédent rapport (mission n°10462895-EV0067)

2.2. INFORMATIONS ISSUES DU DIAGNOSTIC INITIAL (RAPPORT N°10216931-EV0068)

2.2.1. Contexte géographique

La localisation du site se trouve sur la figure ci-dessous :

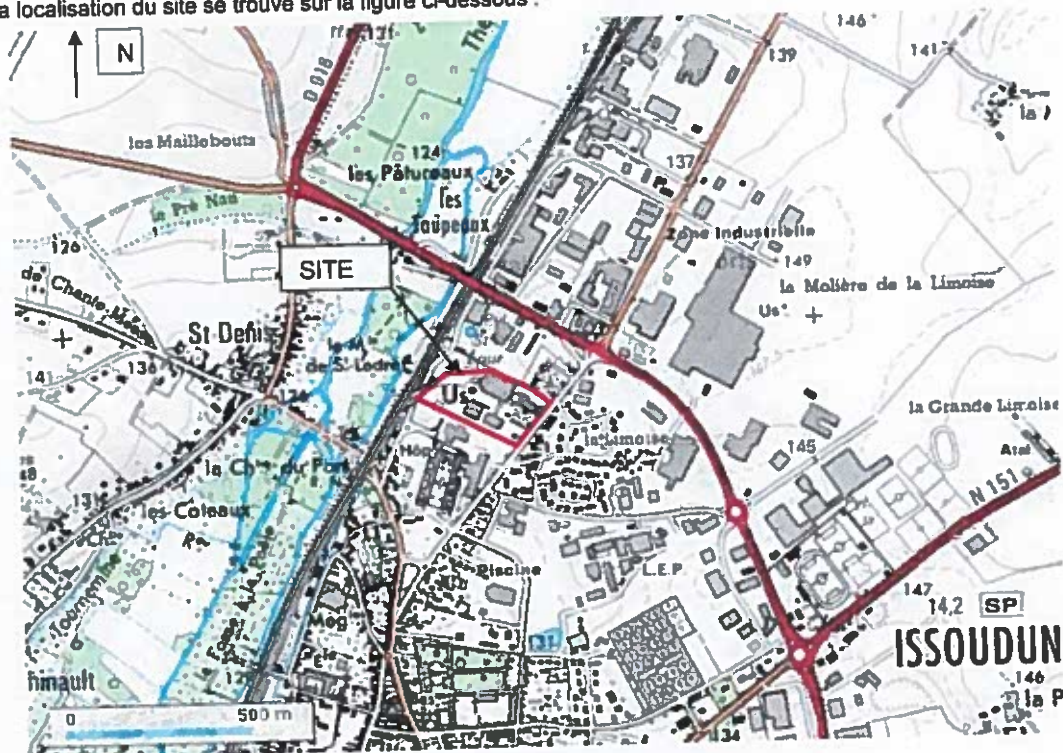


Figure 1 : Localisation du site - Extrait de la carte IGN

2.2.2. Contexte environnemental & vulnérabilité

Le site repose sur les calcaires du Jurassique supérieur (Kimméridgien), qui a été entaillé par la vallée de la Théols.

La nappe présente au droit du site est la nappe des calcaires. Elle se situe à une profondeur de 11,5 m par rapport au sol, au niveau du site. Elle pourrait être en relation avec la nappe des alluvions de la Théols.

Les eaux de la nappe des calcaires ont été utilisées lors de la période d'activité du site.

Le site n'est actuellement plus en activité. Les usages futurs du site sont considérés comme industriels.

2.2.3. Historique des activités recensées sur le site

L'étude historique a mis en évidence que le site a toujours abrité des activités concernant la production d'engrais. Le site a été construit en 1924-1925 pour la production d'acide sulfurique et de superphosphates. Après l'arrêt de la production d'acide sulfurique en 1971, une activité de stockage d'engrais liquides et vrac a été mise en place.

En 1983, le site lance une nouvelle activité de fabrication d'engrais solides (sulfomagnésien) et en 1989 une production de solutions nutritives (engrais liquides). La production de superphosphates est arrêtée en 2000. Les deux autres activités sont poursuivies jusqu'en mars 2010, date de la fermeture du site.

2.2.4. Investigations sur les sols

Les investigations réalisées dans le milieu sol ont permis l'analyse de 31 échantillons sur un grand nombre de paramètres (métaux lourds, hydrocarbures totaux, hydrocarbures aromatiques polycycliques, BTEX, composés organo-halogénés volatils, PCB, composés minéraux, pesticides...). Les analyses complémentaires réalisées sur les prélèvements effectués par YARA ont également été prises en compte. Deux piézajets ont été mis en place afin de réaliser des prélèvements d'air du sol. Le mercure volatil a été analysé sur les prélèvements de gaz du sol et n'a pas été détecté.

La contamination majeure est constituée des dépôts métalliques, notamment dus au remblai de pyrite sur l'ensemble du site. Cette contamination est mise en évidence au niveau des anciennes voies ferrées du site, à proximité de l'ancien bâtiment d'acide sulfurique et dans la zone de circulation principale entre les bâtiments.

Les cartographies des répartitions en métaux lourds sur le site sont annexées au rapport de diagnostic. Les voies d'exposition considérées pour les métaux lourds sont l'ingestion et l'inhalation de poussières. Ces voies d'exposition ne sont actives que si les usagers sont en contact direct. Par conséquent, seules les zones découvertes sont prises en compte. Pour mémoire, les concentrations maximales en métaux lourds dans les zones découvertes uniquement sont présentées dans le tableau suivant. Les zones recouvertes par des bâtiments et par de l'enrobé ne sont pas prises en compte, la configuration du site ne devant pas changer. De même, il est supposé que les voies ferrées seront conservées ainsi que les ballasts. Les résultats obtenus sur les prélèvements recouverts par du ballast n'ont pas été pris en compte.

Enfin, au niveau de l'ancienne zone de déchets, YARA souhaite mettre en place un recouvrement imperméable sur l'ensemble de la zone. Elle n'a donc pas été prise en compte.

En conséquence, les sondages suivants sont retenus : S17, S23, S26 et S29.

Métaux lourds	Concentration en mg/kg MS	Echantillon concerné
Arsenic	160	S17-A
Cadmium	12	S17-A
Chrome	77	S17-A
Cuivre	630	S17-A
Mercure	1,5	S17-A
Plomb	580	S17-A
Zinc	1500	S17-A
Cobalt	14	S17-A
Sélénium	58	S17-A

Seuls les échantillons de surface ont été pris en compte, en raison des voies d'exposition considérées (ingestion et inhalation de poussières de sol). Le mercure n'a pas été considéré comme volatil car il n'a pas été détecté dans les gaz du sol.

2.3. CARACTERISATION DES POLLUANTS

Les commentaires de ces valeurs se sont appuyés sur les valeurs de comparaison proposées dans les guides :

- Guide sur le comportement des polluants dans les sols et les nappes – Edition BRGM, 2008 ;
- Méthodologie des fiches de données toxicologiques et environnementales des substances chimiques de l'INERIS.

Seuls les composés métalliques retrouvés dans les sols de surface et en extérieur sont présentés dans le tableau ci-dessous :

Composé	Solubilité	Mobilité	Puérulence	Forme chimique suspectée	Volatilité	Sol	Eau de surface	Air
Arsenic	Variable selon spéciation – Arsenic lixiviable sur site	Variable selon spéciation – Arsenic lixiviable : semble mobile	Possibilité d'adsorption sur les particules et transport par les poussières	Fonction des conditions de pH et redox	Non (sauf en conditions fortement réductrices possibilité de formation d'arsine volatile)	Tests de lixiviation nécessaires ont été réalisés Analyse du pH (réalisée) Spéciation peut être utile	Comportement variable selon contexte : adsorption sur sédiments et/ou mise en solution	Sauf présence d'arsine, pas de risque de contamination de l'air par volatils Risque de contamination des poussières
Cadmium	Variable (fonction du pH)	Mobile mais affinité avec la matière organique : accumulation dans horizons supérieurs	Possibilité d'adsorption sur les particules et transport par les poussières	Cd2+	Non	Test de lixiviation	Mobile en milieu aquatique	Risque de contamination des poussières
	Sur site il semble lixiviable	Sur site il semble lixiviable : il semble mobile				Prélèvements de surface, si lié à des retombées		
Chrome	Fort pour le chrome VI Faible pour le chrome III	Chrome non lixiviable	Possibilité d'adsorption sur les particules et transport par les poussières	Cr III majoritaire en général, mais inconnue sur site (Fonction du pH et de l'aération)	Non	Test de lixiviation nécessaire (réalisés) Spéciation non nécessaire car chrome VI n'entraîne pas de risques supplémentaires Accumulation en surface, si pollution de type retombée	Chrome III : adsorbé sur sédiments Chrome VI : plus soluble	Risque de contamination des poussières
	Variable : le cuivre est plus soluble et plus mobile à des pH inférieurs à 5 (ce qui n'est pas le cas sur le site) Néanmoins, le Cuivre est lixiviable	au-delà de pH=7, le cuivre n'est pratiquement plus mobile. Le Cuivre est lixiviable	Possibilité d'adsorption sur les particules et transport par les poussières	?		Analyse du pH (réalisé)	Comportement variable selon contexte : adsorption sur sédiments et/ou mise en solution	Risque de contamination des poussières
Cuivre				Fréquemment sous forme de sulfates	Non	Test de lixiviation pour statuer (réalisés) Analyse des sulfates peut être pertinente Accumulation en surface, si pollution de type retombée Test de lixiviation (réalisée), spéciation		

Composé	Solubilité	Mobilité	Pulvérencence	Forme chimique suspectée	Volatilité	Sol	Eau de surface	Air
Mercur	Très variable selon forme chimique – lixivable sur le site	Peu mobile : accumulation en surface dans milieux riches en MO – lixiviable sur le site	Possibilité d'adsorption sur les particules et transport par les poussières	Le BRGM indique que dans les sols, le taux de mercure organique est généralement autour de 1% (notamment sous forme de méthylmercure). Le reste est sous forme inorganique	Mercur élémentaire et composés organiques : oui Composés inorganiques : non	Accumulation en surface, si pollution de type retombée Mesure de pH et test de lixiviation nécessaire Analyse des sulfates peut être pertinente	Comportement variable selon contexte : adsorption sur sédiments et/ou mise en solution	Risque de contamination des poussières (forme particulaire)
Plomb	Faible – fortement lixiviable sur site	Forte sur site (mobilité fonction des conditions de pH, teneur en argile, teneur en matière organique)	Possibilité d'adsorption sur les particules et transport par les poussières	Pb(OH) ₂ voire Pb(OH) ₂ ⁺ et Pb(OH) ₃ ⁻ Parfois sous forme de sulfates	Non	Accumulation en surface (en cas de pollution de type retombée) –	Concentration dans les sédiments (adsorption sur les particules et la MO)	Risque de contamination des poussières
Zinc	Très variable selon forme chimique – en pratique lixiviable sur site	Forte	Possibilité d'adsorption sur les particules et transport par les poussières	Zn ²⁺ le plus souvent	Non	Accumulation en surface si pollution de type retombée –	Comportement variable selon contexte : adsorption sur sédiments et/ou mise en solution	Risque de contamination des poussières
Cobalt	Lixivable sur site	Mobile dans les conditions du site	Possibilité d'adsorption sur les particules et transport par les poussières	Adsorbé sur oxydes de fer et manganèse	Non volatil	Accumulation en surface si pollution de type retombée	Concentration dans les sédiments (adsorption sur les particules et la MO)	Risque de contamination des poussières
Sélénium	Lixivable sur site	Mobile dans les conditions du site	Possibilité d'adsorption sur les particules et transport par les poussières	pH neutre : sélénites et sodium et de potassium Il existe des composés volatils : sélénure d'hydrogène, diméthyl sélénide, diméthyle disélénide Si non non volatil	Non volatil	Accumulation en surface si pollution de type retombée	Sous conditions alcalines et oxydantes : sélénates solubles Sélénites et bisélénites : solubles (pH alcalin/ pH neutre)	Risque de contamination des poussières

2.4. IDENTIFICATION DES VOIES D'EXPOSITION

Les usages futurs du site sont industriels.

La source de contamination considérée dans le cadre de l'analyse des risques résiduels est constituée de composés métalliques.

Le scénario pris en compte est le suivant :

- Conservation du site et des bâtiments dans leur configuration actuelle : maintien de tous les recouvrements (dalle de béton, enrobé et ballasts) et recouvrement de la zone de déchets.

En conséquence, les voies d'exposition sont l'ingestion de sol, inhalation de poussières en intérieur et extérieur.

La voie d'exposition contact cutané n'est pas prise en compte conformément aux préconisations des circulaires du 8 février 2007 du MEEDDAT : en l'absence de procédure établie pour la construction d'une VTR pour la voie cutanée, il ne peut pas être envisagé une transposition de cette voie à partir de VTR disponibles pour les voies orales ou respiratoires.

Les voies d'exposition liées aux eaux souterraines ne sont pas prises en compte, en l'absence de définition d'usages de ces eaux par les futurs usagers du site.

2.5. IDENTIFICATION DES CIBLES

Les cibles considérées sont des travailleurs adultes. Il n'y a pas de cibles dites « sensibles » (enfants ou adultes en situation d'habitat) au droit du site pour les usages considérés.

2.6. SCHEMA CONCEPTUEL DETAILLE

La figure en page suivante intègre les voies d'exposition, les milieux d'exposition et les modes de transfert considérés pour chaque polluant et chaque scénario lors de l'estimation quantitative des risques sanitaires (EQRS).

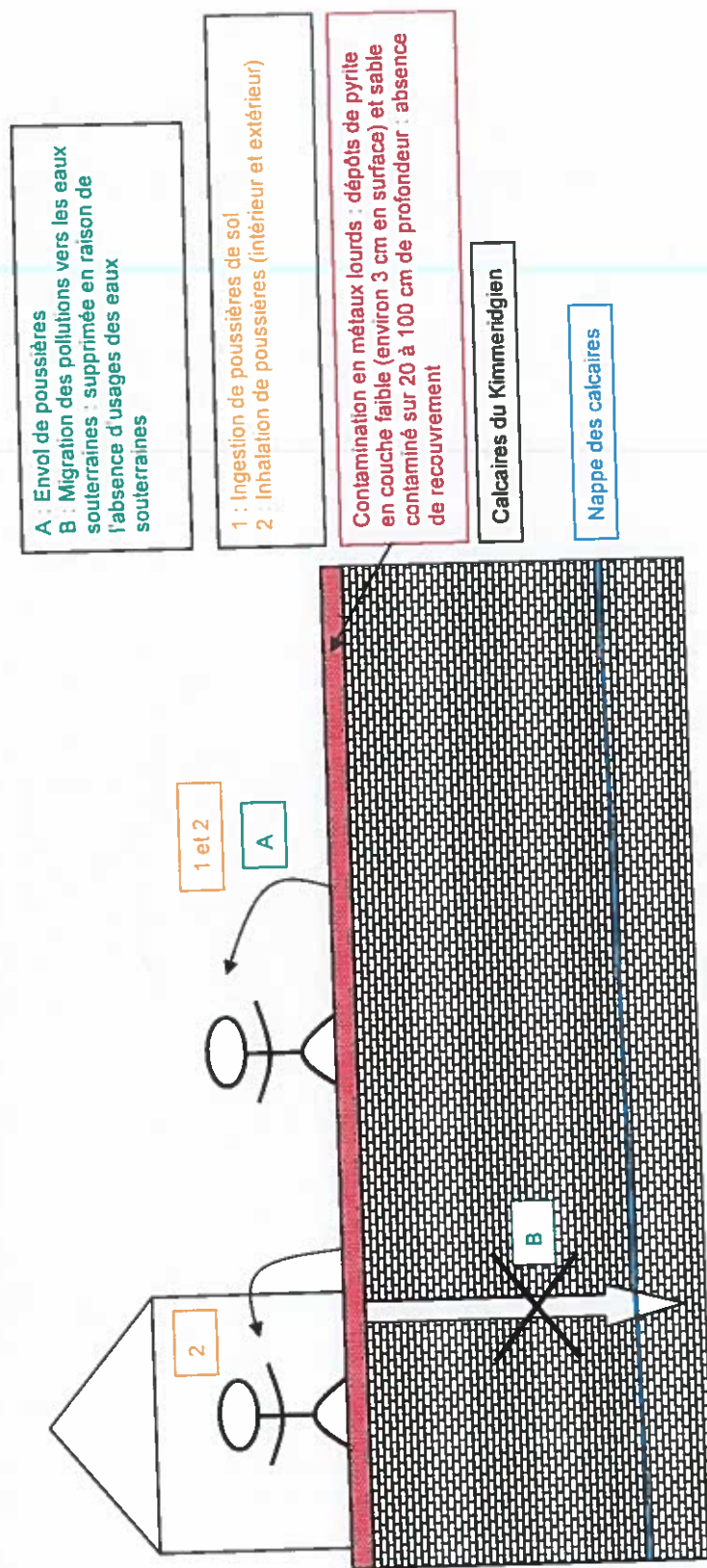


Figure 2 : Schéma conceptuel utilisé dans le cadre de l'ARR

3. MESURES SIMPLES DE GESTION

Au vu des concentrations présentes au droit du sondage S17, nous proposons comme mesure simple de gestion, le recouvrement de cette zone afin de désactiver les voies de transferts et d'exposition vers les usagers. Dans ce cas, les concentrations maximales présentes sur le site au contact des usagers et à considérer dans le calcul de risques sanitaires sont les suivantes :

Métaux lourds	Concentration en mg/kg MS	Echantillon concerné
Cuivre	53	S26-A
Mercur	0,18	S26-A
Zinc	78	S29-A
Cobalt	3,8	S26-A
Sélénium	2	S26-A

Il convient alors de vérifier que les risques sont acceptables pour ces concentrations résiduelles.

4. ANALYSE DES RISQUES RESIDUELS

4.1. IDENTIFICATION DES DANGERS – DETERMINATION DES RELATIONS DOSE-EFFET DES POLLUANTS

Dans ce qui suit, nous présenterons les risques sanitaires inhérents aux substances dangereuses présentes sur le site. D'autre part, nous présenterons en annexe 1, pour chaque substance les valeurs toxicologiques de référence que proposent les organismes officiels les plus reconnus (recommandés par la circulaire 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). Enfin, si des valeurs sont recommandées par l'INERIS, cela sera précisé. Un tableau de synthèse présentant l'ensemble des valeurs retenues est présenté plus bas.

Selon cette circulaire, le choix des VTR peut, entre autre, s'établir par hiérarchie des organismes qui les produisent :

- US EPA (Environmental Protection Agency),
- Agency for Toxic Substances and Disease Registry (ATSDR) (substances à seuil),
- Organisation Mondiale de la Santé (OMS) / International Program on Chemical Safety (IPCS),
- Health Canada (substance à seuil),
- Ministère de l'Environnement Hollandais (RIVM),
- Office of Environmental Health Hazard Assessment (OEHHA).

Les valeurs retenues sont reprises au paragraphe suivant.

4.1.1. Classification des substances

Les substances sont classées en 2 catégories principales :

- substances à seuil (toxiques non cancérigènes)
- substances sans seuil (cancérigènes mutagènes ou génotoxiques).

Il existe une troisième catégorie : les substances cancérigènes non génotoxiques pour lesquelles on peut définir une dose-seuil.

Les substances sans seuil sont classées selon plusieurs niveaux. Différents référentiels de classification de ces substances existent, le principal étant celui du CIRC (Centre International de Recherche sur la Cancérogénicité) qui ne retient que les données positives humaines ou animales.

Le C.I.R.C. a défini cinq classes :

- groupe 1 : l'agent est cancérigène pour l'homme,
- groupe 2A : l'agent est probablement cancérigène pour l'homme ; indices limités chez l'homme et indices suffisants de cancérogénicité pour l'animal de laboratoire,
- groupe 2B : l'agent pourrait être cancérigène pour l'homme ; indices limités de cancérogénicité chez l'homme et indices pas tout à fait suffisants de cancérogénicité pour l'animal de laboratoire,
- groupe 3 : l'agent ne peut être classé pour sa cancérogénicité pour l'homme,
- groupe 4 : l'agent n'est probablement pas cancérigène pour l'homme.

Les autres référentiels utilisés sont notamment celui de l'US-EPA (classification de l'agence américaine pour la protection de l'environnement) et celui de l'ACGIH (Organisation américaine non gouvernementale regroupant les hygiénistes industriels des agences gouvernementales américaines).

4.1.2. Valeurs toxicologiques de référence

On distingue deux types d'effets : les effets à seuil ou systémiques et les effets sans seuil ou cancérigènes, pour lesquels des VTR différentes sont disponibles.

En général ce sont les valeurs de l'US-EPA (United States Environmental Protection Agency) qui sont utilisées.

4.1.3. Pour les effets à seuil (généralement non cancérigènes) ou effets chroniques

La RfD (Référence dose US-EPA) est une estimation de l'exposition par ingestion 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.

La RfC (Référence concentration, US-EPA) est une estimation de l'exposition par inhalation continue d'une population humaine (y compris les sous-groupes sensibles : enfants, personnes présentant des maladies, personnes âgées...) sans risque appréciable d'effets néfastes durant une vie entière.

La toxicité par contact cutané des substances est assez peu connue. Les Valeurs toxicologiques de référence sont rares pour cette voie. Toujours selon les recommandations de la circulaire du 30 mai 2006, aucune transposition de VTR ne doit être pratiquée entre les voies orales et inhalation et cette voie.

A défaut des valeurs de l'US-EPA, on peut adopter :

- Les valeurs proposées par l'ATSDR, à savoir le MRL (Maximum Risk Level). Il s'agit d'estimation de l'exposition humaine journalière à une substance chimique qui est probablement sans risque appréciable d'effets néfastes non cancérigènes sur la santé pour une durée spécifique d'exposition. Ces valeurs sont données pour la voie d'exposition orale et inhalation et pour des durées spécifiques : aiguës (1 à 14 jours), subchronique (15 à 364 jours) et chroniques (365 à plus).
- Les valeurs proposées par l'OMS (Organisation Mondiale de la Santé).
- Enfin, les valeurs proposées par Health Canada, le RIVM hollandais puis par l'OEHA.

En l'absence de valeurs dans un de ces organismes, il est à noter qu'il ne sera pas recherché d'autres valeurs dans la littérature scientifique.

4.1.4. Pour les effets sans seuil (cancérigènes)

Les VTR pour les effets sans seuil sont des ERU (Excès de Risque Unitaire), il correspond à la pente de la droite qui associe 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 lié à une exposition durant la 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.

Le tableau page suivante synthétise les valeurs retenues.

	unité	VTR ingestion à seuil mg/kg/j	VTR inhalation à seuil mg/m3	VTR ingestion sans seuil (mg/kg/j)-1	VTR inhalation sans seuil (mg/m3)-1	VTR inhalation sans seuil (µg/m3)-1
Cuivre 7440-50-8	valeur organisme	1,40E-01 RIVM, 2001	1,00E-03 RIVM, 2000	NC	NC	
	organes cibles	Perte de poids	Système immunitaire et système respiratoire			
Zinc 7440-66-6	valeur organisme	3,00E-01 USEPA, 1992	NC	NC	NC	
	organes cibles	sang				
Mercure organique	valeur organisme	1,00E-04 USEPA, 2001	-	NC	-	-
	organes cibles	Système nerveux central	-	-	-	-
Cobalt 7440-48-4	valeur organisme	1,40E-03 RIVM, 2001	5,00E-04 ATSDR, 2004	NC	NC	
	organes cibles	Cœur	Poumon			
Sélénium 7782-49-2	valeur organisme	5,00E-03 USEPA, 1991	2,00E-02 OEHA, 2001	NC	NC	
	organes cibles	Ongles	Ongles			

Tableau 1 : Valeurs Toxicologiques de Référence retenues

4.2. SELECTION DES SUBSTANCES A PRENDRE EN COMPTE

L'ensemble des métaux lourds mis en évidence dans le sol, dans les zones de remblais de pyrite, dans les zones non recouvertes a été retenu dans le cadre de l'analyse des risques résiduels.

4.3. EVALUATION DE L'EXPOSITION

Trois étapes successives permettent de calculer le risque pour un scénario donné :

- Transfert des polluants des sols vers le point d'exposition, pour définir la concentration des polluants au point d'exposition. Ce transfert dépend notamment des caractéristiques du site (sols, bâtiment, climat, nappe, ...)
- Définition des Doses Journalières d'Exposition (DJE) ou des Concentrations Moyennes inhalées, qui dépendent des concentrations au point d'exposition et des cibles (mode de vie, caractéristiques physiques),...
- Calcul des Risques par comparaison des DJE ou des concentrations d'exposition aux VTR retenues.

Les valeurs utilisées dans le cadre du scénario sont récapitulées plus loin.

4.3.1. Concentrations dans les sols

Les concentrations retenues sont les suivantes :

Métaux lourds	Concentration en mg/kg MS	Echantillon concerné	Profondeur de prélèvement (cm)	Endroit du prélèvement
Cuivre	53	S26-A	0-100	Terre végétale et calcaire
Mercure	0,18	S26-A	0-100	Terre végétale et calcaire
Zinc	78	S29-A	0-40	Sable de surface
Cobalt	3,8	S26-A	0-100	Terre végétale et calcaire
Sélénium	2	S26-A	0-100	Terre végétale et calcaire

Seules les concentrations mises en évidence dans les zones définies comme non recouvertes ont été retenues. L'hypothèse d'une conservation du site dans sa configuration actuelle est retenue et les mesures de gestion des sources sont incluses, notamment le recouvrement de la zone S17 et de la zone de déchets. En première approche, ce sont les concentrations maximales qui sont utilisées dans le calcul de risque.

4.3.2. Présentation de la stratégie de calcul

4.3.2.1. Concentrations dans les milieux

- Sol

Les concentrations dans le sol sont présentées au paragraphe précédent.

Pour mémoire, le mercure retrouvé dans les sols n'est pas considéré comme volatil. Les analyses réalisées sur les gaz du sol ont montré l'absence de mercure volatil dans les gaz du sol.

4.3.2.2. Méthodes de calcul des concentrations d'exposition

➤ Voie ingestion – calcul des doses d'expositions :

Lorsque que l'on considère des expositions chroniques, on calcule la dose journalière d'exposition :

$$DJE = C_i \times Q_i \times t_i \times \frac{T}{P} \times \frac{F}{T_m}$$

Avec :

DJE =	Dose Journalière d'Exposition
C _i =	Concentration dans le milieu d'exposition pendant la fraction de temps t _i (mg_polluant/kg_milieu)
t _i =	Fraction de temps d'exposition à la concentration C _i pendant une journée,
Q _i	Taux d'ingestion de sol (mg_sol/j)
P =	Poids corporel de la cible (kg)
T =	Durée d'exposition (années),
F =	Fréquence d'exposition (jours/an),
T _m =	Période de temps sur laquelle la concentration moyenne d'exposition est calculée (jours).

Pour les effets à seuil, T = 365 jours = T_m - Pour les effets sans seuil, T_m = 70 ans.

➤ Voie inhalation de poussières

Les formules exploitées pour obtenir les doses journalières d'exposition sont les suivantes.

Voie inhalation de poussières	
$CMA = ([P]_{air} \times f \times C_{sol}) \times F \times Rétention$	[Part]_{air} = teneur totale en particules dans l'air f = fraction de particule C_{sol} = Concentration dans le sol F = fréquence d'exposition Rétention = facteur de rétention des poussières dans les poumons

Figure 3 : Méthodes de calculs de la DJE pour la voie ingestion de sol et de la CMA pour la voie inhalation de poussières

4.3.2.3. Mise en place du modèle

➤ Caractéristiques du site : pollution dans l'air via les poussières

	Extérieur	Intérieur	Source
Concentration des poussières dans l'air (mg/m3)	0,07	0,0525	C _{soil}
Fraction de sol du site dans les poussières (-)	0,5	0,8	
Rétention dans les poumons	1	1	Pénalisant

4.3.2.4. Mise en place du modèle – Cibles

Seules les cibles au droit du site sont étudiées dans le cadre de cette étude. Les cibles à l'extérieur du site ne sont pas prises en compte, car s'intégrant dans une étude dite « interprétation de l'état des milieux ».

➤ Caractéristiques physiologiques

La cible considérée dans le cadre de cette étude est un **travailleur adulte**.

Les paramètres d'exposition pour les voies inhalation et ingestion sont les suivantes.

	Source	Adulte
Facteur de biodisponibilité	Pénalisant	1
Taux d'ingestion de sol	Csoil	50 mg/j
Poids corporel	Csoil	70 kg
Rétention des poussières dans les poumons	Pénalisant	1

Tableau 2 : Paramètres d'exposition utilisés pour les cibles

➤ Budget espace-temps des cibles

On considère que les employés seront présent **8 heures/jour, 220 jour/an, pendant 40 ans sur le site** (Source guide VCI de l'INERIS). Selon ce même guide, la répartition entre extérieur et intérieur est la suivante : **4h/j en intérieur et 4h/j en extérieur**.

4.3.3. Evaluation et caractérisation des risques

4.3.3.1. Définitions des quotients de dangers et des excès de risque individuels

Nous rappelons ici que la voie contact cutané n'a pas été retenue.

Le mode de calcul des CMA (concentration d'exposition) a été présenté au paragraphe 4.3.2.2.

➤ Quotient de danger

Pour les effets à seuil, le QD (quotient de danger) représente la possibilité de survenue d'un effet toxique chez la cible, lorsque cet indice est inférieur à 1, la survenue d'un effet toxique apparaît peu probable même pour les populations sensibles.

- Transfert par inhalation :

$$QD = \text{Quotient de danger} = \frac{CMA}{Crf} = \frac{\text{Concentration inhalée (mg / m}^3\text{)}}{\text{Concentration de référence (mg / m}^3\text{)}}$$

- Transfert par ingestion :

$$QD = \text{Quotient de danger} = \frac{DJE}{RfD} = \frac{\text{Dose journalière d'exposition}}{\text{Dose de référence (mg / (kg × j))}}$$

Le Ministère recommande, en première approche et par prudence en l'absence d'informations sur les effets, d'additionner les quotients de danger liés aux différentes substances et aux différentes modalités d'exposition pour en déduire un quotient de danger global pour les substances ayant les mêmes mécanismes d'action toxique sur le même organe cible.

Les effets des différents composés sont regroupés dans le tableau suivant :

Organes cibles	Composés par ingestion	Composés par inhalation
Système nerveux central	Hg	Hg
Perte de poids	Cu	
Système immunitaire		Cu
Système respiratoire		Cu, Co
Sang	Zn	
Cœur	Co	
Ongles	Se	Se

Tableau 3 : Effets à seuils des composés par organe cible

➤ Excès de Risque Individuels

Le calcul des doses dans ce cas se base sur celui mis en œuvre dans le cas des effets à seuil, mais il est rapporté au temps d'exposition/temps de vie entière. Une nouvelle concentration moyenne inhalée, dite « vie entière » est donc calculée afin de prendre en compte la durée d'exposition moyennée sur la vie entière.

Pour rappel, nous retenons l'hypothèse pénalisante d'une durée d'exposition de 40 ans dans le cas d'un scénario industriel, et une durée de vie totale de 70 ans.

Pour les effets sans seuil, l'ERI (Excès de Risque Individuel) représente la probabilité supplémentaire qu'un individu a de développer l'effet associé à une substance (cancer) pendant sa vie du fait de l'exposition considérée.

Pour les effets sans seuil, l'excès de risque individuel doit être inférieur à 10^{-6} (probabilité d'apparition d'un cas supplémentaire de cancer sur une population de 100 000 personnes exposées), niveau repère défini dans le guide « La démarche d'Analyses des Risques Résiduels » en date de février 2007.

Le Ministère recommande, en première approche et par prudence en l'absence d'informations sur les effets, d'additionner les Excès de Risque Unitaire liés aux différentes substances et aux différentes modalités d'exposition

- Transfert par inhalation :

$$ERI = \text{Excès de Risque Individuel} = ERU_i \times CMA \text{ vie entière}$$

$ERU_i =$ Excès de Risque Unitaire pour la voie inhalation, VTR obtenue dans la littérature ($\text{mg}/\text{m}^3 \cdot \text{a}$)⁻¹
 $CMA_{\text{vie entière}}$ Concentration dans l'air inhalé moyennée sur la vie entière (mg/m^3),

- Transfert par ingestion :

$$ERI = \text{Excès de Risque Individuel} = ERU_o \times DJE \text{ vie entière}$$

$ERU_o =$ Excès de Risque Unitaire pour la voie ingestion, VTR obtenue dans la littérature ($\text{mg}/(\text{kg} \cdot \text{j})$)⁻¹
 $DJE_{\text{vie entière}}$ Dose journalière d'exposition moyennée sur la vie entière ($\text{mg}/(\text{kg} \cdot \text{j})$),

4.3.3.2. Calculs des Concentrations d'exposition (effets à seuils) et des quotients de danger

Les concentrations d'expositions sont les concentrations dans le milieu d'exposition pondérées par la fréquence de présence des employés (sur une année pour les effets à seuil).

On a considéré que les différentes concentrations se trouvaient au même endroit.

Les résultats des calculs d'évaluation des risques (concentrations d'exposition) sont regroupés dans les paragraphes suivants :

Composés	Ingestion	Inhalation de poussières en intérieur	Inhalation de poussières en extérieur
Unité	mg/kg/j	mg/m ³	mg/m ³
Cuivre	2,28E-05	2,24E-07	1,86E-07
Mercurure	7,75E-08	7,59E-10	6,33E-10
Zinc	3,36E-05	3,29E-07	2,74E-07
Cobalt	1,64E-06	1,60E-08	1,34E-08
Sélénium	8,61E-07	8,44E-09	7,03E-09

L'INERIS recommande, en première approche et par prudence en l'absence d'informations sur les effets, d'additionner les quotients de danger liés aux différentes substances par organe cible.

	Adultes
SNC	7,80E-04
Perte de poids	1,63E-04
Système immunitaire	4,10E-04
Système respiratoire	4,69E-04
Sang	1,12E-04
Cœur	1,17E-03
Ongles	1,73E-04

Tableau 4 : Quotients de danger

Les valeurs en rouge indiquent les quotients de danger supérieurs à 1.

Le graphique suivant représente les quotients de danger selon les organes cibles. Le quotient de danger le plus fort est celui pour le cœur. Il est dû à 100% à l'ingestion de cobalt.

Les indices de risque par organes cible sont inférieurs à 1 pour tous les organes cibles.

Les risques sont acceptables.

4.3.3.3. Calculs des Concentrations d'exposition (effets cancérigènes, sans seuil) et des Excès de Risque Individuels

Les composés retenus n'ont pas d'effets cancérigènes connus. Aucun calcul de risque n'est effectué pour ce type d'effets.

4.3.3.4. Conclusions

Pour les hypothèses retenues (usages industriels, non recouvrement des sols concernés par la contamination) dans le cadre de cette modélisation et en excluant les zones recouvertes actuellement, les risques sanitaires sont acceptables pour les usagers du site.

4.4. INCERTITUDES ET SENSIBILITES

4.4.1. Prélèvements et analyses chimiques

Toutes les précautions ont été prises lors des phases de terrain pour préserver l'intégrité des échantillons. Cependant, le mode de prélèvement et le conditionnement des échantillons peuvent entraîner des variations sur les résultats d'analyses.

Les analyses des échantillons ont été confiées à un laboratoire possédant toutes les accréditations nécessaires. Cependant, toute mesure de laboratoire est entachée d'une part d'incertitude liée aux conditions de réalisation des analyses. En outre, quelques grammes uniquement sont utilisés pour les analyses de sol, ce qui augmente également les incertitudes.

Concernant la pollution des sols, il n'est pas exclu que des poches de pollution existent et présentent des concentrations supérieures à celles mesurées lors des campagnes des prélèvements.

4.4.2. Concentrations dans les sols

Les concentrations dans les sols ont été mesurées en plusieurs points. Les valeurs maximales mesurées de chaque polluant ont été utilisées. Ce choix constitue une hypothèse très pénalisante, mais qui permet de s'affranchir de données de fréquentation des zones du site en l'absence de détermination précise des usages futurs.

Toutefois, on ne peut exclure la présence de sources ponctuelles présentant des teneurs plus élevées que celles qui ont été mesurées qui auraient échappé au maillage des sondages.

Enfin, les variations de concentrations dans le temps n'ont pas été prises en compte dues notamment aux phénomènes de dégradation des composés. Néanmoins, ce phénomène reste très faible pour les composés inorganiques métalliques.

4.4.3. Bruit de fond

La présente étude a été menée en ne considérant que les risques sanitaires induits par la présence de polluants en concentrations supérieures au bruit de fond sur le site. Les risques liés à l'exposition au bruit de fond général n'ont pas été pris en compte.

Cette pratique correspond à ce qui est couramment réalisé dans ce type d'étude.

Pour mémoire, dans le guide INERIS « Exercice d'évaluation (2004) d'un site non impacté par une activité industrielle particulière. Conséquences en terme de fixation de critères génériques de qualité des sols », trois scénarios ont été considérés pour l'exercice d'évaluation de l'exposition au bruit de fond sur site non impacté par une activité industrielle : ferme, résidentiel avec jardin, résidentiel avec jardin sans potager. En première approche en dépit du caractère partiel de l'exercice, cette évaluation indique des niveaux de risque supérieurs aux niveaux de références pour certaines substances pour chacun des scénarios et jusqu'à deux ou trois ordres de grandeur pour le scénario le plus pénalisant (ferme).

Si l'on procède à l'évaluation de l'exposition au bruit de fond pour le site YARA à Issoudun, en prenant les données suivantes de bruit de fond local, pour les composés retenus dans l'ARR :

Métaux lourds	Concentration mg/kg
Cu	12,9
Hg	0,05
Zn	36
Co	11
Se	0,27

On obtient les risques suivants pour les effets à seuils :

	Adultes
SNC	2,17E-04
Perte de poids	3,97E-05
Système immunitaire	9,98E-05
Système respiratoire	2,70E-04
Sang	7,49E-05
Cœur	3,38E-03
Ongles	2,34E-05

Les risques sanitaires pour les effets à seuil dans le cas d'une exposition au bruit de fond sont au maximum de $3,38 \cdot 10^{-3}$ pour les effets sur le cœur (exposition au cobalt). Ces risques sont inférieurs à 1.

Il n'y a pas d'effets sans seuil en l'absence de composés cancérogènes.

4.4.4. Paramètres de modélisation liés aux cibles

Les cibles ont des caractéristiques couramment admises, mais qui peuvent, en cas d'écarts, les rendre plus vulnérables.

La fréquence de présence sur le site prend en compte un adulte qui travaille 220 jours/an et huit heures par jour, ce qui est une hypothèse pénalisante.

La répartition horaire retenue est de 4 heures dans en intérieur et de 4 heures en extérieur.

Le calcul des risques a été effectué également pour une répartition horaire de 8 heures par jour en intérieur et pas de présence en extérieur.

Les résultats sont les suivants :

	4H en int 4H en ext	8H en int
SNC	7,80E-04	7,80E-04
Perte de poids	1,63E-04	1,63E-04
Système immunitaire	4,10E-04	4,47E-04
Système respiratoire	4,69E-04	5,11E-04
Sang	1,12E-04	1,12E-04
Cœur	1,17E-03	1,17E-03
Ongles	1,73E-04	1,73E-04

La prise en compte de travailleurs en intérieur sur l'ensemble de la journée ne modifie pas les risques de façon significative.

4.4.5. Valeurs toxicologiques de référence

Les valeurs toxicologiques de références ont été recherchées dans des bases de données reconnues (OEHHA, USEPA, ATSDR, INERIS et TPHCWGS).

Les valeurs qui ont été sélectionnées sont dérivées à partir d'études toxicologiques chez les animaux, des facteurs d'incertitudes sont appliqués. Ces valeurs sont déterminées avec les connaissances du moment.

La sélection des VTR a été faite selon le mode recommandé par l'INERIS dans son guide sur l'évaluation du risque sanitaire. Les critères de sélection sont également établis à partir des connaissances du moment. Lorsque l'INERIS propose de retenir ou non une VTR pour les risques chroniques (Cf. étude n° DRC-07-86117-08805B « Point sur les Valeurs Toxicologiques de Référence (VTR) – Juin 2007 – VTR disponibles pour les substances ayant fait l'objet d'une fiche de données toxicologiques et environnementales de l'INERIS – Choix et construction de VTR par l'INERIS »), Apave a suivi les propositions de l'INERIS.

Pour certains polluants, il n'a pas été trouvé de VTR pour la voie inhalation, alors que certaines pouvaient exister pour la voie ingestion.

En l'absence d'information claire sur la similitude des effets entre les deux voies, il n'a pas été fait de transposition de voies à voies, si celle-ci n'avait pas été faite par un organisme reconnu.

4.4.6. Calcul des doses d'exposition et évaluation du risque

Il a été procédé à l'addition des quotients de dangers pour les substances ayant des effets sur les mêmes organes cibles.

Ces calculs sont conformes aux recommandations du ministère.

4.4.7. Voies d'exposition retenues

En raison des polluants considérés dans le cadre de cette ARR, seule les voies ingestion de sol, inhalation de poussières liées à la présence de métaux ont été retenues.

Les voies d'exposition liées à la présence de composés organiques ou minéraux n'ont pas été prises en compte dans ce cas, le but de cette étude étant de déterminer les risques liés à la présence des remblais de pyrite sur le site.

De plus, en l'absence d'impact détecté dans les eaux souterraines au droit du site, les voies liées à ce milieu n'ont pas été prises en compte.

4.4.8. Conclusions sur les incertitudes et la sensibilité

De nombreux facteurs sont à l'origine d'incertitudes sur les risques évalués, mais en l'état actuel des connaissances, il n'est pas possible de réduire ces incertitudes (valeurs toxicologiques, la prise en considération du bruit de fond local en particulier).

Les hypothèses retenues sont le plus souvent conservatoires (lithologie prise en considération, durée d'exposition).

Si un des paramètres de structure devait être modifié, l'incidence sur les autres paramètres et les risques induits devra être calculée (l'impact des paramètres n'étant pas forcément le même).

L'analyse des incertitudes montrent que les hypothèses retenues dans le calcul de risques sanitaires sont raisonnablement majorantes.

Rappelons enfin que ces conclusions ne sont valables qu'à partir des renseignements obtenus en majorité de la part de l'entreprise, des analyses, sondages et prélèvements réalisés, et de certaines hypothèses faites. Cela ne préjuge en rien de l'état du reste du site, de l'impact d'autres activités sur le site, de son évolution dans le futur, de la qualité des sols et des nappes souterraines.

Nous attirons également l'attention sur les points suivants : toute modification même partielle des hypothèses de départ et/ou des usages du site tels que décrits dans le présent document ainsi que tout élément nouveau découvert lors de travaux éventuels risque de changer les conclusions de cette étude et nécessitera la réalisation d'une étude complémentaire de réactualisation afin de valider la compatibilité du site avec le projet aménagé.

5. CONCLUSION

La société YARA a cessé ses activités sur son site d'Issoudun (36). L'usage futur prévu est industriel. Avant la vente et dans le cadre de la cessation d'activités soumises à la législation ICPE, la société YARA souhaite connaître les risques sanitaires liés à la présence de déchets de pyrite grillée sur une grande partie du site (l'extension des zones d'épandage supposée figure sur la carte diagnostic de pollution des sols).

Le diagnostic réalisé a permis de recenser les activités du site : production d'acide sulfurique et de superphosphates, puis production de sulfo-magnésiens et d'engrais liquides. Une étude de vulnérabilité a également été menée. Elle a mis en évidence que la nappe au droit du site est la nappe des Calcaires, elle est assez profonde mais peu protégée. Elle semble de plus être en relation avec la nappe des alluvions de la Théols.

Trente sondages de sol ont été réalisés dans le cadre du diagnostic de pollution des sols. Ils ont mis en évidence la présence d'un dépôt de pyrite sur une partie du site. Ce dépôt présente de contaminations en métaux lourds : arsenic, cadmium, chrome, cuivre, mercure, plomb, zinc, bore, molybdène, antimoine, cobalt, étain, sélénium, strontium. Une majorité de ces contaminations se trouve sous des recouvrements (enrobé, dalle de béton, bâtiments, ballast).

La société YARA souhaite connaître les risques sanitaires associés aux déchets de pyrite, dans les zones non recouvertes.

Le scénario étudié prend donc en compte les concentrations maximales présentes dans les zones non recouvertes, c'est-à-dire, sans enrobé, dalle de béton, bâtiment ou ballast. Ce scénario ne prend également pas en compte la zone de déchets car celle-ci doit à terme être recouverte par un revêtement.

Une mesure de gestion est également proposée au niveau du sondage S17 présentant les concentrations maximales dans les zones non recouvertes. Cette zone sera également recouverte afin de désactiver les voies de transferts et d'exposition.

Le présent rapport inclut :

- les phases de calcul visant à déterminer si les concentrations résiduelles du sol induisent des risques sanitaires inacceptables pour les futurs usagers ;

Les voies d'exposition prises en compte dans le calcul sont l'ingestion et l'inhalation de poussières de sol. En l'absence de contamination mise en évidence dans les eaux souterraines, les voies d'exposition liées à l'ingestion d'eau ou d'inhalation de vapeurs d'eau ont été supprimées. De plus, en l'absence de données sur la voie d'exposition contact cutané, celle-ci n'a également pas été prise en compte.

La présente étude a été menée sur la base d'un certain nombre d'hypothèses qui sont liées à la connaissance des usages futurs du site : industriels. La configuration du site a été prise identique à l'actuelle.

Les cibles sont **des adultes, employés sur le site**. Il a été considéré une durée d'exposition de 40 ans, 220 jours par an, 4 heures passées à l'extérieur et 4 heures passées en intérieur des bâtiments (budget espace temps couramment retenu dans les évaluations des risques sanitaires).

Pour les concentrations dans le sol, la méthodologie adoptée pour procéder aux calculs est la suivante :

- détermination des concentrations dans les sols (dans les zones non recouvertes uniquement, mesures de gestion incluses) : choix des concentrations maximales et appliquées sur l'ensemble du site
- détermination de la concentration d'exposition,
- calcul des risques sanitaires associés.

Les risques sanitaires calculés dans le cadre de cette étude sont **acceptables pour les hypothèses retenues**.

Le quotient de danger le plus élevé est dû à l'ingestion de poussières de sol (QD max : $1,17 \cdot 10^{-3}$ < 1 pour le cœur, lié au cobalt et pas de risque cancérogène).

(En italique : les seuils de risques acceptables définis par les pouvoirs publics)

Les calculs ont été réalisés sur la base des connaissances scientifiques du moment avec des hypothèses **raisonnablement pénalisantes**. Les valeurs des paramètres retenues ont été justifiées et des études de sensibilité des modèles aux principaux paramètres ont été réalisées. Ces études de sensibilité ont permis de montrer que l'estimation du risque réalisée était globalement majorante tout en restant raisonnable.

Cette étude a été menée en considérant des usages industriels et des cibles exposées, adultes. Un scénario correspondant à la **configuration actuelle** du site a été retenu et intégrant des mesures de gestion simples (recouvrement des zones contaminées). Une éventuelle démolition des bâtiments n'a pas été prise en compte. Cette étude ne prend pas en compte l'ensemble des contaminations mises en évidence par le diagnostic de pollution.