

EHESP

Ingénieur en Génie Sanitaire

Promotion : **2008 - 2009**

Date du Jury : **29 septembre 2009**

**Caractérisation des vecteurs
d'exposition pour la réalisation d'une
Évaluation des Risques Sanitaires (ERS)
– Cas de Katco (Kazakhstan)**

Julien CHEVÉ

Lieu de stage : Paris-La Défense

Référent professionnel : Émilie LACROIX

Référent pédagogique : Jean CARRÉ

Remerciements

Je remercie tout d'abord Emilie Lacroix, ma maîtresse de stage, pour son accueil, son encadrement et son soutien tout au long de l'élaboration de ce mémoire.

Je remercie Jean Carré, mon tuteur pédagogique, pour son aide et sa disponibilité.

Je remercie l'ensemble de l'équipe du service environnement de la Business Unit Mines pour leur accueil et les petits déjeunés improvisés. Je remercie plus particulièrement ceux avec qui j'ai travaillé : Michèle Ancelin, Jehanne Bagard, Philippe Crochon, Estelle Franzetti, Audrey Gibeaux et Ayssa Nyuryupova...La liste n'est pas exhaustive.

De même je remercie toutes les personnes avec qui j'ai pu travailler à KATCO au Kazakhstan et notamment tout le service environnement. Je remercie plus particulièrement Nicolas Mouthier pour l'intégration et les collègues du bureau aux tritons. Je remercie également Viktor Malashenko pour les quelques 300 litres d'eau prélevés, et Vincent Casanova pour son aide dans l'exploration des steppes.

Sommaire

Introduction.....	1
1 Objectif et contexte environnemental	3
1.1 Objectif et méthodologie	3
1.2 Contexte géologique	4
1.3 Contexte hydrogéologique.....	9
2 Identification des dangers	14
2.1 Caractérisation des substances	14
2.2 Identification des compartiments	27
2.3 Détermination des périmètres de l'ERS	28
3 Exposition	31
3.1 Identification des populations	31
3.2 Identification des voies de contamination	33
3.3 Définition des scénarios.....	33
3.4 Schéma conceptuel	34
3.5 Mesure de l'exposition	38
4 Caractérisation du risque	40
4.1 Présentation des résultats d'analyses	40
4.2 Etude environnementale	40
4.3 Calculs des risques sanitaires.....	41
5 Limites, perspectives et recommandations	49
5.1 Limites	49
5.2 Perspectives.....	50
5.3 Recommandations.....	51
Conclusion	53
Bibliographie.....	55
Liste des annexes.....	57

Table des illustrations

Figure 1 : Localisation du bassin de Chu-Saryssu et de Muyunkum (<i>d'après encyclopédie universalis 98 et carte géologique du Kazakhstan au 1/1 000 000^e</i>)	4
Figure 2 : Coupe géologique S-N simplifiée du bassin de Chu-Saryssu (<i>document COGEMA</i>)	5
Figure 3 : Schéma de formation des gisements d'uranium de type Roll Fronts (<i>document COGEMA</i>)	7
Figure 4 : Cadre régional et structural des gisements du bassin de Chu-Saryssu (<i>document COGEMA/KATCO</i>).....	8
Figure 5 : Tableau descriptif des 5 ensembles aquifères présents sur les sites miniers de KATCO.....	10
Figure 6 : Schéma de principe du procédé ISR (In Situ Recovery), (<i>document Wyoming Association, 1996 & 2000</i>).....	12
Figure 7 : Tonnage d'uranium par an et KATCO et perspective de production	13
Figure 8 : VTR retenues pour la suite de l'ERS	16
Figure 9 : Compartiment des pollutions potentielles et leurs relations.....	27
Figure 10 : Détermination des périmètres de l'ERS	28
Figure 11 : Carte des périmètres d'études de l'ERS	30
Figure 12 : Synthèse médicale de l'ensemble des travailleurs des sites, Janv-Juin 2009	32
Figure 13 : Scénario d'exposition des populations	33
Figure 14 : Facteurs d'exposition des enfants et des adultes (calculé pour des populations occidentales sédentaires).....	34
Figure 15 : Schéma conceptuel du scénario 1 : compartiment-source-vecteur-cible.....	36
Figure 16 : Schéma conceptuel du scénario 2 : compartiment-source-vecteur-cible.....	37
Figure 17 : Comparaison des données environnementales de 2001 et de 2009.....	41
Figure 18 : Présentation des résultats des calculs des risques sanitaires de l'ERS	42
Figure 19 : Effets sanitaires évalués lors de l'ERS	43
Figure 20 : distribution de la quantité d'eau bue par un enfant par jour, moyenne 2L, min =1,5L, max=2,5L, écart 0,5L.....	45
Figure 21 : Analyse de la sensibilité des facteurs d'exposition pour le calcul du quotient de danger des fluorures pour la population hypothétique, pour les enfants.	46
Figure 22 : Calcul de l'importance de l'incertitude des facteurs de biodisponibilité et du métabolisme.....	47

Liste des sigles utilisés

ATSDR : Agency For Toxic Substances And Disease Registry
DHT : Dose Hebdomadaire Tolérable
DJA : Dose journalière Admissible
DJE : Dose journalière d'Exposition
CIRC : Centre International de Recherche sur le Cancer
ENSMP : Ecole Nationale Supérieure des Mines de Paris
ERI : Excès de Risques Individuel
ERS : Evaluation des Risques Sanitaires
ERU : Excès de Risque Unitaire
IARC : International Agency for Research on Cancer
INERIS : Institut National de l'Environnement Industriel et des Risques
ISR : In Situ Recovery
MRL : Minimal Risk Level
OEHHA : Office of Environmental Health Hazard Assessment
OMS : Organisation Mondiale de la Santé
PM_{2,5} : Particulate Matter $\leq 2,5 \mu\text{m}$
PM₁₀ : Particulate Matter $\leq 10 \mu\text{m}$
PMTDI : Provisional Maximum Tolerable Daily Intake
QD : Quotient de Danger
REL : Reference Exposure Levels
RfD : Reference Dose
RIVM : Rijksinstituut voor Volksgezondheit en Milieu
SIG : Système d'Information Géographique
STEP : Station de Traitement des Eaux Polluées
TDI : Tolerable Daily Intake
VG : Valeur Guide
ZOC : Zone d'Oxydation en Couche
US EPA : United States Environmental Protection Agency
VTR : Valeur Toxicologique de Référence

Introduction

Le Kazakhstan est un pays riche en ressources minérales et énergétiques. L'uranium est ainsi très présent dans le Sud-Est du pays au sein du grand bassin sédimentaire de Chu-Saryssu, d'où il est extrait depuis l'époque où le Kazakhstan faisait partie de l'union soviétique.

Le site d'exploitation d'uranium de KATCO est récent et utilise un moyen non conventionnel d'extraction du minerai, l'ISR (In Situ-Recovery) ou Récupération In Situ. Il s'agit d'un procédé utilisant un liquide acide, injecté par des forages, qui remobilise l'uranium et est ensuite récupéré par des forages d'extraction. Si cette technique apporte de grands avantages environnementaux (pas de fosse d'exploitation, absence de résidus de traitement, moins de dépenses énergétiques, moins d'expositions radiologiques...), on en connaît cependant encore mal à ce jour l'impact sanitaire. Pourtant l'ISR est pratiqué dans de nombreux pays (Etats-Unis, Europe de l'Est, Australie...) et suscite toujours l'inquiétude quant à l'exploitation industrielle de minerai en agissant directement sur la chimie des nappes d'eau souterraine.

La politique environnementale d'AREVA comporte la réalisation d'ERS sur l'ensemble de ses sites tous les trois ans ou s'il y a d'importants changements sur leurs installations. Si cette démarche répond à la réglementation en France, AREVA est à l'initiative de celle-ci, au Kazakhstan.

Une étude d'impact avait déjà été réalisée sur le site kazakh avant sa création mais celle-ci ne comprenait pas de volet sanitaire. Il s'agira donc de la première étude sanitaire réalisée sur ce site.

Ce mémoire vise tout d'abord les premières phases de l'ERS afin de caractériser les différents vecteurs d'exposition. Après l'identification des dangers et les recherches des relations dose-réponse, le travail a permis d'élaborer des schémas conceptuels précis. Sur ces éléments s'appuie la réflexion sur les investigations à effectuer pour déterminer les impacts sanitaires et pouvoir mettre en évidence les vecteurs d'exposition. Par la suite ces recherches ont pu être conduites au travers de l'évaluation des expositions, de la caractérisation du risque et de l'interprétation des résultats.

1 Objectif et contexte environnemental

1.1 Objectif et méthodologie

1.1.1 Objectif

La problématique de cette étude est de caractériser les vecteurs d'expositions des populations environnantes d'une exploitation d'un gisement minéral par le procédé ISR (In Situ Recovery) acide.

Ces recherches qui consistent à caractériser pour la première fois les risques sanitaires d'un tel procédé s'inscrivent dans la réalisation future d'une ERS (Evaluation des Risques Sanitaires) par un organisme indépendant.

Pour répondre à la question, le mémoire suit les étapes logiques d'une ERS. Elle considère l'ensemble des compartiments (eau, air, sol et plante) et des expositions (courte et longue).

1.1.2 Méthodologie

Une ERS est une démarche méthodologique d'évaluation quantitative des risques qui suit quatre étapes : (AREVA, 2009, *Guide méthodologique pour la réalisation des ERS*).

- l'identification des dangers,
- la caractérisation de la relation dose-réponse,
- l'évaluation des expositions,
- la caractérisation des risques.

Ces étapes sont suivies d'une interprétation exposant les limites et les incertitudes engendrées lors de l'étude. C'est pourquoi, ces études doivent respecter les principes de transparence (explicitation de tous les choix effectués et de leurs conséquences) et de cohérence (respect de la logique et respect de la démarche).

Les ERS sont des outils d'aide à la décision. Les risques sont évalués et quantifiés et doivent permettre aux décideurs d'agir pour les compenser, les limiter ou les supprimer jusqu'à obtenir des situations acceptables. Cependant ces résultats sont empreints d'incertitudes et de variabilités, dues à l'état de nos connaissances, et ils ne peuvent pas être interprétés sans considérer les hypothèses prises et leurs conséquences.

1.2 Contexte géologique

1.2.1 Localisation et description géologique du secteur

Le Kazakhstan est situé au Sud-Est de la Russie entre l'Asie et le Moyen-Orient (figure N°1). Avec 2 717 300 km², il est le 9^{ème} plus grand pays du monde, sa population est de 15 millions d'habitants et ses ressources sont principalement le pétrole et les gisements miniers.

Le Kazakhstan dispose de réserves importantes d'uranium (17% de la réserve mondiale) et vise à devenir le premier producteur d'uranium à partir de 2010 (environ 17 000 t/an). Les réserves sont réparties dans six grandes provinces uranifères. Les sites de KATCO se trouvent dans la méga-province du Turan Oriental, au Sud-Est du pays, qui est la plus importante province uranifère du Kazakhstan. Elle est composée de deux bassins sédimentaires, la dépression de Chu (ou Chu-Saryssu) et la dépression de Syr-Daria, qui sont séparées par la chaîne montagneuse de Karatau (figures N°1 et N°2).

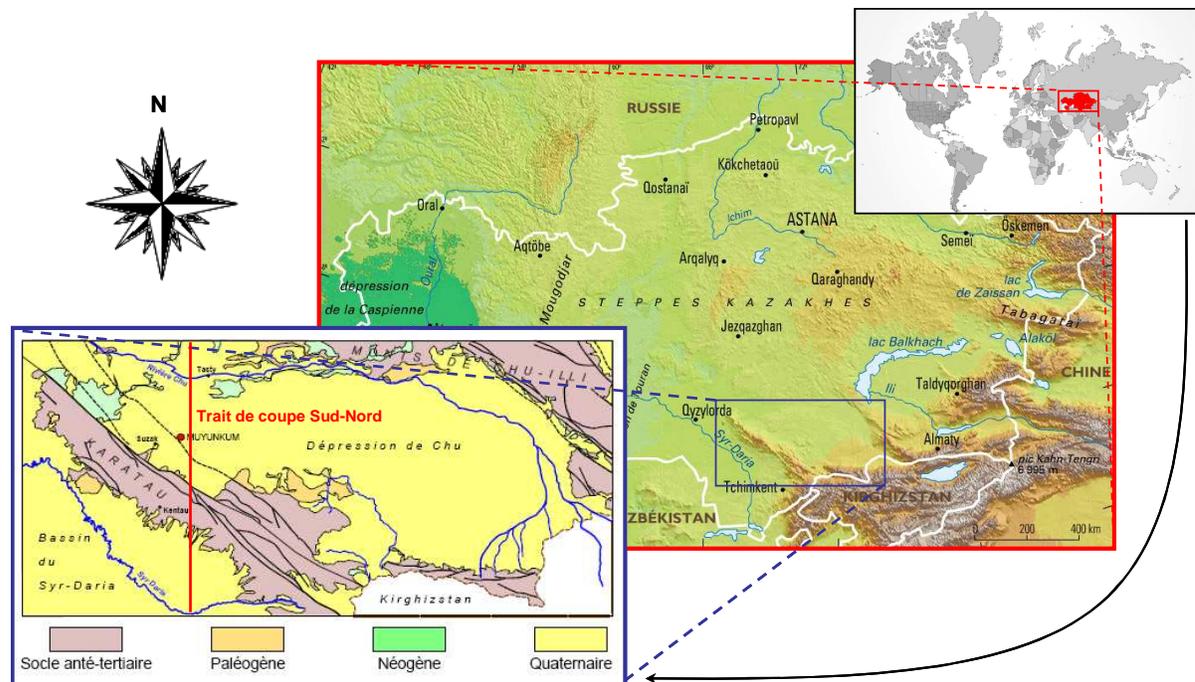


Figure 1 : Localisation du bassin de Chu-Saryssu et de Muiyunkum (d'après encyclopédie universalis 98 et carte géologique du Kazakhstan au 1/1 000 000^e)

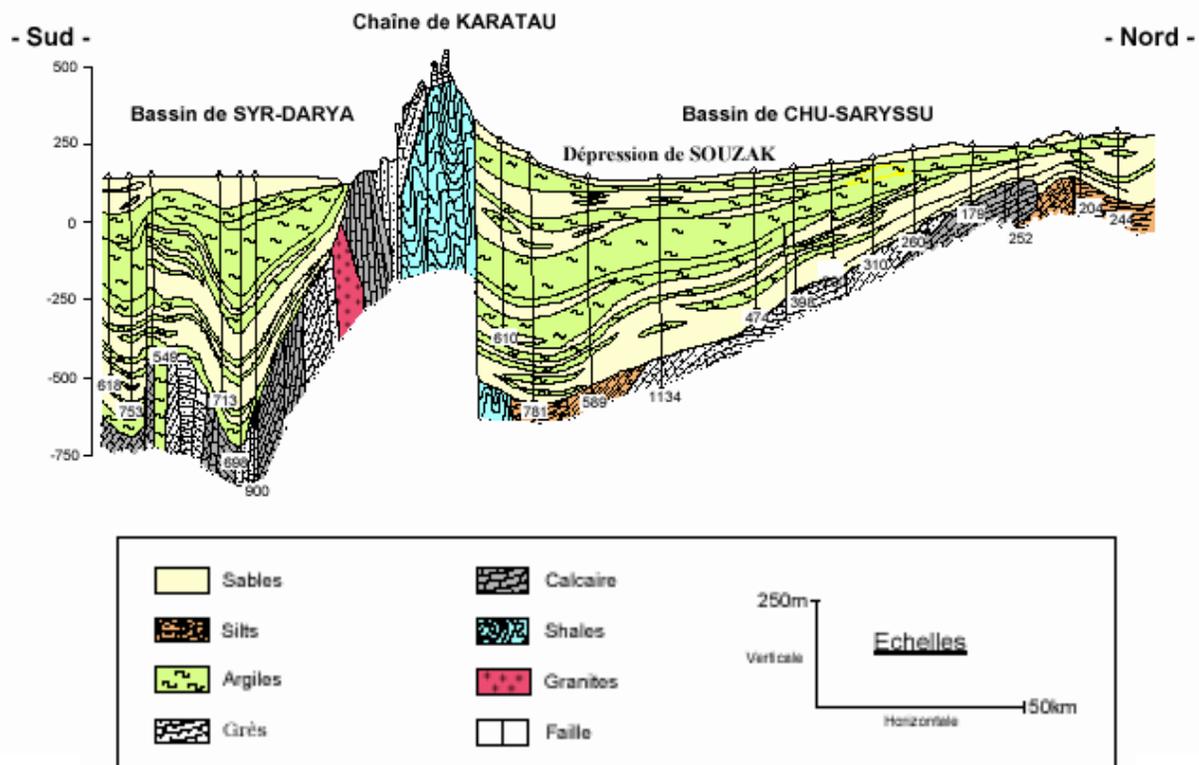


Figure 2 : Coupe géologique S-N simplifiée du bassin de Chu-Saryssu (document COGEMA)

Le bassin de Chu-Saryssu a la même orientation générale que le Karatau (ESE-WNW). Il est délimité par le Petit Karatau au sud et par le mont Chu-Illi au Nord. Ce bassin se présente comme une cuvette composée de trois niveaux structuraux :

- l'étage inférieur : socle plissé et fracturé du paléozoïque (affleurant au niveau du Karatau et du petit Karatau),
- l'étage moyen de plateforme intermédiaire (Paléozoïque moyen et supérieur),
- l'étage supérieur, couverture de plateforme mésozoïque.

La cuvette centrale forme la dépression de Souzak dans laquelle se trouvent les gîtes uranifères. L'histoire géologique du bassin commence par la fracturation du socle par des failles d'axe NW-SE, mettant en place des horsts et des grabens durant le Calédonien. S'en suit le comblement des dépressions par les dépôts sédimentaires : d'abord les sédiments faiblement métamorphisés du Paléozoïque moyen et supérieur puis les formations mésozoïques. Le bassin a ensuite subi différents épisodes tectoniques : pendant la période Alpine et surtout lors de l'orogénèse de la chaîne du Karatau à la limite du Pliocène et du Quaternaire.

L'annexe 1 restitue le log des formations du bassin de Chu-Saryssu. Il présente le détail des niveaux qui du Paléozoïque supérieur jusqu'au Quaternaire peuvent atteindre jusqu'à 1000 m d'épaisseur. La lithostratigraphie comporte (*VolkovGéologie, 2004*) :

- une série détritique terrigène grossière d'âge jurassique inférieur à moyen ; le Jurassique terminal n'ayant pas été mis en évidence,
- une série datée du Crétacé qui comprend quatre formations correspondant plus ou moins à quatre mégaséquences grossières et sableuses à la base, sablo-argileuses au sommet : Tantaïsk, Mynkuduk, Inkuduk et Jalpak,
- une série paléogène, faisant suite à la précédente sans discontinuité marquée de sédimentation, et comportant elle aussi quatre formations sableuses à silto-argileuses : Uvanas - Kanjougan (Paléocène), Uyuk (Éocène Inférieur), Ikansk et Intymak (Éocène Moyen et Supérieur),
- une série néogène représentée par des formations sableuses puis argilo-sableuses, passant à des formations argileuses,
- le Quaternaire correspondant à une série fluviatile formée de sables, d'intercalations silto-argileuses et de graviers, de quelques mètres à une vingtaine de mètres d'épaisseur, déposés dans d'anciens lits asséchés, fossés et sebkhas.

Les fronts minéralisés apparaissent en noir dans la représentation des lithologies. La couverture superficielle est constituée de dépôts meubles éoliens de sables fins organisés en dunes nues ou fixées de quelques mètres de hauteur, jusqu'à de grandes barkhanes de plusieurs dizaines de mètres dans la partie centrale du bassin.

1.2.2 Les gisements d'uranium du type Roll Front

Les gisements d'uranium du type « Roll » peuvent être définis comme des dépôts sur front d'oxydoréduction au sein de séries sédimentaires détritiques.

Le mécanisme de formation de ces gisements est représenté dans la figure N°3.

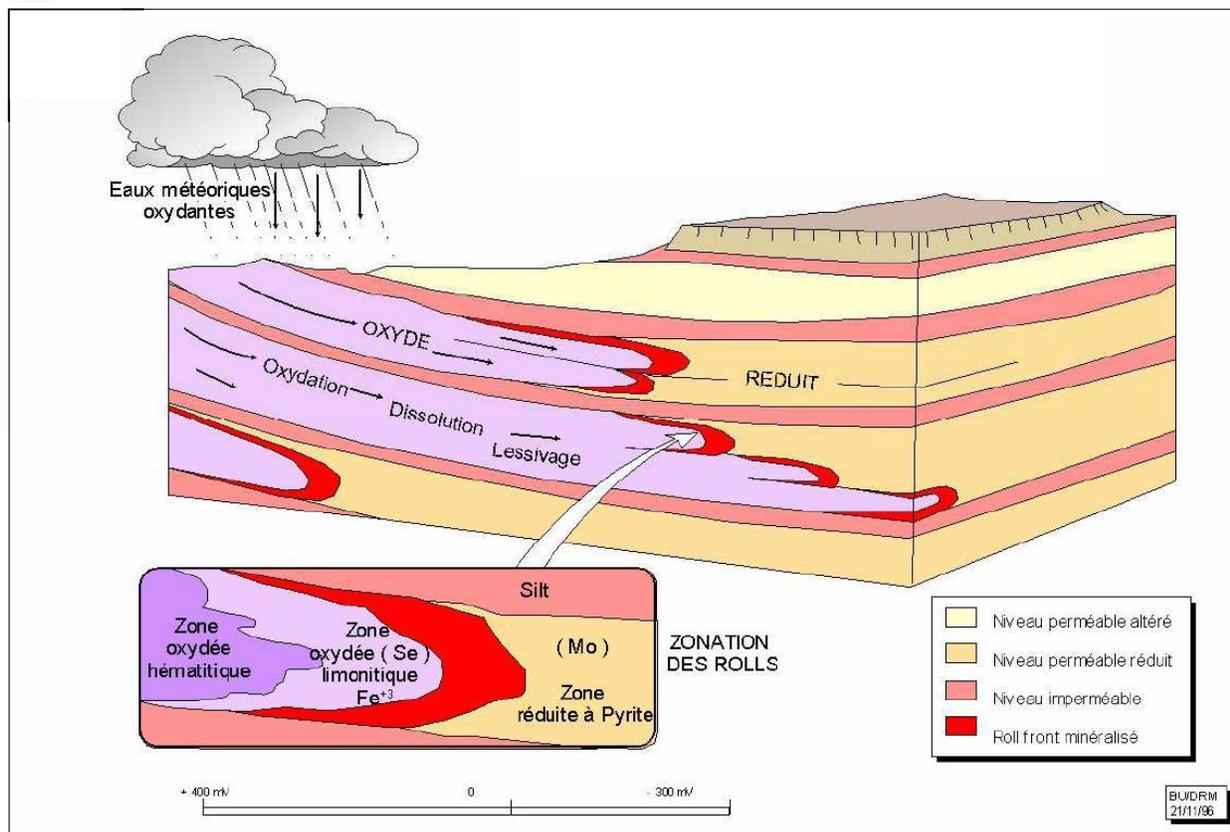


Figure 3 : Schéma de formation des gisements d'uranium de type Roll Fronts (document COGEMA)

Les eaux météoriques oxydantes s'infiltrent dans les aquifères formés par des matériaux détritiques puis, suivant l'écoulement naturel de la nappe, lessivent les roches et entraînent en faible concentration des éléments comme l'uranium. Lorsque ces eaux passent dans la zone réduite de l'aquifère, l'uranium est réduit et précipite formant des gîtes uranifères. Ces Roll Front peuvent avoir des formes variables mais ils sont classiquement représentés par un « U ». Ainsi ils sont composés d'un nez en limite du front Redox, où les teneurs sont les plus élevées, et de deux ailes qui s'étalent dans la zone oxydée, l'aile inférieure étant plus concentrée que l'aile supérieure qui est même souvent absente.

L'essentiel des sédiments crétacés et paléogènes de la dépression de Souzak est d'origine terrigène, avec à l'ouest des sédiments plutôt réducteurs, (sombres et riches en pyrite et en matière organique) et à l'est des sédiments à caractère oxydé (sableux clairs, blanc-jaunâtre ou localement rubéfiés).

L'uranium se trouve dans les formations du Paléogène (niveau bigarré et Kanjougan dans le Paléocène et Uyük et Ikansk dans l'Eocène, figure N°4), sous forme de Roll classique (aussi nommé ZOC (Zone d'Oxydation en Couche) au Kazakhstan).

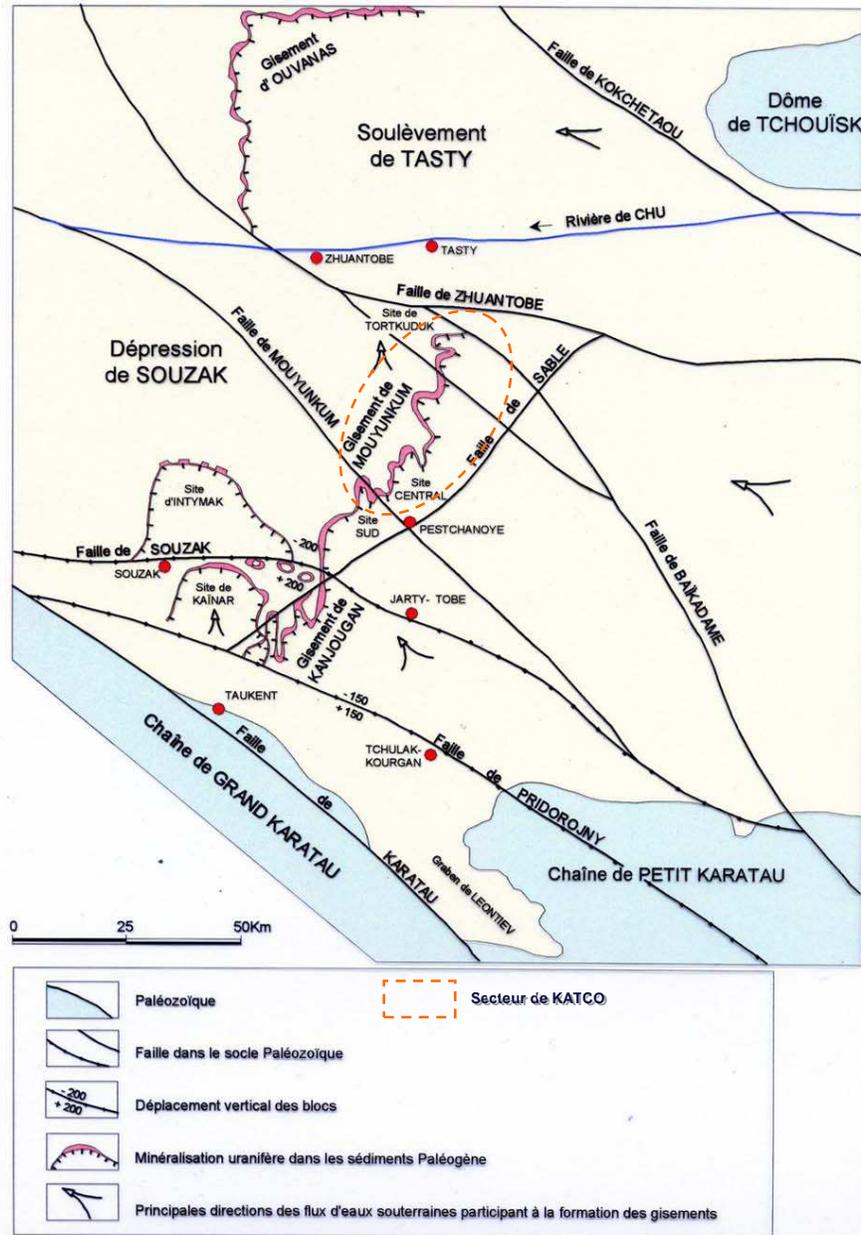


Figure 4 : Cadre régional et structural des gisements du bassin de Chu-Saryssu (document COGEMA/KATCO)

Le secteur de la mine de KATCO est divisé en trois : Muyunkum Sud (parcelle N°1), Muyunkum Centre (parcelle N°3) et Tortkuduk (parcelle N°2, ou Muyunkum Nord) qui contiennent 30 gîtes uranifères. Ces secteurs possèdent les mêmes caractéristiques géologiques mais avec un amincissement de la série sédimentaire vers le nord. Seule la parcelle N°3 n'est pas encore exploitée car elle est plus difficile d'accès et est bien moins reconnue à cause de son relief. Le niveau actuellement exploité est l'Uyuk, il se situe vers 450 m de profondeur à Muyunkum et vers 280 m de profondeur à Tortkuduk.

1.3 Contexte hydrogéologique

1.3.1 Les aquifères présents

L'hydrogéologie du bassin est assez complexe : l'intercalation de formation sablo-gréseuse avec des silts et des argiles conduit à la superposition de plusieurs aquifères libres ou captifs. Cinq grands ensembles aquifères peuvent être identifiés, de haut en bas :

- L'ensemble aquifère du Quaternaire : composé de quatre ou cinq aquifères en fonction de la localisation. Ces aquifères sont liés hydrauliquement et le niveau piézométrique de la nappe se situe entre 2 et 15 m sur les parcelles exploitées. Ces eaux sont de qualité moyenne à bonne.

- L'aquifère sporadique du Miocène : le niveau Miocène est principalement constitué d'argile rouge imperméable mais il peut y avoir des zones plus ou moins importantes de sable (aquifère connecté à l'ensemble Quaternaire) et des lentilles de sables prises dans les argiles (zones captives). Cet aquifère semble surtout présent à Tortkuduk. Il n'existe pas d'utilisation connue de cet aquifère.

- L'ensemble aquifère du Paléogène : composé de quatre niveaux isolés correspondant aux niveaux uranifères (niveau bigarré et Kanjougan dans le Paléocène et Uyük et Ikansk dans l'Eocène). Ces aquifères captifs sont séparés entre eux par des couches d'argiles de 5 à 20 m et sont séparés des aquifères supérieurs par l'épaisse couche imperméable régionale d'argile marine de l'Intymak (~90 m). Ces eaux sont par nature de qualité médiocre à proximité des gîtes uranifères (radionucléides, métaux lourds...). Il est reconnu depuis mars 1998 que ces eaux sont impropres à toute utilisation dans les limites des parcelles.

- L'aquifère du Crétacé supérieur : captif avec une charge importante, il est séparé de l'ensemble aquifère du Paléogène par 10 à 24 m d'argile. Il constitue une ressource intéressante en eau de bonne qualité.

- L'aquifère Paléozoïque du socle : peu connu dans les limites du bassin de Chu-Saryssu, il n'est utilisé que dans les contextes montagneux en bordure du bassin, là où il est proche de la surface.

Ces aquifères sont décrits en détails par parcelle exploitée dans la figure N°5 : ce sont principalement les profondeurs qui varient d'une parcelle à l'autre. Les zones d'exploitation sont normalement éloignées des grandes fractures mais des recherches sont en cours sur la présence d'éventuelles failles au nord de la parcelle de Tortkuduk.

N°	Système Aquifère			Aquifère	Piézométrie		Puissance		Paramètres hydrodynamiques				Q (m3/h)	Porosité	Qualité de l'eau		
					Type de nappe	Niveau (m)	toit (m)	mur (m)	k (m/s)	T (m²/s)	S	V (m/an)			analyse	utilisation	
Muynkum Sud - Parcelle N°1																	
1	QUATERNAIRE		Pléistocène*		libre		0 - 160		2,70E-05				(1 à 16)	nature	correcte	pâturage, alimentation (pas toujours)	
3	CENOZOIQUE	Paléogène	Eocène	Ikan	captive	10 à 18	400 - 430		2,00E-05	4,60E-04		17	17 à 32	nature	mauvaise (chimie et radionucléide) autour des gîtes	aucune autour des gîtes	
				Uyuk	captive	4 à 19	430 - 470	440 - 480	1,00E-04	2,20E-03	2,20E-04	15 à (39,2)	7 à 95	nature	mauvaise (chimie et radionucléide) autour des gîtes	aucune autour des gîtes	
			Paléocène	Kanjungan	captive	4,6 à 6,35	460 - 480		1,00E-04	1,00E-03			143,8	10 à 47	nature	mauvaise (chimie et radionucléide) autour des gîtes	aucune autour des gîtes
				Niv Bigarré	captive											nature	mauvaise (chimie et radionucléide) autour des gîtes
4	MESOZOIQUE	Crétacé supérieur			captive		550	800					(144 à 190)	nature	correcte	domestique, arrosage, industriel	
5	PALEOZOIQUE				captive		800						(18 à 36, en montagne)	fracture		pas d'utilisation connue dans le bassin	
Tortkuduk - Parcelle N°2																	
1	QUATERNAIRE		Pléistocène*		libre	de -2 à -30	0	80-90	6,71E-05	2,90E-03			(1 à 16)	nature	correcte	pâturage, alimentation (pas toujours)	
2	CENOZOIQUE	Néogène	Miocène	(sporadique)	libre à captive	-68,5	40 - 70	90 - 140	5,80E-06				1 à 10,4(nivx captifs)	nature	sulfatée et sodique	pas d'utilisation connue	
3		Paléogène	Eocène	Ikan et Uyuk	captive	de 17 à 42	220 - 314	240 - 360	7,00E-05	1,4 E-3		27 à (39,2)	7 à 26	nature	mauvaise (chimie et radionucléide) autour des gîtes	aucune autour des gîtes (entre 10 et 15 km)	
			Paléocène	Kanjungan et Niv Bigarré	captive	de -10 à 80	240 - 330	260 - 380	2,90E-05	1,15E-04				nature	correcte	agriculture, consommation, domestique	
4	MESOZOIQUE	Crétacé supérieur			captive	de -50 à -10	400 à 360	500	1,20E-04	5,00E-03	2,60E-06		(144 à 190)	nature	bonne	agriculture, consommation, domestique	
5	PALEOZOIQUE				captive		500							fracture		pas d'utilisation connue dans le bassin	

*Volkov Géologie distingue 4 niveaux dans cet aquifère, mais tous sont en connexion hydraulique (données générales non spécifiques aux parcelles)

Figure 5 : Tableau descriptif des 5 ensembles aquifères présents sur les sites miniers de KATCO

Le sens d'écoulement général des aquifères exploités (Paléogène) est S-N à ESE-WNW pour des vitesses allant de 17 à 27 m/an. La piézométrie des nappes exploitées baisse progressivement, de l'ordre de 0,8 à 2,5 m/an (données de 1987), surtout à cause des prélèvements liés à la pratique de l'irrigation. Un modèle avait été élaboré pour anticiper ce problème (en 1985, cité dans l'étude de faisabilité du projet Muyunkum 2004 (KATCO, 2004)) et il avait établi que la perte de charge resterait acceptable jusqu'en 2022 (entre 193 à 389 m en 2022 ; il était entre 305 et 457m en 2004, soit une perte de charge attendue entre 68 et 112 m par rapport à 2004). Cependant ce modèle s'est avéré trop pessimiste et, d'après l'évolution réelle de la piézométrie, il semble que le niveau piézométrique ne dépasse pas le seuil de l'acceptabilité avant 2032. De plus la technique ISR reposant sur un bilan injection-extraction proche de l'équilibre, a un impact faible et local sur la piézométrie.

1.3.2 ISR (In situ Recovery)

La récupération in-situ (aussi appelée ISL, In Situ Leaching ou lixiviation in-situ) est une méthode d'exploitation qui consiste à extraire une substance minérale par mise en solution de cette substance dans la couche géologique qui la contient (Coste et Guérin, 2000). Il s'agit d'injecter une solution capable de remobiliser l'uranium dans le niveau du gisement, puis de pomper la solution enrichie (jus de production, figure N°6). Il s'agit donc d'inverser le processus naturel en oxydant et en solubilisant l'uranium dans les Rolls. L'uranium est ensuite séparé des jus puis raffiné par des process en surface, jusqu'à obtenir un produit marchand (yellow cake). Les jus quant à eux sont réinjectés dans les niveaux exploités avec les réactifs des process après une phase de décantation/recyclage.

La solution peut-être alcaline (carbonate ou bicarbonate de sodium, d'ammonium ou de potassium) permettant une mise en solution ménagée et assez sélective ; ou elle peut-être une solution acide (acide chlorhydrique ou sulfurique) pour une dissolution plus agressive, plus rapide mais moins sélective.

Dans le cas de la dépression de Souzak tous les éléments favorables à l'utilisation du procédé ISR sont réunis :

- la localisation des corps minéralisés dans un horizon aquifère de petite et moyenne épaisseur,
- La non potabilité des eaux,
- l'isolement de l'horizon par des couches imperméables locales épaisses,
- la bonne perméabilité des sables et des transmissivités modérées à hautes,
- le caractère hautement artésien des eaux souterraines avec un niveau piézométrique positif sur toute une partie des terrains,

- la minéralisation faible des eaux souterraines avec une composition chimique et une température favorables.

A KATCO la solution retenue est l'acide sulfurique sans ajout d'oxydant. La concentration des jus d'injection est de 8 g/l d' H_2SO_4 et le taux de récupération de l'uranium est de l'ordre de 85%. Les mailles des champs de puits sont hexagonales et, comme précité dans le paragraphe précédent, le bilan injection-extraction est proche de l'équilibre.

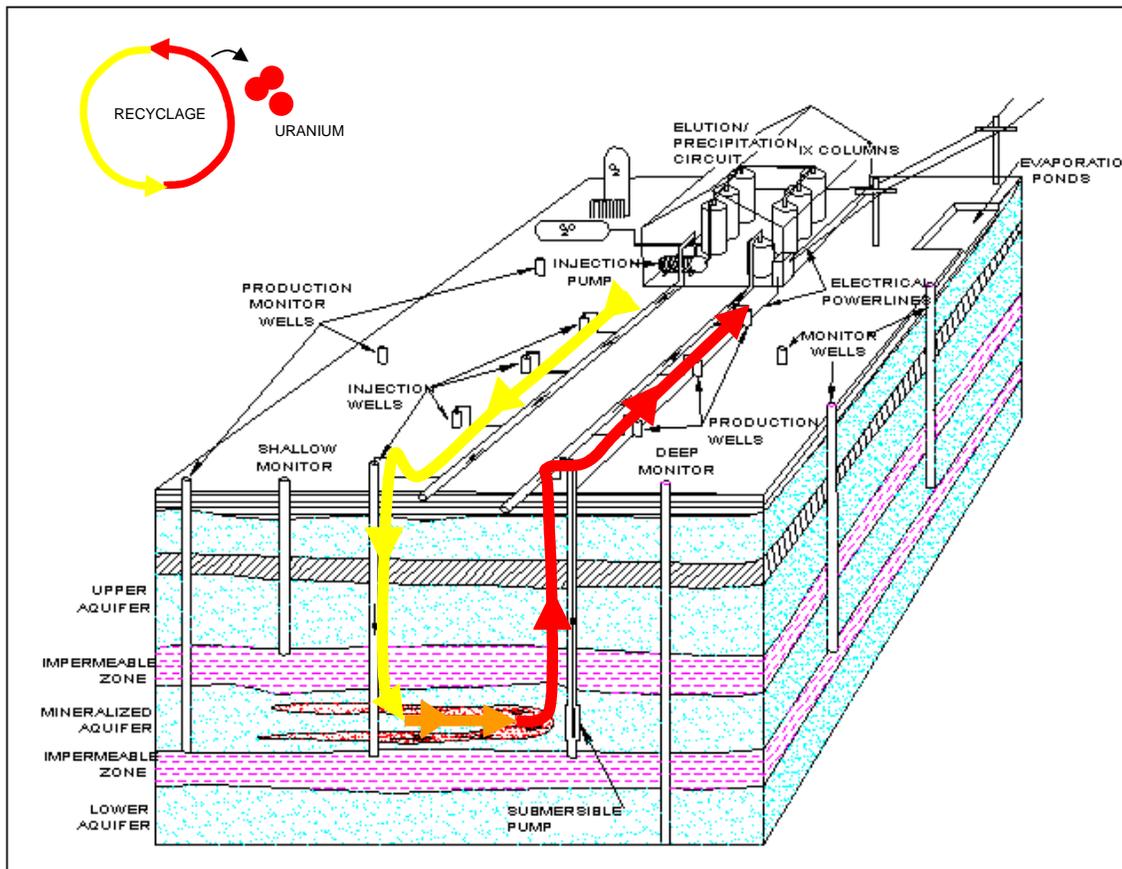


Figure 6 : Schéma de principe du procédé ISR (In Situ Recovery), (document Wyoming Association, 1996 & 2000)

Les gisements de l'Uyuk (66% des réserves des permis d'exploration) et de Kanjougan sont à teneur modérée en uranium (de l'ordre de 0,5 à 1,5 kg/t) mais à tonnages importants : ils représentent à ce jour environ 50 000 t d'uranium de réserve. La production actuelle est de 2500 t entre les parcelles de Muyunkum Sud et Tortkuduk (figure N°7). Dans l'avenir la production nominale de KATCO sera de 4000 t/an pour une exploitation allant jusqu'en 2039 (KATCO, *Echo des steppes* 2008).

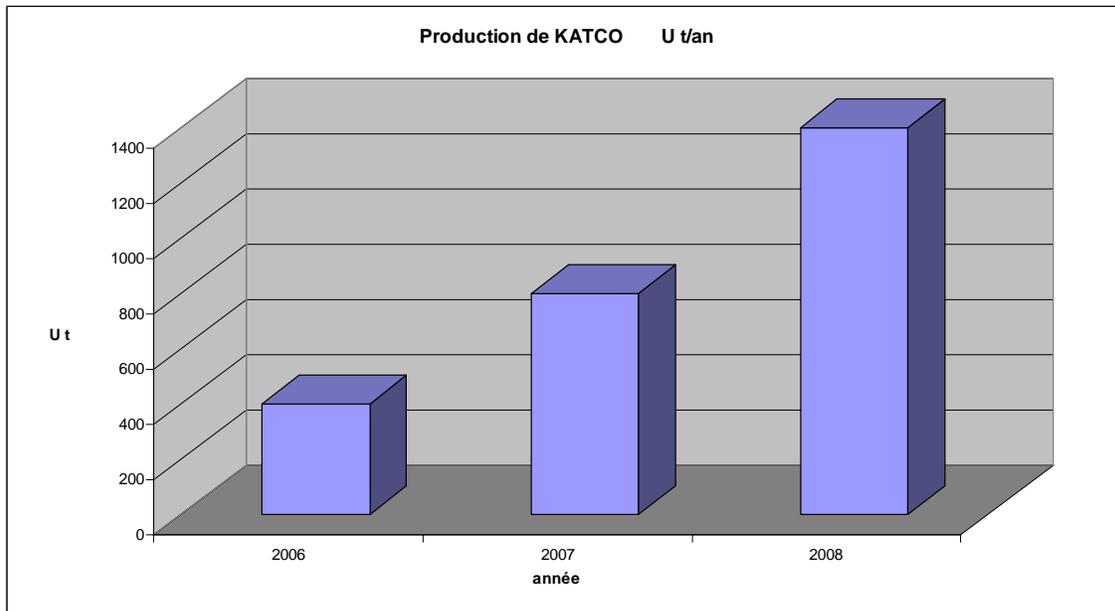


Figure 7 : Tonnage d'uranium par an et KATCO et perspective de production

KATCO est donc dans une phase de montée en puissance, cependant cela n'affectera pas considérablement l'ERS puisque ni les procédés, ni les rendements des champs de puits ne seront modifiés de façon importante. Seul le nombre de champs de puits et les quantités de réactifs seront augmentés.

2 Identification des dangers

Toutes les substances potentiellement dangereuses liées aux activités de la société KATCO doivent être identifiées. Elles peuvent être produites dans les processus industriels, mobilisées dans les aquifères exploités ou dispersées dans les activités induites de la mine. Enfin il convient de tenir compte de la source naturelle qui possède ici des teneurs non négligeables en différentes substances préoccupantes. Les sources sont :

- Source naturelle : Etat 0 des sites, présence de métaux lourds, de radionucléides et d'autres paramètres en quantités parfois supérieures aux seuils de toxicités.
- Sources anthropiques :
 - Activité minière de KATCO : Procédé de récupération in situ (injection d'acide sulfurique, mobilisation de métaux lourds...) et processus de traitement des jus de production (fixation, élution...cf. Annexe N°2, *d'après les manuels opératoires KATCO 2005 et 2007*).
 - Pollutions induites : transport, déchets, assainissement, stockages...Normalement les accidents ne sont pas étudiés dans le cadre des ERS étant considérés comme exceptionnels et hors cadre du fonctionnement normal de l'installation. Cependant si des accidents sont récurrents et similaires (ex : fuites de canalisation) il convient de les prendre en compte.

Les substances identifiées sont résumées dans l'annexe N°3, cette liste est, à ce stade, la plus exhaustive possible et elle sert de support à l'étude précise des substances dangereuses en vue de sélectionner les plus pertinentes pour réaliser les analyses.

2.1 Caractérisation des substances

Les substances dangereuses liées à l'activité ISR se classent en deux parties : les métaux lourds et les métalloïdes d'une part, les substances des procédés d'autre part. Dans les paragraphes suivant ainsi que dans l'annexe N°4, l'ensemble des substances identifiées est décrit et caractérisé d'un point de vue sanitaire et résulte sur le choix d'une Valeur Toxicologique de Référence (VTR) lorsque cela est possible. Une VTR est une valeur décrivant la relation dose-effet ou dose-probabilité d'effet pour une substance donnée. Ces valeurs constituent des références au delà desquels un impact sanitaire est attendu pour une certaine exposition Les effets sur la santé sont répartis en deux classes :

- Les effets à seuil (ou effet déterministes ou systémiques) : les symptômes apparaissent à partir d'une certaine quantité de dose reçue. L'effet est d'autant plus fort que la dose est grande. Cela concerne les effets non génotoxiques.

- Les effets sans seuil (ou effets stochastique) : les symptômes sont susceptibles d'apparaître quelle que soit la dose reçue. C'est la probabilité d'apparition des effets qui augmente avec la dose. Il s'agit des effets génotoxiques.

Les effets génotoxiques concernent essentiellement les cancers mais la relation n'est pas exclusive car la question de l'existence d'effets cancérigènes non génotoxique (avec un seuil) est en débat.

Les VTR sont calculées à partir d'expérimentation sur les animaux, sur des volontaires ou à partir d'études épidémiologiques puis elles sont affectées de coefficients d'incertitude(s). Il existe souvent plusieurs VTR pour une même substance. Les valeurs retenues pour l'étude répondent à des critères à savoir : leur pertinence par rapport à l'ERS, l'origine de la VTR (nature de l'étude et force du facteur d'incertitude), la date d'établissement de la VTR. En cas d'incertitude les VTR les plus protectrices ont été choisies. Cette méthodologie correspond aux prescriptions de l'INERIS dont l'essentiel des VTR retenues découlent. Dans certains cas et en l'absence de VTR, des références de qualité ont été retenues pour certains composés des procédés, cependant les résultats ne pourront pas être interprétés en terme de risque pour la santé mais en terme de confort.

Les VTR retenues pour la suite de l'étude sont récapitulées dans la figure N°8.

Polluants métalliques dont métaux lourds						
Substance	Voie d'exposition	type	Dose critique, VTR	Facteur d'incertitude	Effet(s) / organe(s) cible(s)	Source
Aluminium	Orale	chronique avec seuil	MRL = 1 mg/kg/j	90	neurologique	ATSDR 2008
Arsenic	Orale	aiguë ≤ 14 jours	MRL = 5E-3 mg/kg/j	10	œdème de la face et symptôme gastro-intestinal	ATSDR 2007
	Orale	à seuil	RfD = 3E-4 mg/kg/j	3	hyperpigmentation, kératose et des complications vasculaires possibles	US EPA 1993
	Orale	sans seuil	ERUo = 1,5 (mg/kg/j)-1		cancer de la peau	US EPA 1998
Béryllium	Orale	chronique avec seuil	RfD = 2E-3 mg/kg/j	300	petites lésions intestinales	US EPA 2002
Bromate	Orale	chronique avec seuil	RfD = 4E-3 mg/kg/j	300	urothelial hyperplasia	US EPA 2001
	Orale	sans seuil	ERUo = 7E-1 (mg/kg/j)-1		mésotéliome testiculaire, adénome et tumeur cancéreuse dans le tube rénal et dans les follicules thyroïdienne	US EPA 2001
Cadmium	Orale	chronique à seuil	REL = 5E-4 mg/kg/j	10	pas d'effets observés	OEHA 2005
Chrome	Orale	avec seuil, chrome VI	RfD = 3E-3 mg/kg/j	900	aucun effets observés	US EPA 1998
	Orale	sans seuil, chrome VI	ERUo = 4,2E-1 (mg/kg/j)-1		tumeurs cancérogènes de l'estomac	OEHA 2002
Cuivre	Orale	Aiguë (2 semaines), avec seuil	MRL = 1E-2 mg/kg/j	3	trouble gastro-intestinal	ATSDR 2004
	Orale	avec seuil	TDI = 0,14 mg/kg/j	30	perte de poids	RIVM 2001
Fer	Orale	chronique à seuil, provisoire, fer total sauf les oxydes des agents colorants et quelques exceptions	PMTDI = 0,8 mg/kg/j			OMS 1983
Fluorure	Orale	chronique avec seuil	MRL = 5E-2 mg/kg/j	3	augmentation du risque de fracture	ATSDR 09/2003
Manganèse	Oral	chronique à seuil	RfD alimentation = 1,4E-1 mg/kg/j RfD eau = 4,6E-2 mg/kg/j	1	effets sur le système nerveux central, dysfonctionnement neurocomportemental	US EPA 1996
mercure inorganique	Orale	à seuil	TDI = 2E-3 mg/kg/j	100	effets sur le rein	RIVM 2001
Molybdène	Orale	à seuil	RfD = 5E-3 mg/kg/j	30	augmentation du niveau d'acide urique	US EPA 1993
Nickel	Orale, sels solubles	chronique à seuil, sels solubles	RfD = 2E-2 mg/kg/j	300	perte significative de poids corporel	US EPA 1996
	Orale, composés sauf oxydes de nickel	chronique à seuil, sels solubles	REL = 5E-2 mg/kg/j	300	perte significative de poids corporel	OEHA 2005
Plomb	Orale	avec seuil, plomb inorganique	DHT = 2,5E-2 mg/kg (soit 3,5E-3 mg/kg/j)	/	plombémie	OMS 2004
		sans seuil, plomb et composés	ERUo = 8,5E-3 (mg/kg/j)-1		tumeurs rénales	OEHA 2005
Selenium	Orale	avec seuil	RfD = 5E-3 mg/kg/j	3	clinical selenosis (foie, sang, ongles...)	US EPA 1991
Uranium	Orale	sub-chronique (sels solubles)	MRJ = 2E-3 mg/kg/j	30	reins	ATSDR 09/1999
Vanadium	Orale	subchronique à seuil (4ans...)	MRL = 3E-3 mg/kg/j	100	changement dans les poumons, les reins et la rate	ATSDR 1992
Zinc	Orale	chronique à seuil	RfD = 3E-1 mg/kg/j	3	effets sanguins (diminution des erythrocyte CU et Zn-superoxyde dismutase)	US EPA 2005
Polluants des process						
Dioxyde de soufre	Inhalation	chronique à seuil	VG = 5E-2 mg/m3			décret 1998
Nitrate	Orale	chronique à seuil	RfD = 1,6 mg/kg/j	10	méthémoglobinémie	US EPA
Nitrite	Orale	chronique à seuil	RfD = 1E-1 mg/kg/j	10	méthémoglobinémie	US EPA
Dioxyde d'azote	Inhalation	chronique à seuil	VG = 4E-2 mg/m3			directive européenne 2008

Figure 8 : VTR retenues pour la suite de l'ERS

2.1.1 Les métaux lourds et les métalloïdes

Les métaux lourds et les métalloïdes proviennent des roches encaissantes des gîtes uranifères exploités. Ces métaux sont suspectés d'être mobilisés en même temps que l'uranium lors de l'acidification des aquifères par la méthode ISR. Ils peuvent ainsi se retrouver au même titre que l'uranium dans les aquifères proches ou en surface par pompage des nappes ou lors de fuite et d'écoulement où ils peuvent toucher l'homme et/ou migrer vers d'autres compartiments.

A) Aluminium

L'aluminium est le métal le plus abondant de l'écorce terrestre (8%) où il est présent à l'état d'oxydation III. L'aluminium n'est pas un élément très toxique, aucun symptôme dus à une exposition aiguë n'a pu être observé chez l'homme. Cependant il est neurotoxique pour des expositions chroniques, provoquant des défaillances des fonctions cognitives, des dysfonctions motrices et des neuropathies périphériques. Ces symptômes ont été observés chez l'homme et confirmés chez l'animal. La voie cutanée est possible mais seulement chez des sujets hypersensibles.

L'aluminium est aussi suspecté d'être un facteur de risque pour la maladie d'Alzheimer mais cela n'a été évoqué pour le moment que par des études épidémiologiques. L'aluminium s'accumule principalement dans les os et le vecteur d'élimination est l'urine. Il n'y a pas de preuve d'une quelconque cancérogénicité.

La VTR retenue est un MRL (Minimal Risk Level) de 1 mg/kg/j (ATSDR 2008) pour des effets neurologiques.

B) Arsenic

La toxicité de l'arsenic est bien établie et connue depuis longtemps pour les effets aigus, chroniques et sans seuil (CIRC groupe 1). Les formes les plus communes de l'arsenic sont les états d'oxydation III et V. Les composés de l'arsenic ont des solubilités très variables et sont peu mobiles dans les sols, cependant les états III sont plus mobiles que les états V, enfin il existe des composés volatils de l'arsenic. Les voies de contamination sont l'ingestion et l'inhalation.

Les effets aigus sont immédiats sur la peau et des lésions peuvent se développer au bout de 18h. La mort par inhalation peut être causée en quelques minutes et à des concentrations moins fortes, provoquer des œdèmes pulmonaires. Les effets chroniques ont été mis en évidence dans le milieu professionnel et concerne un état de fatigue général, des troubles gastro-intestinaux, une anémie hypochrome, des atteintes cutanées, des atteintes cardio-vasculaires, des atteintes de l'appareil respiratoire, des atteintes hépatiques...

Les effets sans seuil sont des cancers de la peau, du foie, du poumon, des reins et des testicules.

Les VTR retenues sont : un MRL de 5E-3 mg/kg/j (ATSDR 2007) pour une exposition aiguë (14 jours, œdème de la face et symptôme gastro-intestinaux et une RfD (Reference Dose) de 3E-4 mg/kg/j (US EAP 1993) et un ERUo (Excès de Risque Unitaire) de 1,5 (mg/kg/j)⁻¹ (US EAP 1998), respectivement pour les effets chroniques à seuil (hyperpigmentation, kératose et des complications vasculaires possibles) et les effets sans seuil (cancer de la peau).

C) Béryllium

Le béryllium est un élément en trace dans l'environnement et il est considéré comme très toxique. L'inhalation aiguë ainsi que l'inhalation chronique de béryllium provoque des pathologies des poumons qui peuvent conduire à la béryllose, sorte de pneumonie chimique. L'ingestion du béryllium a montré des lésions à l'estomac et à l'intestin chez l'animal mais ces effets n'ont pas été observés directement chez l'homme. Des personnes hypersensibles peuvent contracter des allergies au béryllium. Le béryllium est considéré comme ayant une cancérogénicité limitée par l'IARC.

La VTR retenue est une RfD de 2E-3 mg/kg/j (US EPA 2002) pour des petites lésions intestinales

D) Brome

- **Brome**

Quelques études décrivent des pathologies de la peau et des voies respiratoires dues à des contaminations par ingestion (médicament contenant du brome), par contact cutané (liquide ou vapeur de brome) et par inhalation. Il n'existe cependant pas de VTR pour le brome.

- **Bromate**

L'ion bromate, de formule BrO₃⁻, est la base conjugué de l'acide bromique. Ce composé est formé en présence d'ozone (désinfection des eaux). Il est très toxique (insuffisance rénale, surdité) et cancérigène). Les bromates ne devraient être détectés qu'en trace et les VTR retenues sont une RfD de 4E-3 mg/kg/j pour le chronique avec seuil et ERUo de 7E-1 (mg/kg/j)⁻¹ pour le cancer (US EPA 2001).

E) Cadmium

Le cadmium est présent dans l'atmosphère sous forme particulaire et dans les sols. Il est facilement capté et stocké par les plantes. Par inhalation il est principalement absorbé au niveau des alvéoles pulmonaires. Par ingestion l'organe cible est le rein où il peut causer une néphrotoxicité. Le cadmium est considéré comme très toxique et cancérigène (classé dans le groupe 1 par l'IARC). La VTR retenue est un MRL de 2E-4 mg/kg/j (ATSDR 2009) pour des altérations rénales, celle-ci bénéficie d'un niveau de confiance élevée.

F) Chrome

Le chrome existe sous plusieurs degrés d'oxydation mais les principales sont le chrome III et le chrome VI. Le chrome III se retrouve plus dans les sols et les sédiments tandis que le chrome VI se trouve plus dans l'eau. Le chrome n'est pas volatil.

Le chrome est considéré comme très toxique et le chrome VI est classé dans le groupe 1 par l'IARC. Des études montrent une corrélation entre le cancer du poumon et l'inhalation de chrome. Les VTR retenues sont valables pour le chrome VI et sont une RfD de $3E-3$ mg/kg/j (US EPA 1998) pour une absence d'effet et un ERUo de $4,2E-1$ (mg/kg/j)-1 (OEHHA 2002) pour des tumeurs cancérogènes de l'estomac.

G) Cobalt

Le cobalt est insoluble dans l'eau mais il peut y être présent sous forme particulaire ou en précipité. Les voies d'exposition du cobalt sont l'ingestion (jusqu'à 97% d'absorption) et l'inhalation (jusqu'à 75% d'absorption). Les organes cibles sont principalement le cœur et les poumons pour l'inhalation et le cœur pour l'ingestion, puis dans un second temps ce peut être le foie, les reins et le tube gastro-intestinal.

La VTR retenue est un MRL de $1E-2$ mg/kg/j (ATSDR 2004) subchronique pour la polycythémie.

H) Cuivre

Le cuivre est peu toxique mais l'intoxication par ingestion peut provoquer des pathologies du foie et dans un second temps du système nerveux central, du cœur, des os et des reins. Un cas d'intoxication aiguë a été observé conduisant à la mort par bronchopneumonie et œdème pulmonaire.

Les VTR retenues sont un MRL de $1E-2$ mg/kg/j (ATSDR 2004) pour des troubles gastro-intestinaux (exposition de 14 jours) et une TDI (Tolerable Daily Intake) de $0,14$ mg/kg/j (RIVM 2001) pour la perte de poids.

I) Etain

L'étain en tant qu'élément n'est pas très toxique à l'image de la VTR retenue, une MRL de $3E-1$ mg/kg/j (ATSDR 2005) pour des effets hématologiques. La voie d'exposition de l'étain est l'ingestion. Les composés organiques de l'étain, comme le tributyl étain, représentent un risque plus important pour la santé ils sont purement anthropiques et les processus ISR n'en sont pas producteurs.

J) Fer

Le fer fait partie des sels minéraux essentiels à la vie en participant notamment au transport de l'oxygène et à la formation des globules rouges. Cependant l'excès de fer

entraîne la mort cellulaire ce qui lui vaut d'être suspecté d'intervenir dans la destruction des neurones dans la maladie de Parkinson. Mais aucun effet chronique n'a été jusqu'à présent documenté pour l'ingestion. Seul des intoxications dues au fer ferreux (Fe^{2+}) ont été observées. Ces expositions provoquent des douleurs abdominales, des diarrhées, des vomissements, des cyanoses, de l'hyperventilation, des collapsus cardiovasculaire jusqu'à la mort parfois.

Ces cas restent rares car dans des conditions normales le fer ferreux est rapidement oxydé en fer ferrique. Le fer est donc très difficilement toxique et si il existe une (Provisional Maximum Tolerable Daily Intake) PMTDI de 0,8 mg/kg/j (OMS 1983) pour le fer total, cette VTR n'est pas expliquée scientifiquement.

K) Fluor

- **Elément**

Le fluor est peu toxique pour l'homme et ses symptômes sont principalement liés au confort jusqu'à des concentrations relativement importantes. Cependant, il existe de sérieux problèmes osseux et dentaires (fluorose) pour des concentrations plus élevées.

- **Fluorure**

Le fluorure est la forme anionique du fluor. Il se trouve de façon naturelle dans les eaux. Il s'agit du plus petit anion existant et cela lui confère la capacité élevée de se fixer et de se recombinaison avec des molécules et cela explique sa toxicité. La VTR retenue est un MRL de $5\text{E-}2$ mg/kg/j (ATSDR 2003) et concerne l'augmentation de risque de fracture.

L) Manganèse

Le manganèse est un élément essentiel à l'homme pour le métabolisme des lipides, la formation de certains tissus et le développement embryonnaire des fonctions reproductrices. Cependant il est toxique à des concentrations plus fortes et provoque des troubles psychologiques et neurologiques ainsi que des pneumonies pour l'inhalation. Les VTR retenues pour l'ingestion sont une RfD alimentation de $1,4\text{E-}1$ mg/kg/j et une RfD eau de $4,6\text{E-}2$ mg/kg/j (US EPA 1996) pour des effets sur le système nerveux central et des dysfonctionnements neurocomportementaux.

M) Mercure

Le mercure fait partie des éléments les plus toxiques. Il est toxique et écotoxique sous toutes ses formes et pour tous ses états chimiques. Au degré 0 il n'est qu'inhalable et l'état II est plus toxique que l'état I. Les voies d'expositions sont l'inhalation et l'ingestion et les cibles sont les reins, le cerveau, le système nerveux et le fœtus. Les symptômes sont : irritabilité, troubles du comportement, de la vision, de l'audition, de la mémoire, lésions irréversibles des reins et du fœtus jusqu'à la mort. Le mercure se concentre dans la chaîne

aquatique où il est bioaccumulé sous forme de méthylmercure (HgCH₃) l'une des formes les plus toxiques. Le mercure est classé 3 par l'IARC et le méthylmercure est classé 2B.

Les VTR retenues sont une TDI de 2E-3 mg/kg/j (RIVM 2001) pour les effets sur le rein pour le mercure inorganique, et une RfD de 1E-4 mg/kg/j (US EPA 2001) pour des effets neuropsychologiques pour le méthylmercure.

N) Molybdène

Le molybdène est considéré comme un élément trace essentiel pour l'organisme. Les voies d'expositions sont l'inhalation et l'ingestion. En passant par les poumons ou le tube gastro-intestinal, le molybdène atteint le foie, les reins, la rate et les os. La demi-vie du molybdène dans l'organisme est de quelques semaines et il est éliminé principalement par l'urine et la bile. Les effets sont principalement une augmentation de l'acide urique dans le sang et les urines, et les symptômes ressemblent à ceux de la goutte comme l'arthralgie, les déformations articulaires, les érythèmes, les œdèmes... Chez les travailleurs d'autres symptômes comme la fatigue, les maux de tête, l'irritabilité, le manque d'appétit, les douleurs aux muscles et gastriques, la perte de poids etc. ont été observés.

La VTR retenue est une RfD de 5E-3 mg/kg/j (US EPA 1993) pour l'augmentation d'acide urique.

O) Nickel

Le nickel est un métal en trace ubiquitaire que l'on retrouve dans les sols, l'eau, l'air et dans les plantes qui l'accumulent. L'ensemble des voies d'expositions est possible. La principale est l'inhalation qui touche la thyroïde, les glandes surrénales et les reins en plus d'inflammations, de dommages sur les muqueuses et de bronchites chroniques. Ensuite vient l'ingestion qui touche le foie, le cœur et les poumons. La voie la moins importante voie est le contact cutané bien que le nickel soit le métal de plus allergisant provoquant pour plus de 12% de la population des eczémas, dermites de contact (aussi appelé la gale du nickel). La concentration normale chez les personnes non exposées est de 0,5 µg (pour un adulte de 70 kg). Toutes les voies de sécrétions participent à son élimination.

Plusieurs études ont montrées que le nickel était un facteur de risque pour le cancer du poumon et des voies nasales, cependant il n'est classé que 2B (cancérogènes possible) par l'IARC. D'autres cancers comme le cancer des reins, le cancer gastrique ou de la prostate ont été observés chez des travailleurs du nickel mais sans que le nickel soit clairement identifié comme le facteur exclusif.

La VTR retenue est une RfD de 2E-2 mg/kg/j (US EPA 1996) pour la perte significative de poids corporel.

P) Plomb

Le plomb est présent dans les roches et dans tous les compartiments de la biosphère. Il est reconnu comme étant un élément très toxique pour le système nerveux. Il peut être d'origine naturelle (roches, sols, rejets volcaniques) et anthropique (sidérurgie, canalisation, peinture). La principale voie d'exposition est l'ingestion mais il est souvent difficile de distinguer la part due à l'ingestion de l'inhalation en milieu professionnel. Le plomb peut se mesurer dans l'environnement mais le dépistage des populations exposées se fait par analyse du plomb dans le sang (plombémie). Les symptômes sont ceux du saturnisme qui touchent le système hématopoïétique, le système cardio-vasculaire et surtout le système nerveux en affectant les fonctions cognitives et entraîne des troubles du développement chez les enfants. Les enfants représentent une population plus à risque du fait de leur taux d'absorption qui est supérieur (jusqu'à 50% < 2ans) et qu'ils sont en développement.

La cancérogénicité du plomb n'est pas encore bien connue et il est classé 2B par l'IRC. Les VTR retenues sont une DHT (Dose Hebdomadaire Tolérable) de $2,5E-2$ mg/kg (soit $3,5E-3$ mg/kg/j, OMS 2004, valeur guide) pour la plombémie et un ERUo de $8,5E-3$ (mg/kg/j)⁻¹ pour des tumeurs rénales (OEHHA 2005, cette dernière VTR peut ne pas être pertinente car la capacité du plomb à être un cancérigène à seuil est en débat).

Q) Rhénium

Le rhénium est présent en trace dans certains minéraux et on le retrouve dans les poussières de molybdène dans les fours industriels. Il est peu utilisé et il a la propriété de ne pas être attaqué par l'acide chlorhydrique ou sulfurique. De plus on ne dispose pas de VTR pour cet élément.

R) Scandium

Il y a très peu de données sur le scandium et on ne dispose pas de VTR. Il est très peu utilisé.

S) Sélénium

Le sélénium est un oligoélément, cependant pour des doses légèrement supérieures il devient un toxique du système nerveux et peut toucher, dans un second temps, le foie, le cœur et les poumons. Les composés du sélénium sont très solubles et atteignent l'organisme par inhalation et ingestion via respectivement par les poumons et les intestins. Les symptômes les plus graves sont gastro-intestinaux et neurologiques, mais des effets sur les ongles, les cheveux et la peau (dépigmentation et lésion) sont communs de l'intoxication par le sélénium.

Sa cancérogénicité n'est pas démontrée, il est classé dans le groupe 3 par l'IARC, mais il pourrait avoir un rôle dans le cancer du foie. Enfin le sélénium préserve des

intoxications du mercure, de l'arsenic, du cadmium, du platinium et de l'argent qui réciproquement protègent de l'intoxication du sélénium.

La VTR retenue est une RfD de $5E-3$ mg/kg/j (US EPA 1991) pour des sélénoses cliniques (foie, sang, ongle...).

T) Strontium

Le strontium est assimilé par ingestion. Il peut provoquer des crampes, des contractions douloureuses des muscles et des effets purgatifs. Il est surtout connu depuis longtemps comme pouvant se substituer au calcium dans les os provoquant des troubles rappelant ceux du rachitisme d'autant plus qu'il a une demi-vie longue de 28 ans.

La VTR retenue est une RfD de $6E-1$ mg/kg/j (US EPA 1996) pour des os rachitiques.

U) Titane

Le titane n'a pas de toxicité connue et il est même très utilisé en cosmétique, en pharmacie et en chirurgie pour ses propriétés inertes. Il est depuis longtemps utilisé comme matière pour les prothèses car il est biocompatible et aucun effet défavorable n'a été observé à ce jour. Il n'existe donc pas de VTR par ingestion.

Il existe des VTR par inhalation de l'un de ces composés, le tétrachlorure de titane, mais sa source est purement anthropique.

V) Uranium

L'uranium est un métal lourd présent dans l'environnement et possède plusieurs formes isotopiques radioactives. Il existe sous différentes valences +3, +4, +5 et +6, mais c'est la forme +6 ($(UO_2)_2^{2+}$, uranyle) qui est la plus stable. C'est sous cette forme que l'uranium est mobilisé par le procédé ISR. De plus l'uranyle est le composé le plus important en termes de toxicité puisque c'est la forme la plus présente dans l'organisme. Lorsque que les composés +4 sont absorbés, l'organisme les oxydes en +6.

L'absorption de l'uranium est lente mais elle s'effectue par toutes les voies : inhalation, ingestion et cutanée. L'organisme d'un Européen ou d'un Américain contient environ $22 \mu\text{g}$ d'uranium de façon naturelle. Les organes cibles de l'uranium sont principalement les os et les reins et dans un second temps le système cardio-vasculaire, le foie, les muscles et le système nerveux. Par inhalation les premiers organes touchés sont les poumons pour lesquels des études sur les animaux ont montré d'importantes lésions. L'uranium est éliminé par voie uro-fécale.

Il apparaît aujourd'hui au travers des études disponibles que les sels solubles sont les formes les plus toxiques du métal et que les formes insolubles ou enrichies sont d'abord dangereuses pour leur radioactivité. Cependant dans toutes les études menées, la part de toxicité purement chimique et radiologique n'est pas clairement définie. Il n'a ainsi pas été

démontré d'effet cancérigène du aux effets chimiques, notamment à cause de la présence d'autres composés cancérigènes dans les milieux d'exposition des études.

Une VTR par ingestion de MRL de $2E-3$ mg/kg/j a été retenue (ATSDR 1999), elle concerne des effets sur le foie pour les sels solubles. Cette valeur a été établie pour une exposition subchronique et est donc protectrice des expositions chroniques, d'autant plus que les effets sur le foie sont plus dus à la dose qu'à la durée d'exposition.

W) Vanadium

Le vanadium est un métal rare, ces effets sont principalement une irritation des yeux et des voies respiratoires (conjonctivites, toux, sifflements, difficultés respiratoires, bronchites industrielles). Une coloration verdâtre de la langue, des doigts, du scrotum et des cuisses peut apparaître. Une coloration plus sombre de la langue indique une forte exposition.

La VTR retenue est un MRL de $3E-3$ mg/kg/j (ATSDR 1992) pour des effets sur les poumons, les reins et la rate.

Le pentoxyde de vanadium est la forme la plus oxydée du vanadium et elle possède des VTR à cause de sa toxicité. Cependant il s'agit d'une forme presque exclusivement anthropique (à l'exception de zones à proximité de certaines fumeroles).

X) Zinc

Le zinc est l'un des oligo-éléments le plus abondants chez l'homme, il est principalement présent dans l'environnement à l'état divalent (Zn^{2+}). Il intervient au niveau de la croissance, du développement osseux et cérébral, de la reproduction, du développement fœtal, du goût et de l'odorat, des fonctions immunitaires et de la cicatrisation des blessures. Il ne semble pas pouvoir se stocker dans le corps humain et près d'un tiers de la population mondiale est carencé en zinc. La voie principale d'exposition est l'ingestion.

Le zinc métallique possède une faible toxicité. Des symptômes tels que des crampes d'estomac, des nausées et des vomissements ont été liés au sulfate de zinc par exemple. Pour des expositions chroniques, les organes cibles sont le tractus gastro-intestinal, le sang et le système immunitaire pour l'ingestion et les poumons pour l'inhalation.

La VTR retenue est une RfD de $3E-1$ mg/kg/j (US EPA 2001) pour des effets sanguins (diminution des érythrocytes CU et Zn-superoxyde dismutase).

2.1.2 Les polluants des procédés

A) Composés sulfurés

- **Acide sulfurique**

L'acide sulfurique est le liquide lixiviant utilisé pour la méthode ISR à KATCO. Il est à l'origine de la présence des autres espèces sulfatées dans l'environnement. L'acide sulfurique (anciennement appelé huile de vitriol ou vitriol) est un composé chimique corrosif

de formule H_2SO_4 . C'est un acide fort, miscible à l'eau en toutes proportions. Il n'est pas volatil à température ordinaire. L'acide sulfurique est corrosif pour la peau et les muqueuses en contact. Les effets aigus sont bien connus, ainsi l'ingestion d'une solution concentrée ($pH \leq 1,5$) provoque immédiatement des douleurs buccales, rétrosternales et épigastriques, accompagnées de vomissements généralement sanglants... Les expositions chroniques sont moins connues (troubles digestifs, difficultés respiratoires, augmentation de la fréquence de l'emphysème, érosions dentaires...) et seule une VTR pour l'inhalation est disponible.

- **Sulfates**

Le sulfate est le sel de l'acide sulfurique. Sa formule est SO_4^{2-} . Il n'y a pas de données toxicologiques spécifiques à cet ion car il est toujours associé à un cation (potassium, ammonium, magnésium, cuivre...). Il n'y a donc pas de VTR pour l'inhalation du sulfate, la seule référence disponible est la référence de qualité du décret sur les limites et références des eaux potables. Cette valeur est de 250 mg/l pour des raisons de corrosivité, elle n'est pas valable pour une ERS. Les sulfates restent néanmoins de bons traceurs de pollutions dues à la méthode ISR.

- **Dioxyde de soufre**

Le dioxyde de soufre (ou anhydride sulfureux) a pour formule brute SO_2 , il se dissout dans l'eau donnant des sulfates. C'est un gaz dense, incolore et toxique. Son inhalation est fortement irritante et touche les poumons puis le sang (jusqu'à 90% d'absorption chez les animaux). Ce polluant est susceptible d'être émis dans les processus de l'usine, cependant il n'existe pas de VTR disponible. La valeur retenue est une VG de $5E-2$ mg/m³, Valeur Guide de qualité fixée par un décret de 1998. Elle ne pourra être utilisée pour la voie inhalation que de façon qualitative.

B) Composés azotés

- **Nitrates**

Les nitrates sont utilisés en tant que réactifs avec l'ammonium dans les procédés de raffinage de l'uranium sous forme de nitrate d'ammonium. Les nitrates sont les sels de l'acide nitrique, ces ions ont pour formule brute NO_3^- . Le nitrate n'est pas réellement toxique mais il se dégrade en nitrite (NO_2^-) qui lui est beaucoup plus toxique. De plus les nitrates constituent un facteur dans l'eutrophisation des eaux de surfaces et donc indirectement ils participent à la diminution de la qualité globale des eaux. Leur présence dans l'eau est souvent un témoin de pollution anthropique. Très étudiés car très répandus étant très liés à l'agriculture, les nitrates ont une VTR pour l'ingestion qui est une RfD de 1,6 mg/kg/j (US EPA) pour un excès de méthémoglobinémie de 10% chez les enfants.

- **Nitrites et dioxyde d'azote gazeux**

Les nitrites sont les sels de l'acide nitreux et ont pour formule brute NO_2^- . Ils proviennent de la réduction des nitrates. Leur mécanisme toxique est d'empêcher l'hémoglobine de bien fixer l'oxygène. Cette maladie est appelée la méthémoglobinémie, ou la maladie bleue du

nourrisson. La VTR retenue est une RfD de 1E-1 mg/kg/j (US EPA) pour la méthémoglobinémie.

Le dioxyde d'azote gazeux est un gaz brun-rougeâtre dans les conditions normales de température et de pression, de formule brute NO_2 . Il réagit dans l'eau pour donner de l'acide nitrique. Ces effets sont liés à l'inhalation avec un fort taux d'absorption (81 à 92%) touchant principalement les poumons puis le système immunitaire et le foie. Le NO_2 est le composé de référence pour l'analyse des NO_x dans l'air.

La valeur retenue est une VG de 4E-2 mg/m³ (directive européenne 2008). Elle ne pourra être utilisée pour la voie inhalation que de façon qualitative.

- **Ammonium**

La formule brute de l'ammonium est NH_4^+ . Comme pour le sulfate, il n'existe pas de données propres à la toxicité de l'ammonium qui est toujours en lien avec un anion.

- **Ammoniac**

La formule un gaz dans les conditions normales de température et de pression, de formule brute de l'ammoniac est NH_3 . Il dégage une odeur forte, caractéristique et désagréable. L'ingestion aiguë provoque des douleurs buccales, gastriques, des vomissements fréquents et habituellement sanglants, des irritations des muqueuses oculaires et respiratoires. Les expositions chroniques concernent l'inhalation et touchent les yeux et le système respiratoire. La VTR retenue est un MRL de 7E-2 mg/m³ (ATSDR 2004) pour des effets respiratoires et sur les yeux.

C) Poussières

Les poussières désignent les particules en suspension dans l'air. Elles sont différentes en taille (de 1 à 100 μm), en composition et peuvent porter des substances adsorbées. Généralement on distingue les PM₁₀ (les particules fines dont le diamètre est inférieur ou égal à 10 μm (PM : Particulate Matter)) et les PM_{2,5} (les particules fines dont le diamètre est inférieur ou égal à 2,5 μm). Ces diamètres séparent les particules capables d'atteindre les poumons (PM₁₀) des particules capables d'atteindre les alvéoles pulmonaires (PM_{2,5} plus dangereuses). Ces particules ont un effet toxique soit par leur composition soit par les polluants qu'elles transportent.

Cependant si ces effets sont avérés sur les poumons et le système respiratoire en général, et si elles ont des incidences importantes sur la population (mort prématurées, asthme, maladie cardio-vasculaire, fonctions des poumons), on connaît encore mal les relations doses-réponses que ce soit pour le court ou le long terme. D'après l'OMS les expositions à court terme sont sans seuil. Et des études montrent qu'il existe une relation entre les PM et le cancer du poumon.

Il n'existe donc pas de VTR pour les particules mais elles font l'objet d'une attention particulière dans les textes de lois, au travers de valeurs guides qui sont régulièrement

réévaluées à la baisse. Les valeurs retenues sont une VG de 4E-2 mg/m³ pour les PM10 (directive européenne 2008) et une VG de 2E-2 mg/m³ pour les PM2,5 (directive européenne 2008 applicable à partir de 2015). Elles ne pourront être utilisées pour la voie inhalation que de façon qualitative.

A partir de la description de la toxicité de ces substances un choix des espèces les plus pertinentes a été effectué. Il repose sur : l'existence de VTR, la pertinence de la substance dans le contexte de l'ISR (témoin de contamination ou à l'inverse aucun liens avec l'activité), l'intérêt sanitaire (niveau de toxicité), faisabilité de l'analyse, présence détecté lors de l'état initial, mobilité dans l'environnement capacité à être biodisponible (pour les analyses de végétaux)...

Les substances retenues sont listées par compartiment dans l'Annexe N⁵, il s'agit principalement de l'arsenic, de l'aluminium, du béryllium, des bromates, du cadmium, du chrome, du cuivre, des fluorures, du mercure, du molybdène, du nickel, du plomb, du sélénium, de l'uranium, du vanadium, du zinc, des nitrites, des nitrates, du dioxyde de soufre et du dioxyde d'azote.

2.2 Identification des compartiments

Les compartiments pouvant contenir des polluants sont : l'eau, le sol, l'air, les plantes et indirectement les animaux. Les compartiments peuvent être des vecteurs en exposant les populations aux pollutions qu'ils refferment ; ils peuvent aussi être des transferts de pollution depuis les sources vers d'autres compartiments (les relations entre les différents compartiments sont décrites dans la figure N⁹).

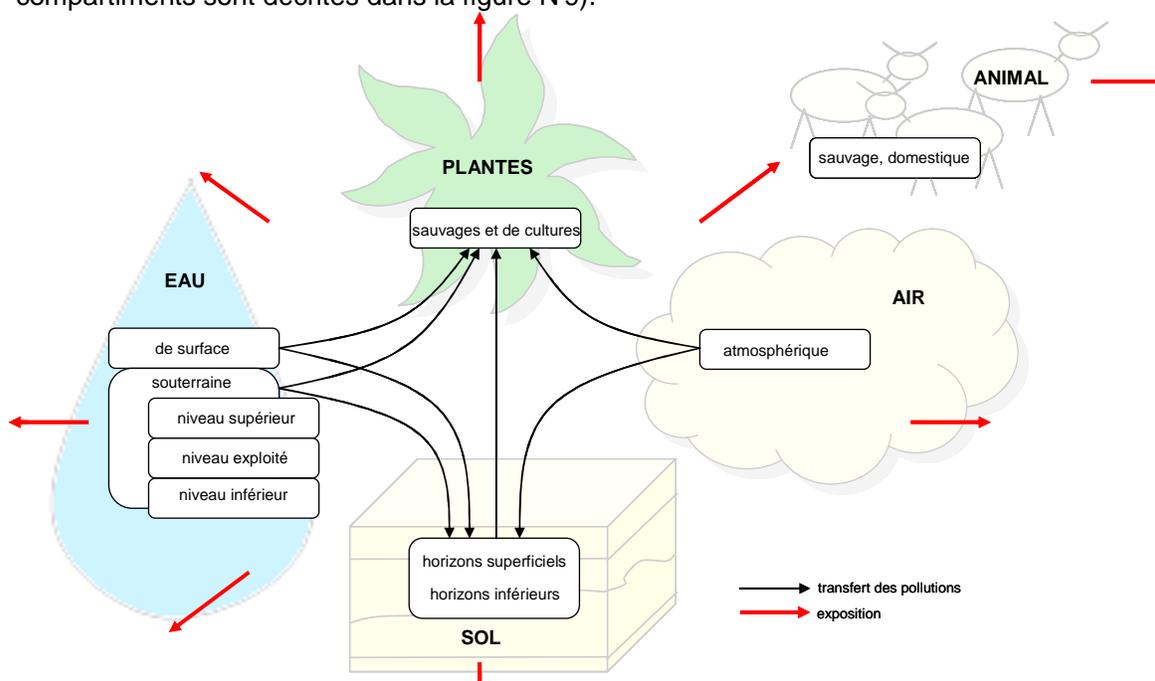


Figure 9 : Compartiment des pollutions potentielles et leurs relations

Le compartiment le plus important à KATCO est l'eau, puis dans un second temps le sol et les plantes. Il n'y aura pas de prélèvement au niveau des animaux (élevages), ces données seront donc extrapolées. Des analyses d'air pourront être menées mais compte tenu du temps d'échantillonnage, elles ne pourront pas être représentatives des rejets annuels et ils n'apporteront donc qu'une information qualitative à un instant donné.

2.3 Détermination des périmètres de l'ERS

A partir de l'identification des polluants, de leurs vecteurs, de la connaissance des processus de l'usine et des mécanismes hydrochimiques de l'ISR, les périmètres de l'ERS peuvent être définis. Ces périmètres indiquent les limites de tous les impacts de la mine sur les populations.

Les deux facteurs influençant le tracé de ces zones sont (figures N°10 et N°11) :

- les compartiments : l'eau et de l'air sont les vecteurs de la dispersion des polluants,
- le temps : les périodes d'activité de la mine et de l'après mine ont un impact différent tant sur les processus hydrogéologiques que sur les rejets atmosphériques.

Périmètres	En activité		Après mine	
Eau	Secteur proche des installations et des champs de puits (150m autour)	Permis minier Tortkuduk et Muyunkum	Limites zones eaux réputées impropres à toutes utilisations	Parcelles 1 et 2
Air	Dépend de la dispersion atmosphérique et des rejets	Assez restreint (<7km)	nul	

Figure 10 : Détermination des périmètres de l'ERS

Lors de la lixiviation acide des gisements, de nombreux éléments autres que l'uranium sont mis en solution, augmentant la minéralisation totale de l'eau et constituant donc une pollution. Ces éléments sont des métaux lourds (Zn, Cu, Ni, Se, Be, V, Co, Cr, Ti...), des radionucléides, SiO₂ et des sels minéraux. Cependant en période d'exploitation ces éléments sont maintenus dans une zone, appelée auréole, à proximité immédiate des zones de lixiviation dans les limites des lignes de courant créées par les puits injecteurs et producteurs. Cette auréole n'atteint pas plus de 50 à 100 m de largeur à laquelle s'ajoute une marge de 50 m en cas de dysfonctionnement du système. Et d'après l'expérience de Kazatomprom cette distance se limite entre 80 et 130 m (KATCO, 2004, *Etude de faisabilité*).

De plus les autres sources potentielles de pollutions liées à l'eau se trouvent au niveau des installations (usine, stockage...).

Les permis miniers contiennent l'ensemble des installations de KATCO et englobent les champs de puits, c'est pourquoi ils ont été retenus pour le périmètre de l'eau lors de l'activité de la mine.

La question de l'après mine est importante car en l'absence de courant hydrodynamique imposé par les puits, les pollutions sont libres de se disperser à la faveur du mouvement naturel de la nappe. Différentes méthodes de réhabilitation de l'aquifère ont été étudiées mais la solution retenue et qui a fait l'objet d'une modélisation hydrodynamique par l'ENSMP (*Ecole Nationale Supérieure des Mines de Paris, 2004*) est la réhabilitation naturelle. En effet de nombreux mécanismes naturels abaissent les concentrations des polluants ou les fixent (interaction chimique avec l'encaissant, neutralisation du milieu, échange ionique, sorption, diffusion, dispersion et filtration), déminéralisant les eaux de l'aquifère.

La modélisation a montré que même un traceur parfait n'atteindrait pas la limite des zones où les eaux sont réputées impropres à toute utilisation, avant mille ans : durée pour laquelle l'ensemble des polluants ne seront plus mobiles (retour aux teneurs naturelles).

C'est pourquoi les limites des parcelles qui correspondent aux zones où les eaux sont réputées impropres à toutes utilisations, forment le périmètre de l'eau pour l'après mine.

La détermination d'un périmètre pour l'air ne peut se faire précisément que par une modélisation atmosphérique prenant en compte les émissions des installations et les conditions climatiques du site. Cependant on peut estimer qu'il est assez restreint de par la nature des processus industriels du site. En effet, même sur des sites de carrière à ciel ouvert, la portée maximale des polluants n'atteint pas plus de 7 km d'après la modélisation atmosphérique de l'ERS réalisée par URS sur les sites miniers d'extraction d'uranium de Somair et Cominak 2006, pour des vents de 8 m/s (*URS, 2006*). Les prélèvements qui pourront approcher l'exposition des populations devront se faire au plus près d'elles et dans un rayon inférieur à 10 km autour des sites.

Le périmètre atmosphérique est nul dans le cas de l'après mine puisqu'il n'y aura plus de rejet et que l'on peut raisonnablement négliger les remises en suspension des polluants précédemment déposés sur les sols (hypothèse à vérifier à partir de l'analyse des sols et de leur couverture actuels).

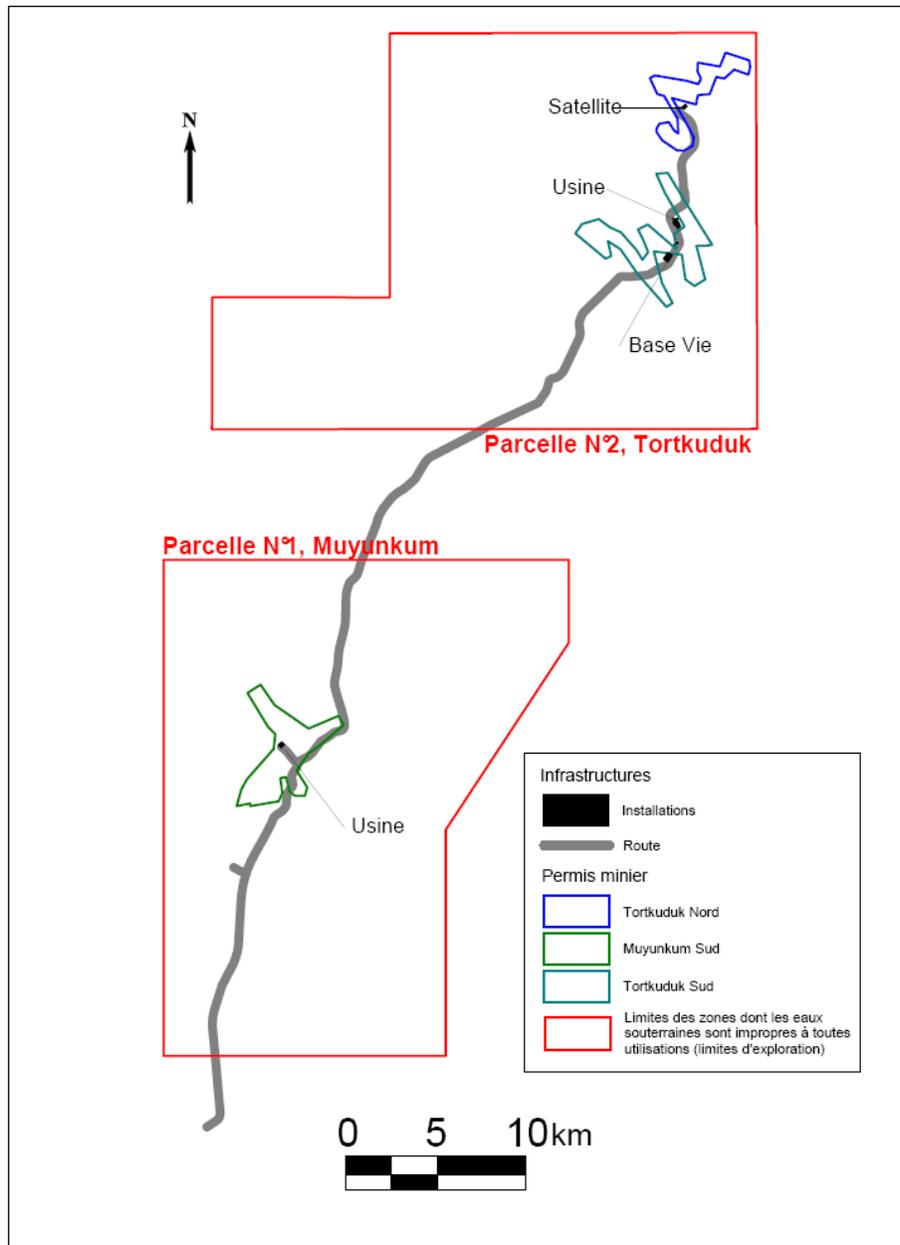


Figure 11 : Carte des périmètres d'études de l'ERS

Les prélèvements dans les différents compartiments devront avoir lieu dans l'enceinte des parcelles.

3 Exposition

3.1 Identification des populations

Les cibles de cette étude sont les personnes vivant dans l'environnement des installations, cela ne concerne pas les travailleurs dont l'aspect sanitaire est réglementé par la législation du travail. Dans le cas de KATCO les populations étudiées sont :

- Les personnels des bases vie : cette population regroupe les personnes potentiellement exposées à l'environnement de l'activité ISR mais qui ne subissent pas d'exposition directe. Elle concerne les personnels de SODEHXO (prestataire de la restauration et de l'hébergement), de PHENIX (prestataire de la sécurité des sites), l'ensemble représente environ 184 personnes auxquelles s'ajoutent d'autres prestataires comme les médecins... Ces personnes sont réparties sur trois bases vie : celle de l'usine de Tortkuduk (PHENIX, capacité 49 personnes), la base vie principale de Tortkuduk (capacité 550 personnes, KATCO compris) et base vie de Muyunkum (capacité de 166 personnes, KATCO compris). De plus Il existe une quatrième base vie, celle de VolkovGéologie à Tortkuduk Nord (capacité 100 personnes), pour laquelle il y a d'autres personnels présents.

- Les éleveurs nomades : ces fermiers anciennement regroupés en Kolkhozes, se déplacent avec leurs troupeaux pour passer plus de la moitié de l'année dans les steppes, d'octobre à avril-mai, autour des installations de KATCO. Ils élèvent des brebis, des chevaux et des dromadaires formant des troupeaux de 300 à 500 têtes. Ils vivent sur place dans des fermes appelées « hivernage » situées près des points d'eau et ils représentent quelques dizaines de personnes.

- Les touristes ou autres personnes de passage (chasseurs...) : cette population est très peu probable dans le secteur et elle ne pourra être considérée que pour des expositions courtes et aiguës.

- Population hypothétique : l'une des particularités de ce site est qu'il se situe en pleine steppe désertique. La définition des populations cibles peut alors s'étendre à des populations hypothétiques susceptibles de se trouver au droit des pollutions. C'est cette population qui sera visée lors de prélèvement sur des zones a priori non visitées. Cette hypothèse est très majorante et sera interprétée avec précaution.

Ces informations, ainsi que les informations médicales suivantes, ont été recueillies lors de l'enquête environnementale sur site dont le détail des entretiens et des sources se trouve sur les fiches questionnaires (fiche questionnaire environnemental ERS_Q annexe 15).

En parallèle de l'acquisition de ces données, une première démarche épidémiologique a été menée chez les médecins des sites (Muyunkum et Tortkuduk) et des environs (médecin en chef de l'hôpital de Taukent). Il s'agissait de connaître les problèmes de santé couramment rencontrés par les populations présentes et de détecter toutes informations utiles ou potentiellement indicatrices d'impact de l'activité, sachant que l'activité ISR à moins de 4 ans de fonctionnement industriel (phase pilote depuis 2000) et que les professionnels interrogés ne disposent pas d'outils adaptés (protocole d'investigation épidémiologique).

Les résultats de cette recherche sont :

- Fermiers : Les fermiers sont beaucoup moins nombreux depuis la fin du système soviétique. Ils se présentent à l'hôpital de Taukent principalement pour des problèmes cardiovasculaires (hypertension) puis pour des traumatismes et enfin pour des intoxications alimentaires.
- Personnel Base Vie : Des symptômes cutanés vraisemblablement liés à des allergies ont été observés chez plusieurs employés de SODHEXO en été.
- KATCO, toutes sociétés confondues : Il existe une lettre informative hebdomadaire sur les consultations effectuées dans les infirmeries des sites. La figure N°12 montre les proportions des symptômes sur les 6 derniers mois.

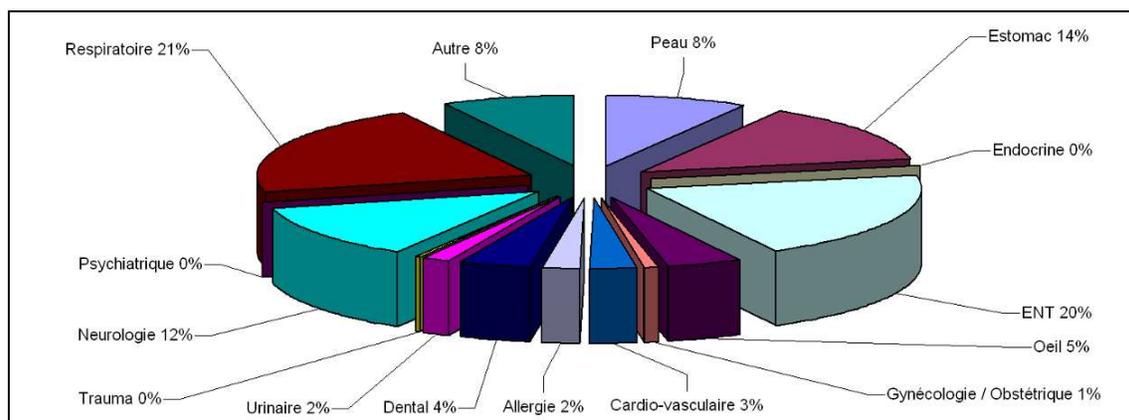


Figure 12 : Synthèse médicale de l'ensemble des travailleurs des sites, Janv-Juin 2009

Les problèmes principaux sont les symptômes respiratoires, les ENT (Oto-rhino-laryngologie), les symptômes neurologiques (fatigues et maux de tête, principalement pour les chauffeurs) et les maux d'estomac (y compris les constipations, les diarrhées...).

Les symptômes sont principalement liés aux saisons et aux conditions de vie (alimentation, climatisation...) avec des diarrhées et des maux d'estomac en été et des rhumes en hivers. Il est à noter que l'hypertension se rencontre plus sur le site de Muyunkum Sud. Il existe quelques pathologies graves de type cancer mais elles sont rares et de divers types. Les médecins des sites n'ont pas relevé de maladie

professionnelle outre des douleurs pour les chauffeurs dues à leur posture pendant le travail.

Ces données ne distinguent pas les personnels des bases vie des ouvriers.

3.2 Identification des voies de contamination

Les 4 voies de contaminations sont l'ingestion, l'inhalation, le contact cutané et les radiations. La voie cutanée est écartée car elle ne peut se produire qu'en présence de forte concentration de polluant (comme les acides) et cela n'intervient que lors d'accident du travail. L'aspect radiologique ne sera pas pris en compte dans l'ERS qui ne s'occupe que des risques chimiques mais il sera considéré dans les phases d'échantillonnages et d'analyses des prélèvements.

3.3 Définition des scénarios

Les scénarios identifient les populations exposées et explicitent les conditions dans lesquelles elles le sont. Dans le cas de KATCO, il convient de distinguer deux scénarios principaux : celui de la mine en activité (scénario 1) et celui de l'après mine (scénario 2). Les scénarios comprennent aussi toutes les informations nécessaires aux calculs de risque (tranches d'âges des populations, nombre d'années d'exposition, facteurs temporels, kg d'ingestion de plantes/j, de sol/j, m³ d'air inhalé/j...). Un «scénario 0» correspond à l'état initial du site, il permettra de discriminer les risques attribuables à l'activité de la mine des risques déjà présents naturellement.

Les données ont été déterminées localement par une enquête environnementale ou sont tirées de registres nationaux ou internationaux (INSEE, USEPA...) :

- Le tableau suivant regroupe les informations, recueillies sur place, nécessaires aux calculs de risque.

Scénario		Population		Période d'exposition				
N°	cas	type	âge	nb année	facteurs temporels			
					heures/jour	jours/semaine	jours/an	
1	activité minière	Personnel base vie	adulte 18 - 65	vie professionnelle 45 ans	24/24	7/7	rotation 2-2 = 1/2	
		Fermier nomade	enfant 0 - 11	11	24/24	7/7	8 mois/an = 8/12	
			adulte 11 - >70	Vie entière 70	24/24	7/7	8 mois/an = 8/12	
		Touriste	Evaluation pour des expositions courte et aigüe					
2	post mine	Fermier nomade	enfant 0 - 11	11	24/24	7/7	8 mois/an = 8/12	
			adulte 11 - >70	Vie entière 70	24/24	7/7	8 mois/an = 8/12	
		Touriste	Evaluation pour des expositions courte et aigüe					
		Population hypothétique	-	Vie entière 70	24/24	7/7	8 mois/an = 8/12	
0	Etat 0	Toutes les populations considérées						

Figure 13 : Scénario d'exposition des populations

- Le tableau suivant regroupe les facteurs d'exposition moyens et extrêmes (95^{ème} percentiles), ces données sont basées sur des populations occidentales

sédentaires et ne sont donc pas exactement représentatives des populations de l'étude.

Facteurs d'exposition*				
Ingestion	Enfant (jusqu'à 12 ans)		Adulte	
	moyenne	extrême	moyenne	extrême
Eau (l/j)	2		2	
Sol (mg/j)	100 (200 protecteur)	400	50	-
Fruit (g/kg.j)	2,7	9,3	3,4	12
Légume (g/kg.j)	4,1	9,9	4,3	10
Total végétaux (g/kg.j)	6,8	19,2	7,7	22
Viande (g/kg.j)	2,9	6,5	2,1	5,1
Produits laitiers (g/kg.j)	14	32	8	29,7
Total production animale	16,9	38,5	10,1	34,8
Poids corporels (kg)	45,3	31,5	71,8	53,15

*Valeurs calculées pour des occidentaux

Source Exposure Factors Handbook, USEPA 1997

Source Child Specific Exposure Factors Handbook, USEPA 2008

Figure 14 : Facteurs d'exposition des enfants et des adultes (calculé pour des populations occidentales sédentaires)

Le calcul des concentrations des substances dans les viandes et les produits laitiers est donné dans annexe N°6. Ils sont basés sur l'étude de l'*US EPA 2005, : Human Health Risk Assessment Protocol for Hazardous Waste Combustion Facilities*. Ils sont basés sur le cas des bovins ce qui entraînent une imprécision par rapport à la situation réelle des fermiers (consommation principale de chèvre et de mouton).

Les personnels des bases vie KATCO ne consomment pas l'eau mais ils s'en servent pour les tâches domestiques dont la lessive, le lavage/rinçage de la vaisselle et les douches. Le personnel de la base vie de VolkovGéologie consomme l'eau d'un forage du pléistocène. Les fermiers consomment l'eau des puits (origine Uyük et aquifères supérieurs) et ils mangent leurs bêtes. A part l'eau et la viande ils importent tout des villes avoisinantes car ce ne sont pas des cultivateurs.

Pour les calculs à venir, les personnels des bases vie, les touristes ainsi que les fermiers seront considéré comme représentatif du scénario N°1. Les populations hypothétiques seront considérées pour le scénario N°2. Pour ce scénario, comme pour le scénario 0 (état 0 ou naturel), les paramètres d'exposition seront copiés de ceux des fermiers.

3.4 Schéma conceptuel

Les schémas conceptuels sont les résumés de toutes les étapes précédentes. Ils permettent de visualiser la situation pour mieux la comprendre, pour sélectionner les points de prélèvement et de réfléchir sur les actions à mettre en œuvre pour mesurer les expositions et pour résoudre ultérieurement d'éventuels problèmes. Ils doivent faire apparaître les sources, les vecteurs et les cibles. Il y en a un pour chaque scénario (figures N°15 et N°16).

Les vecteurs d'exposition peuvent être directs (vecteurs directs), c'est-à-dire qu'ils lient directement les sources de pollution aux populations cibles, ou indirects (vecteurs de transfert) c'est-à-dire que la pollution migre vers d'autres compartiments avant de toucher les populations.

Dans le cas de l'air il s'agit de vecteurs directs. Les fumées provenant des gaz d'échappements des véhicules de transport, des cheminées, des procédés des usines ou des fuites chroniques des réservoirs touchent directement les populations environnantes par inhalation.

Le cas de l'eau est le plus complexe car il dépend de nombreuses sources : fuites des équipements (conduits, bassins de décantation, stockages, décharges), écoulements chroniques de surface (têtes de forages), fuites et transferts des polluants depuis les niveaux souterrains exploités. Les vecteurs d'exposition concernent la consommation de l'eau via les ouvrages liés aux nappes d'eau souterraine (puits, forages, piézomètres, artésiens ou non) et aux mares créées par les ouvrages artésiens. Les vecteurs de transferts diffusent les contaminants de l'eau dans les différents niveaux aquifères (principalement les aquifères supérieurs et le niveau exploité : Uyük).

Les sols, les plantes et les animaux sont concernés par des vecteurs de transfert. Les sols sont contaminés via l'eau et l'air. Les plantes sont contaminées via l'eau, l'air et les sols. Les animaux sont contaminés via l'eau, les sols et les plantes. Les sols et les animaux deviennent ensuite des vecteurs d'exposition pour les hommes.

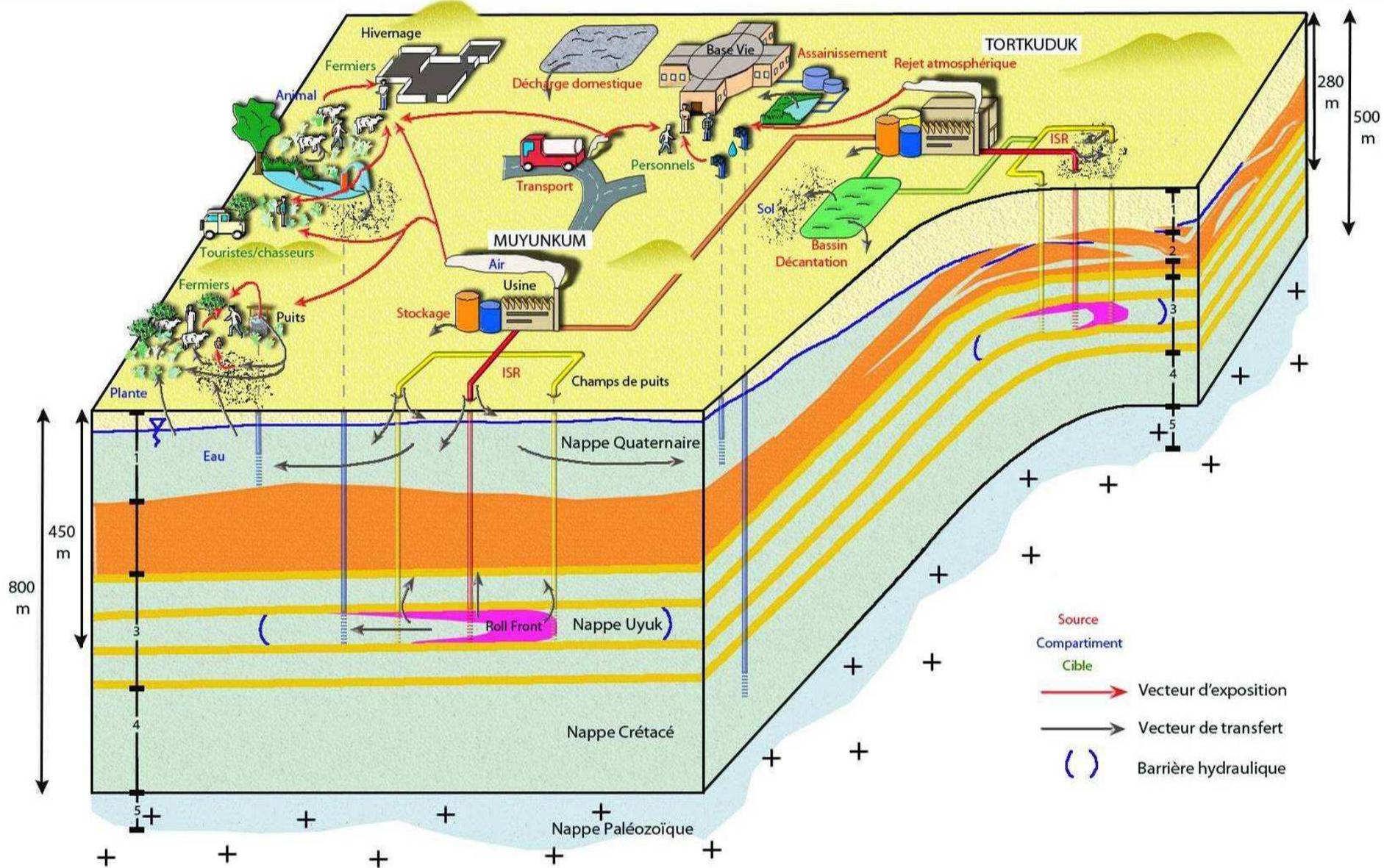


Figure 15 : Schéma conceptuel du scénario 1 : compartiment-source-vecteur-cible

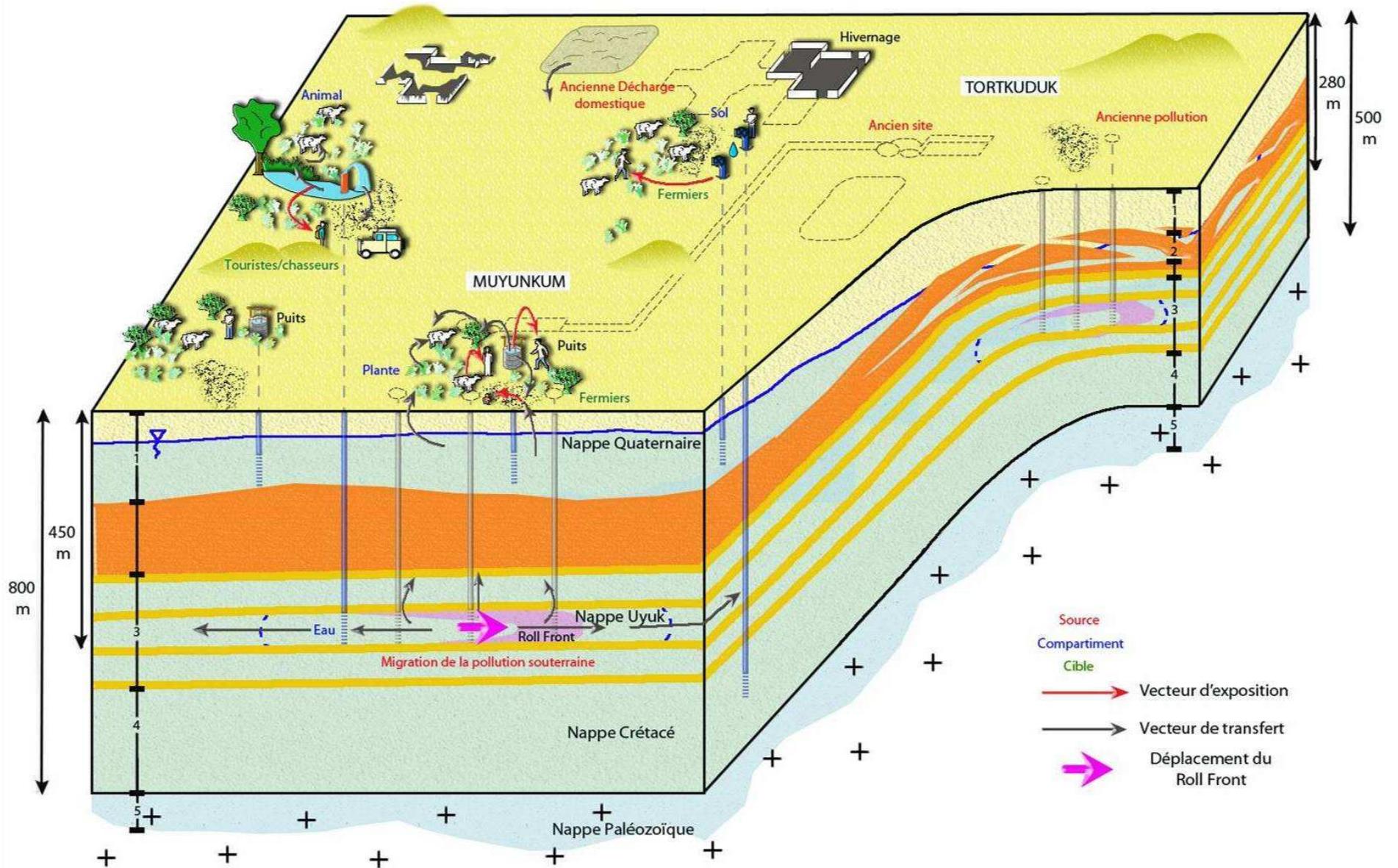


Figure 16 : Schéma conceptuel du scénario 2 : compartiment-source-vecteur-cible

3.5 Mesure de l'exposition

3.5.1 Description des points de prélèvement

La campagne d'échantillonnage a visé tous les compartiments à des points représentatifs d'une exposition mis en évidence par les schémas conceptuels.

Les prélèvements d'eau ont été effectués :

- Pour le scénario 1 : sur les forages d'alimentation en eau, les forages et les puits fermiers, les puits artésiens utilisés par les fermiers et sur les robinets de la base vie principale.
- Pour le scénario 2 : sur les piézomètres de la surveillance environnementale : piézomètre de contour (situé dans l'Uyuk aux abords de la zone d'exploitation), au sein de contour (situé dans les aquifères supérieurs et inférieur de l'Uyuk dans les zones d'exploitation) et spéciaux (situé dans le quaternaire près des zones sensibles).
- Pour le scénario 0 (état initial) : sur les piézomètres régionaux (situé dans l'Uyuk éloigné des activités ISR)

Les prélèvements de sol et de plante ont été effectués à proximité des points de prélèvements d'eau lorsque cela était représentatif d'une exposition ou de l'état initial.

Le cas des prélèvements d'air est particulier. Les moyens d'analyses disponibles sur place sont inadaptés aux faibles concentrations et bien que les analyses d'air n'ont eu lieu qu'à l'endroit le plus exposé (population base vie usine Tortkuduk) pendant deux semaines et pour différentes conditions météorologiques, la représentativité temporelle est faible.

3.5.2 Protocole de prélèvement

Les prélèvements d'eau ont respecté les prescriptions du document sur les protocoles d'échantillonnages de l'eau, *KATCO 2008*. Ils se font après avoir renouvelés plusieurs fois le volume d'eau de l'ouvrage par pompage, par air lift ou par artésianisme. Quelques piézomètres ne fournissant pas assez d'eau ont été prélevés à l'aide d'une sonde. Le flaconnage est constitué de bouteille de 5 litres en plastique. Les bouteilles sont rincées trois fois avant le remplissage et 5L sont prélevés pour l'analyse chimique et 20L pour l'analyse radiologique.

Les méthodes de prélèvement des sols et des plantes sont assez rudimentaires. Le sol est pris jusqu'à 25 cm de profondeur à l'aide d'une pelle et les plantes sont cueillies entre 3 et 5 cm au-dessus du sol à l'aide de ciseaux. Le flaconnage est constitué de sac plastique dans les deux cas. Les prélèvements de sols sont différents si la pollution est ponctuelle (point précis à proximité de la source potentielle de pollution), ou si il s'agit d'une pollution plus diffuse (plusieurs prélèvements sur la zone). Dans le cas diffus, un échantillon global est

formé pour l'analyse à partir des différents prélèvements de la zone, pris à parts égales en poids et mélangées.

Les prélèvements d'air s'effectuent avec des tubes CERVEK à hauteur d'homme.

3.5.3 Plan d'échantillonnage

Le plan final d'échantillonnage se trouve en annexe N°7. Chaque prélèvement dispose d'un numéro ERS expliqué ci-dessous.

Numéro d'échantillon : ERS_AB_X_C

A : Compartiment : E=Eau, A=Air, S= Sol, P= Plante

B : Pour l'Eau : P=Paléozoïque, Q=Quaternaire, I=Ikansk, U=Uyuk, C=Crétacé, BV=Base Vie

X : Numéro de l'échantillon dans le compartiment

C : Site MS=Muyunkum Sud, TS=Tortkuduk Sud, TN=Tortkuduk Nord

Au total 48 prélèvements ont été effectués en trois semaines :

- 7 prélèvements d'airs
- 22 prélèvements d'eau,
- 10 prélèvements de sol,
- et 9 prélèvements de plantes.

Les prélèvements n'étant réalisés que dans un laps de temps court, ils ne pourront pas être pleinement représentatifs de l'ensemble de l'évolution du site. Toutefois ils constitueront une bonne approche des expositions (sauf pour ce qui est des prélèvements d'air) car les prélèvements d'eau souterraine sont indépendants de l'époque de l'année et que dans le futur, les procédés resteront similaires malgré une augmentation de la production.

La cartographie globale et par site des prélèvements est présentée en annexes N°8 et N°9, la table du SIG (Système d'Information Géographique, MAPINFO) est en annexe N°10 et renseigne sur la date des prélèvements, les coordonnées, les analyses effectuées... Chaque point possède une fiche qui synthétise ces informations (annexe N°16).

Les analyses effectuées par SAFEGE en 2001 (*Etat zéro environnemental, 2001*) constituent un complément pour les expositions à l'état initial. Deux prélèvements supplémentaires ont été effectués à titre indicatif (Station de Traitement des Eaux Polluées - STEP).

4 Caractérisation du risque

4.1 Présentation des résultats d'analyses

Les résultats des analyses chimiques sont donnés en annexe 14. Une partie des analyses attendues n'ont pas pu être obtenues. Cela concerne environ 70% des analyses des sols et des plantes. De plus le vanadium, les bromates mais surtout l'uranium n'ont pas été analysés, y compris pour les échantillons d'eau. L'ERS ne fera donc aucune conclusion sur ces éléments.

Pour l'eau, les données les plus représentatives sur lesquelles reposent les calculs de risque concernent : As, Cd, Cr, F-, Mo, Ni, Pb, Se, Mn, NO₃⁻, Zn. Les calculs pour Al, Be, Cu, Fe, Mg et NO₂⁻ ont été réalisés en utilisant avec le seuil de détection, ils sont donc supérieurs à la réalité.

Les résultats des analyses d'air pour le NO₂ et le SO₂ ont toutes été sous le seuil de détection de l'appareillage disponible (< 1µg/m³). Les valeurs guides retenues étant bien supérieures au seuil de détection (de l'ordre de la dizaine de mg/m³), l'ERS ne peut pas se poursuivre pour le risque inhalation et conclue, à partir des moyens disponibles, à l'absence de gêne. Il conviendra dans l'avenir d'utiliser des moyens plus adaptés pour évaluer ce risque avant de conclure définitivement

4.2 Etude environnementale

Des pics de pollutions pour certaines zones sont notables : un piézomètre de contour (ERS_EU_3_MS) possède des forts taux de nitrates et de manganèse (respectivement 103 mg/l et 85µg/l), son pH est le plus faible (3,25) et indique qu'il contenu dans l'auréole de pollution. Un piézomètre régional affiche une concentration naturelle de 38 µg/l pour le chrome et la zone de la décharge domestique est très chargée en fluorures (10,44 mg/l) et en molybdène (40 µg/l).

Une comparaison entre les données actuelles (ERS 2009) et les données acquises lors de l'établissement de l'état initial par SAFEGE (2001) est possible pour quelques points de prélèvement commun aux deux études. On peut ainsi observer l'évolution de certaines substances entre les deux analyses (figure N°17). C'est par exemple le cas des sulfates qui ont considérablement augmenté pour deux points de référence à Tortkuduk Nord (T15 et T17), or ce sont les éléments les plus mobiles des polluants produit par l'ISR. Ceci témoignerait de l'expansion de l'auréole de pollution des champs de puits. En parallèle, on constate une augmentation du chrome et d'une légère baisse des fluorures.

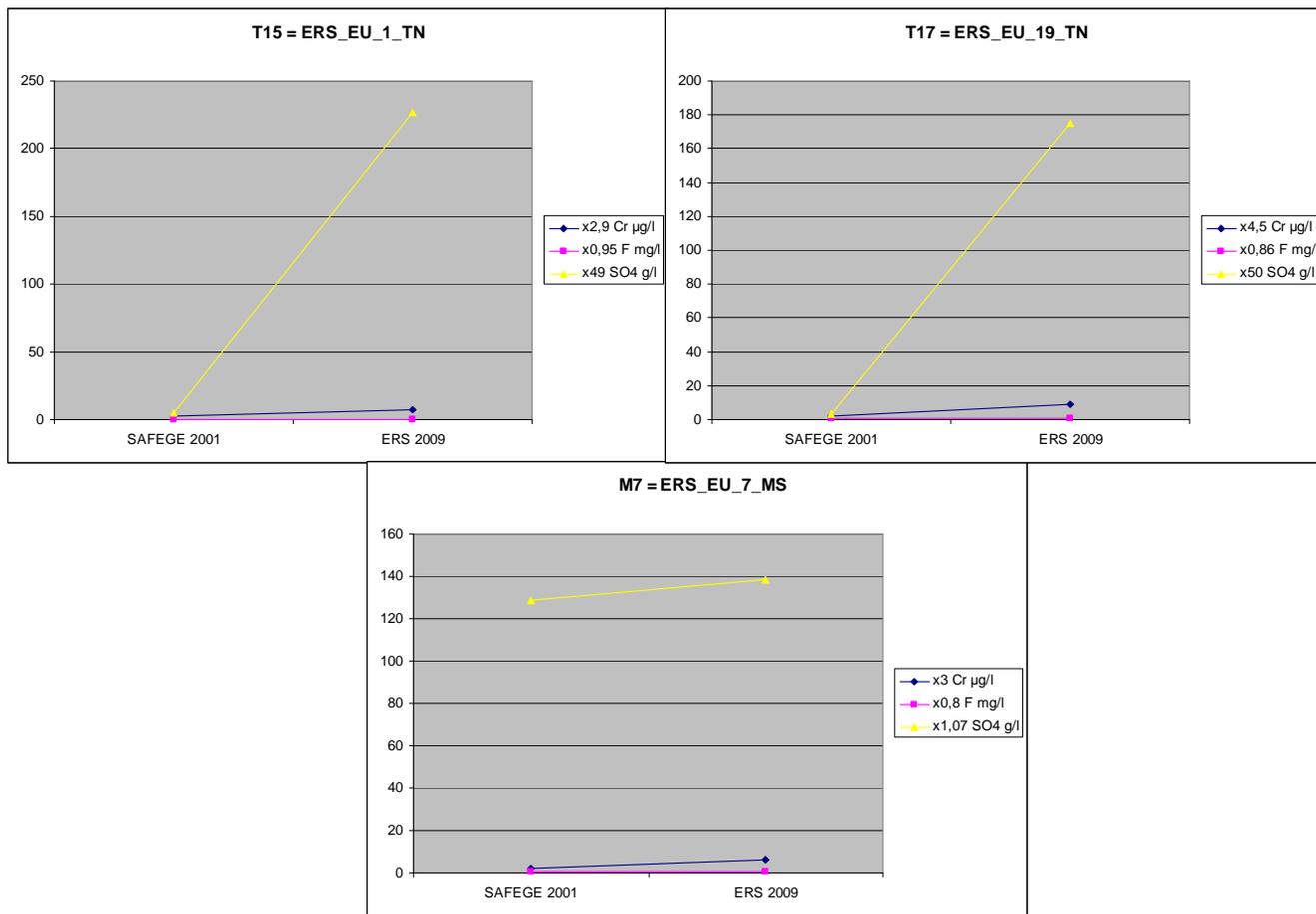


Figure 17 : Comparaison des données environnementales de 2001 et de 2009

Toutefois ces observations restent très qualitatives du fait des écarts d'analyses entre les différents laboratoires et du peu de données disponibles. L'interprétation de l'évolution environnementale appartient à la surveillance environnementale du site constituée d'un réseau de piézomètre régulièrement prélevé.

4.3 Calculs des risques sanitaires

Les risques sanitaires sont quantitativement exprimés par des Quotients de Danger (QD) et des Excès de Risque Individuel (ERI). Les QD sont calculés pour les substances présentant un effet à seuil. Ils sont le rapport de la concentration du polluant pondérée dans le temps sur la VTR. Un QD supérieur à la valeur 1 signifie que la concentration de polluant présente un risque pour la santé. Les ERI sont calculés pour les effets sans seuil. Ils correspondent à une augmentation de la probabilité de développer des effets sanitaires pour un individu suite à son exposition à la substance considérée. Il est admis par consensus qu'un ERI de 10^{-5} correspond à un excès de risque acceptable en santé publique. Leurs équations sont décrites dans l'annexe N°11.

Les tableaux présentant les résultats des QD et les ERI pour les populations de référence et pour l'état naturel se trouvent sur la figure N°18.

Substance	Personnel Base vie				Fermier				Population hypothétique				Substance	Etat naturel			
	QD Totaux				QD Totaux				QD Totaux					QD Totaux			
	enfant		adulte		enfant		adulte		enfant		adulte			enfant		adulte	
	moy	max	moy	max	moy	max	moy	max	moy	max	moy	max		moy	max	moy	max
Al	0,000889579	0,001282438	0,000580808	0,000763187	0,001184772	0,001709918	0,000747744	0,001017583	0,001184772	0,001709918	0,000747744	0,001017583	Al	0,000889579	0,001282438	0,000580808	0,000763187
As	0,370075596	0,533949529	0,233647277	0,317472074					0,493434115	0,711932705	0,311529702	0,423296099	As				
Be	0,000563296	0,000796834	0,000349217	0,000472866	0,000737728	0,001062445	0,000465622	0,000630498	0,000737728	0,001062445	0,000465622	0,000630498	Be	0,000563296	0,000796834	0,000349217	0,000472866
Bromates													Bromates				
Cd	0,050350644	0,072424879	0,03178839	0,042933253	0,077010334	0,111244078	0,048605988	0,068089388	0,07208735	0,113972293	0,044938554	0,062271704	Cd	0,067221849	0,100572858	0,04213997	0,05702843
Cr	0,068388741	0,10013747	0,043180405	0,060891126	0,108379374	0,155789398	0,067138407	0,094408419	0,072945857	0,106813302	0,046037785	0,064737201	Cr	0,182364842	0,267033254	0,11509441	0,161843
Cu	0,008211966	0,012079565	0,005189331	0,007349447	0,012571325	0,019896892	0,007971253	0,012861573	0,01933862	0,035198704	0,012411122	0,025858152	Cu	0,045961345	0,097878858	0,02993122	0,07973901
Fe	0,002901791	0,004287489	0,001818579	0,002602631	0,003869041	0,005716625	0,002424772	0,003470175	0,003384259	0,006159423	0,002142112	0,004525177	Fe	0,002901781	0,004287489	0,001818568	0,00260263
F-	0,350119123	0,513981485	0,215452741	0,311533613	0,379837446	0,556140525	0,239818886	0,337089891	0,208002829	0,373370874	0,784074996	0,74872818	F-	0,190182508	0,279191513	0,11703258	0,1692231
Mn	0,002276887	0,003330681	0,001393244	0,002008138	0,003035849	0,004440908	0,001921386	0,002677517	0,003035849	0,004440908	0,001921386	0,002677517	Mn	0,002276887	0,003330681	0,00139324	0,00200814
Hg					0,032045681	0,04812772	0,01915426	0,027384891	0,054477858	0,078417124	0,032562243	0,048520315	Hg	0,033647966	0,048434106	0,02011197	0,02873314
Mo	0,025420168	0,037050279	0,018012942	0,022388016	0,015063803	0,021965721	0,009489151	0,013265787	0,069293496	0,100998317	0,043950095	0,061022262	Mo	0,022569705	0,032933582	0,01423373	0,01989868
Ni	0,008394321	0,012258297	0,005301832	0,007396494	0,01172118	0,017117441	0,00740346	0,010328438	0,009831167	0,014358564	0,006209353	0,008962561	Ni	0,005871839	0,008282633	0,00358232	0,00499763
Pb	0,058983552	0,092131574	0,035945644	0,048929623	0,079105033	0,116326412	0,049750171	0,069315148	0,097334132	0,142955255	0,061265022	0,085277395	Pb	0,057143553	0,090950007	0,03547157	0,05021924
Se	0,012081398	0,018129289	0,007589443	0,011395315	0,010472885	0,016702534	0,006570935	0,009889958	0,00696191	0,010468356	0,004380623	0,006579972	Se	0,000476039	0,000713752	0,00029868	0,00044863
U													U				
V													V				
Zn	0,003881503	0,005296287	0,002322722	0,003140408	0,00490887	0,007061715	0,003098963	0,004187211	0,004931363	0,007119389	0,003110747	0,004230091	Zn	0,003881631	0,005296962	0,00232277	0,00314049
NO2-	0,002537056	0,003925353	0,001599708	0,002560068	0,003382741	0,005233804	0,00211981	0,003413423	0,003382741	0,005233804	0,00211981	0,003413423	NO2-	0,002537056	0,003925353	0,00159971	0,00256007
NO3-	0,055	0,0859	0,0348	0,0560	0,105182093	0,1627386	0,06590663	0,108136134	0,288801487	0,446838036	0,180961722	0,291421022	NO3-	0,00237849	0,003680019	0,00149035	0,00240006

Substance	ERI Totaux	
	adulte	
	moy	max
As	6,75908E-05	9,18401E-05
Bromates		
Cr	3,49599E-05	4,91598E-05
Pb	6,8748E-08	9,33867E-08

Substance	ERI Totaux	
	adulte	
	moy	max
As		
Bromates		
Cr	4,07888E-05	5,73531E-05
Pb	7,13604E-08	9,79895E-08

Substance	ERI Totaux	
	adulte	
	moy	max
As	6,75908E-05	9,18401E-05
Bromates		
Cr	2,79879E-05	3,93278E-05
Pb	8,7877E-08	1,2232E-07

Substance	ERI Totaux	
	adulte	
	moy	max
As		
Bromates		
Cr	9,3228E-05	6,0001309
Pb	6,7893E-08	9,8044E-08

Substance	Touriste/Risque aiguë			
	QD Totaux			
	enfant		adulte	
	moy	max	moy	max
As				
Cu	0,406111029	0,738130784	0,280633571	0,543021197

Risque atteint
 Risque proche

Figure 18 : Présentation des résultats des calculs des risques sanitaires de l'ERS

La figure suivante rappelle les effets pour lesquels les risques sanitaires sont calculés.

Aluminium	chronique avec seuil	neurologique
Arsenic	aiguë ≤ 14 jours	œdème de la face et symptôme gastro-intestinaux
	à seuil	hyperpigmentation, kératose et des complications vasculaires possibles
	sans seuil	cancer de la peau
Béryllium	chronique avec seuil	petites lésions intestinales
Bromate	chronique avec seuil	urothelial hyperplasia
	sans seuil	mésotéliome testiculaire, adénome et tumeur cancéreuse dans le tube rénal et dans les follicules thyroïdienne
Cadmium	chronique à seuil	pas d'effets observés
Chrome	avec seuil, chrome VI	aucun effets observés
	sans seuil, chrome VI	tumeurs cancérogènes de l'estomac
Cuivre	Aiguë (2 semaines), avec seuil	trouble gastro-intestinaux
	avec seuil	perte de poids
Fluorure	chronique avec seuil	augmentation du risque de fracture
Manganèse	chronique à seuil	effets sur le système nerveux central, dysfonctionnement neurocomportemental
mercure inorganique	à seuil	effets sur le rein
Molybdène	à seuil	augmentation du niveau d'acide urique
Nickel	chronique à seuil, sels solubles	perte significative de poids corporel
	chronique à seuil, sels solubles	perte significative de poids corporel
Plomb	avec seuil, plomb inorganique	plombémie
	sans seuil, plomb et composés	tumeurs rénales
Selenium	avec seuil	clinical selenosis (foie, sang, ongle...)
Uranium	sub-chronique (sels solubles)	reins
Vanadium	subchronique à seuil (4ans...)	changement dans les poumons, les reins et la rate
Zinc	chronique à seuil	effets sanguins (diminution des erythrocyte CU et Zn-superoxyde dismutase)
Nitrate	chronique à seuil	méthémoglobinémie
Nitrite	chronique à seuil	méthémoglobinémie

Figure 19 : Effets sanitaires évalués lors de l'ERS

4.3.1 Risques sanitaires des populations cibles

A ce jour, Il n'existe pas de risque sanitaire pour les populations environnantes de l'activité ISR (scénario 1), ce sont les personnels des bases vie et les fermiers. La totalité de leur QD sont inférieurs à 1 et sont en majorités de 0,01. Le QD se rapprochant le plus d'un risque concerne les enfants des fermiers ou des personnes de passage pour le cuivre (exposition aiguë). Il est de 0,7 mais il faut considérer que la VTR aiguë du cuivre est plus sensible que la VTR chronique. Les ERI sont de l'ordre de 10^{-5} ce qui est acceptable avec toutefois une valeur limite pour l'arsenic (cancer de la peau) pour les personnels des bases vie ($\sim 10^{-4}$).

Globalement les risques sanitaires sont plus importants pour les fermiers que pour les personnels des bases vie.

Le scénario N°2 (post mine) est le plus pénalisant, allant jusqu'à des QD supérieurs à 1. Il s'agit des fluorures (augmentation du risque de fracture) où la valeur moyenne du risque pour les enfants est de 1,2. Cependant ce risque ne va pas au-delà de 1,77 pour le pire cas et reste donc proche de un.

4.3.2 Risques sanitaires par points de prélèvement

Un puits (ERS_EP_20_TS) affiche pour les risques maximum chez l'enfant un QD limite de 1,21 pour les fluorures et un ERI de 10^{-4} pour le chrome. Un forage d'alimentation en eau affiche, toujours pour un risque maximum chez les enfants, un QD de 1,2 pour les fluorures. Le piézomètre de contour, repéré dans l'étude environnementale pour avoir une forte concentration en nitrate, possède pour cette substance un QD de 2,18 pour les enfants et de 1,3 pour les adultes.

Hormis ces trois cas aucun des autres points de prélèvement n'a montré de risque sanitaire au-delà des risques pour les fluorures déjà expliqués dans la partie précédente. Le puits et le forage présentent des risques pour des cas extrêmes d'exposition. Le piézomètre pourrait être atteint par la zone d'exploitation de l'uranium.

4.3.3 Risques sanitaires naturels liés au bruit de fond

Le risque naturel est le risque dû aux concentrations des polluants naturellement présentes dans l'environnement. Il est évalué à partir de point de prélèvement suffisamment éloignés des l'activité à évaluer. Il a pour seul impact sanitaire un ERI de 10^{-4} pour le chrome (cancer de l'estomac). Tout les QD sont inférieurs à 1, le maximum étant de 0,27 pour les fluorures.

Le résultat concernant le chrome est dû à une valeur en particulier. Le risque naturel a été calculé à partir de peu de prélèvement, il serait intéressant d'obtenir un risque naturel plus robuste.

4.3.4 Risques sanitaires attribuables à l'activité ISR

Le risque attribuable montre donc la part vrai due à l'activité ISR. Elle départage le risque dû au fond naturel de celui dû aux apports en polluants de l'activité. Le calcul du risque attribuable consiste à soustraire au risque total le risque naturel :

$$\text{QD_attribuable} = \text{QD_total} - \text{QD_naturel} \quad \text{et} \quad \text{ERI_attribuable} = \text{ERI_total} - \text{ERI_naturel}$$

Par exemple il permet de mettre en évidence que pour sur un quotient de danger total de 1,77 (population hypothétique/fluorures), la part attribuable et de 1,49 pour une exposition maximale et elle passe de 1,2 à 1,01 pour une exposition moyenne chez les enfants. De façon générale, le calcul du risque attribuable donne des valeurs très faibles et ces valeurs sont souvent négatives (la majorité des résultats est comprises entre 0,1 et -0,1). Les risques calculés pour les différentes populations cibles sont donc proches du risque naturel. Dans l'ordre, ce sont les personnels des bases vie qui s'en rapprochent le plus, puis les fermiers, puis les populations hypothétiques.

4.3.5 Analyse de sensibilité

L'étude de la sensibilité des calculs est menée avec le logiciel Crystall ball. Il permet de mener des calculs de risques en prenant en compte les variabilités et les incertitudes des paramètres d'entrées. Il permet de caractériser le risque le plus probable en mettant en avant les paramètres les plus influents.

Les simulations sont réalisées pour les populations hypothétiques et pour les enfants (risque le plus élevé). Elles n'ont pas pu prendre en compte toute la variabilité des concentrations des polluants car celles-ci étaient trop peu nombreuses pour pouvoir extrapoler des distributions (moins de 15 valeurs par calcul). Elles ont été approchées par leur moyenne.

- Analyse de sensibilité des facteurs d'exposition :

Les facteurs d'exposition comprennent 8 variables (Qeau/lait/viande/sol enfant, Qeau/sol/plante bovin, poids corporel). Ces variables sont représentées par une distribution dépendante de leur moyenne et de leurs valeurs limites (exemple figure N°20).



Figure 20 : distribution de la quantité d'eau buë par un enfant par jour, moyenne 2L, min =1,5L, max=2,5L, écart 0,5L

Des simulations ont été lancées pour différents polluants, pour les QD ainsi que pour les ERI et les résultats sont tous similaires à l'exemple donné dans la figure N°21.

On retrouve les valeurs moyennes et extrêmes calculées précédemment. Dans le cas des fluorures la valeur moyenne du QD reste de 1,2, tandis que la valeur maximale atteint 2,06. Ceci est dû au fait que la valeur maximale de Qeau a été augmentée par rapport au calcul précédent.

Le graphique de sensibilité (en haut à gauche de la figure N°21) montre l'importance relative des facteurs. Qeau, la quantité d'eau buë par l'enfant est le paramètre le plus important, vient ensuite le poids corporel (sa valeur est négative car plus il augmente, moins le risque est élevé). Cela met en avant l'importance du vecteur eau dans la contamination des individus et que les paramètres Qeau et p (poids corporel) seront les plus importants à définir lors d'une future enquête environnementale sur les populations locales.

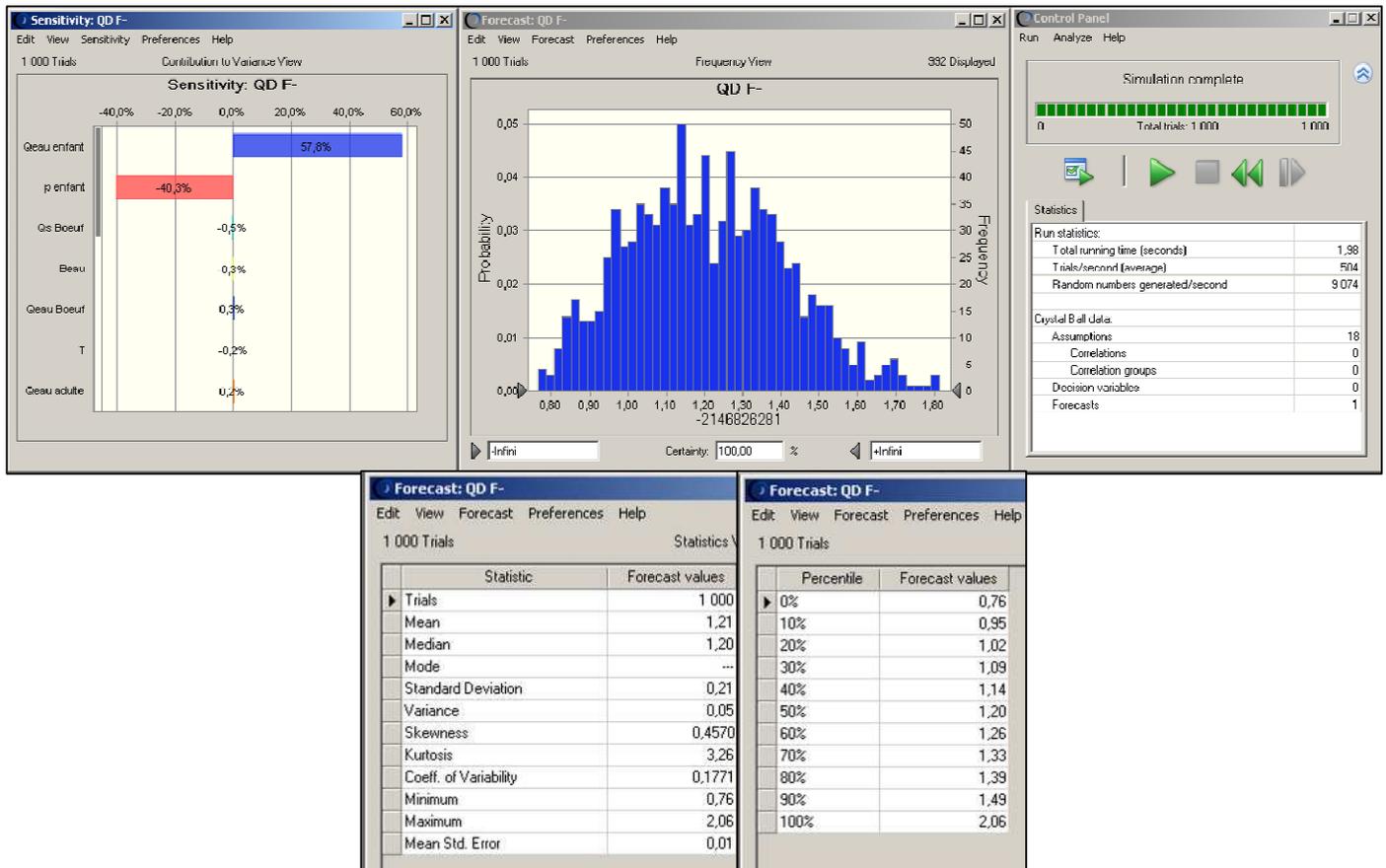


Figure 21 : Analyse de la sensibilité des facteurs d'exposition pour le calcul du quotient de danger des fluorures pour la population hypothétique, pour les enfants.

- Analyse des incertitudes :

4 paramètres sont inconnus dans les équations de risques. Il s'agit des facteurs de biodisponibilité des sols (Bs), des plantes (Bs), de l'eau (Be) et du facteur lié au métabolisme (MeF). Ces paramètres sont compris entre 0 et 1 et ont tous été pris à défaut égaux à un. Il s'agissait d'une hypothèse majorante. L'étude de l'importance de l'incertitude sur ces paramètres a été menée pour différentes substances et le résultat est présenté pour les fluorures dans la figure N°22.

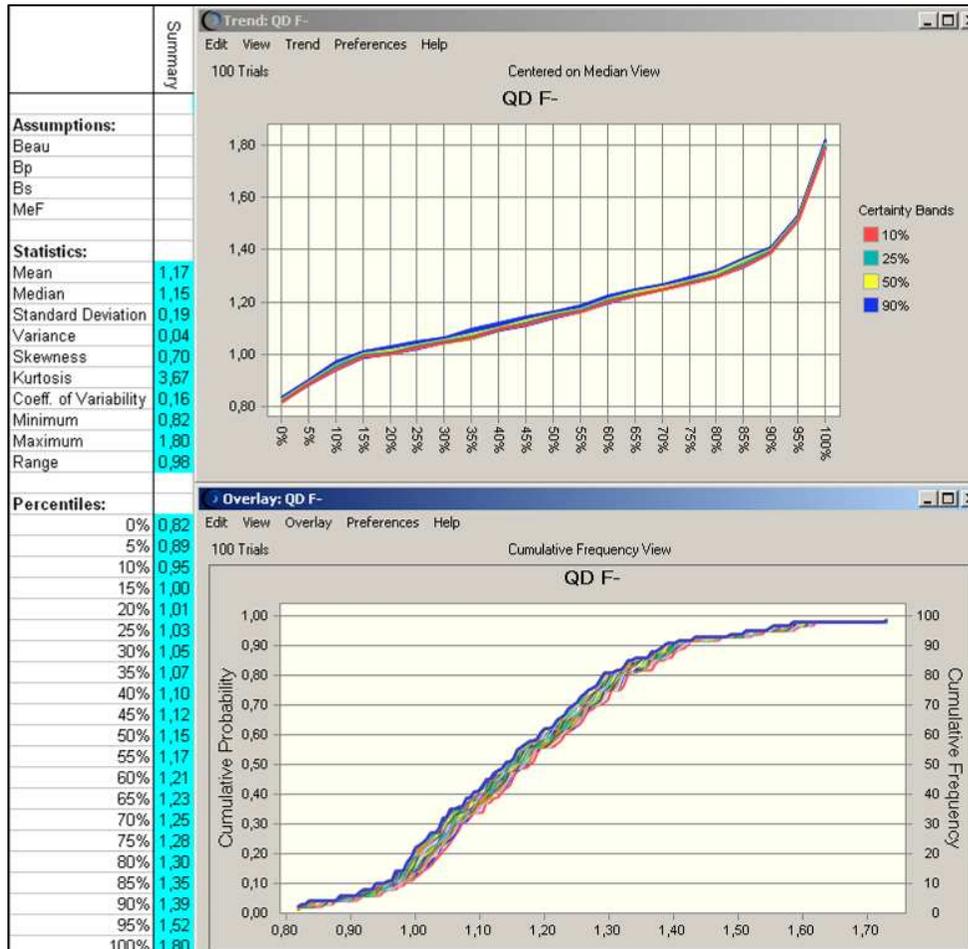


Figure 22 : Calcul de l'importance de l'incertitude des facteurs de biodisponibilité et du métabolisme

L'incertitude générée par ces facteurs n'a quasiment pas d'impact sur le résultat du calcul et les valeurs moyennes et limites du risque n'ont que légèrement diminué (1,15 et 1,80). Ces paramètres interviennent dans le calcul de la concentration du polluant dans la viande et le lait ; leur faible impact sur le calcul du risque témoigne de la faible importance de la contamination du lait et de la viande par rapport aux autres apports (sol et eau).

4.3.6 Interprétation

Il n'y a pas de risque sanitaire détecté après cinq ans d'exploitation industriel de l'uranium par la technique de l'ISR hormis de rares cas ayant montré des risques faibles pour des expositions extrêmes. Les principales limites de ces calculs sont l'absence de données sur certains compartiments (sol, plante) et pour certaines substances (uranium...). Cependant les calculs ayant pu être effectués semblent fiables, même si les données pour les sols et les plantes étaient absentes. L'étude de sensibilité a montré que les mesures des plantes et des sols étaient secondaires. Enfin les hypothèses de calcul ont toujours été majorantes.

Il existe un risque concernant les fluorures au niveau des champs de puits. Il existe aussi un risque isolé pour les nitrates. Il n'existe aujourd'hui pas de réelles expositions pour ces zones mais il faut rester vigilant pour l'avenir (surveillance environnementale et mesure de réhabilitation de ces zones).

L'étude de sensibilité a montré l'importance du vecteur eau et le faible impact du vecteur plante et animal. Ceci permet de mettre en évidence que le premier vecteur d'exposition est l'eau. Les populations actuellement les plus exposées sont les fermiers mais dans l'avenir ce seront les populations qui auront migré vers les sites actuels de production.

5 Limites, perspectives et recommandations

5.1 Limites

Les résultats obtenus lors de cette étude, menée sur la base des connaissances actuelles et des techniques disponibles, sont indissociables des hypothèses prises lors du déroulement de la démarche de l'ERS. Le paragraphe suivant énumère les limites les plus importantes :

- Il n'y a pas de données antérieures sur l'impact sanitaire d'une telle activité. Les raisons en sont que les sites sont souvent situés dans des régions isolées et que jusqu'ici les préoccupations ont surtout été environnementales. Et s'il existe une polémique avec certaines associations écologistes, les conclusions des études d'impact restent favorables au procédé (*CSIRO, 2004, cas de Beverley, Australie*).

- Cette ERS s'est déroulée sur une activité d'ISR en fonctionnement industriel depuis seulement 4 ans. La recherche de pathologies spécifiques et/ou très représentées en est donc très limitée. Si des mesures de surveillance épidémiologique sont mises en place, elles se feront à titre prospectif. De plus, les temps de dispersion (diffusion, convection) n'ont peut-être pas encore permis aux panaches de pollutions d'atteindre leur portées maximales qui peuvent en plus fluctuer dans le temps. Les résultats de cette ERS ainsi que de l'ERS à venir seront indissociables d'une surveillance environnementale et plus particulièrement de l'eau, identifiée comme le vecteur le plus sensible.

- Le matériel utilisé pour effectuer les analyses d'air n'est pas suffisamment sensible pour ce type de mesure. Il est plus adapté aux concentrations fortes qui surviennent lors d'accidents. De plus les mesures effectuées ne sont pas représentatives dans le temps.

- De manière générale toutes les mesures effectuées ne sauraient être rigoureusement représentatives de la variabilité des expositions sur une année. Cependant on peut considérer que cette variabilité est faible (temps de latence longs pour les processus hydrogéologiques).

- De nombreuses analyses n'ont pas pu être menées sur les échantillons de sol et de plante, compromettant sérieusement l'interprétation de leurs risques. De même les limites de détection et la sensibilité des appareils des laboratoires n'ont pas été communiquées.

- Il n'y a pas eu d'évaluation sanitaire des bromates, du vanadium et plus particulièrement de l'uranium qui est un polluant important dans cette activité.

- Les données de l'état initial effectué par SAFEGE ne contiennent pas toutes les substances cibles de l'ERS mais elles ont permis d'approcher l'évolution environnementale du site.

- Les protocoles de prélèvement, ainsi que le conditionnement associé, ne sont pas satisfaisants pour les sols et les plantes.
- Les risques ont été recherchés substance par substance. Les interactions éventuelles entre les différents polluants n'ont pas été prises en compte. Les pratiques consistant à cumuler les QD ou les ERI pour des pathologies similaires sont à réaliser avec un maximum de précaution. De plus elles ne reflètent que les effets additifs des cocktails de polluant mais ils peuvent tout aussi bien être synergiques ou antagonistes.
- Certaines VTR ne sont pas tout à fait adaptés aux substances analysées. Il s'agit des VTR de l'aluminium total et du béryllium total où les substances analysées ont été les sels. Inversement les VTR du mercure inorganique, du chrome VI et des sels de nickel ont été utilisées pour évaluer les formes totales. A chaque fois la totalité des substances analysées a été considérée comme étant entièrement la substance décrite par la VTR.
- Les calculs de risques ont été réalisés à partir de facteur d'exposition de population occidentale sédentaire or Il existe des différences entre les modes de vie de ces populations et des populations ciblées dans l'ERS.
- Les calculs des concentrations dans les produits animales ne font qu'approcher la réalité et sont représentatifs des bovins, non pas des ovins. Cependant l'analyse de sensibilité, pour les concentrations calculées, a montré que la concentration dans les produits venant des animaux était de moindre importance que l'eau.
- Le calcul du risque naturel est basé sur trop peu de valeurs pour être pleinement représentatif.

5.2 Perspectives

Les perspectives énoncées ci-dessous ne sont pas exhaustives pour réaliser un cahier des charges pour la réalisation d'une future ERS. Mais elles viennent en complément de l'ensemble des bonnes pratiques utilisées dans cette étude. Elles visent à améliorer cette étude.

- Il faudrait effectuer plus de prélèvements sur des points régionaux ou de références pour établir un risque naturel fiable. Un risque naturel différent peut être déterminé pour Tortkuduk d'une part, et pour Muyunkum Sud d'une autre.
- Lors d'une nouvelle campagne d'échantillonnage il faudrait réutiliser les points les plus pertinents déjà investigués afin d'établir des comparaisons. Chaque ERS vaut à un instant donné compte tenu de l'évolution des sites et des temps de latence des phénomènes hydrogéologiques. Ces comparaisons permettront d'évaluer cette évolution.
- Il convient de faire une réévaluation sur les VTR avant chaque nouveau calcul.
- L'évaluation du risque par inhalation pourrait se faire à partir d'analyses réalisées via des appareils adaptés ou à partir de concentrations déterminées via des modélisations

atmosphériques avant de conclure définitivement sur ce risque. Cependant l'air semble être un vecteur peu important aux vues des observations sur les sites et surtout des processus mis en jeu.

- Les résultats d'analyses devront être fiables et donc fournis avec les informations nécessaires sur l'appareillage des laboratoires (sensibilité, seuil de détection).
- Les nouveaux prélèvements devront être effectués avec un flaconnage et un protocole normalisé.
- Il faudrait effectuer des prélèvements d'eau au niveau des forages d'alimentation de la base vie de la société Volkov et étendre ces prélèvements à l'ensemble des forages d'alimentation en eau.
- Une évaluation de l'efficacité de la station de traitement des eaux potables et des réseaux d'adduction en eau pourrait être envisagée. Il s'agirait de prélever en sortie et en entrée de ces installations.
- Il faudrait mener une enquête environnementale plus approfondie pour ajuster les facteurs d'exposition. Le budget espace-temps avait déjà été estimé pour la population locale mais il pourrait être affiné en multipliant les entretiens avec les populations locales.
- Une comparaison entre des prélèvements de viande et de lait et les calculs HHRAP pourrait être menée pour évaluer la fiabilité de la méthode.
- L'analyse de sensibilité a montré que les paramètres Q_{eau} et p (poids corporel) influencent fortement les résultats. Il serait intéressant de rechercher plus d'informations à leurs sujets.

5.3 Recommandations

Les recommandations ci-dessous visent à limiter ou supprimer les impacts sanitaires actuels ou futurs :

- Les cas isolés où des risques sanitaires ont été trouvés, même si il s'agit de risques faibles pour des expositions extrêmes, pourraient faire l'objet d'actions adaptées. Une information auprès des fermiers pourrait être faite pour le puits ERS_EP_20_TS. Un prélèvement en sortie du traitement des eaux du forage ERS_EQ_6 pourrait être mené.
- Il faudrait mettre en place une communication claire sur la qualité des eaux courantes dans les bases vie (affichage avec un code couleur).
- Il faut poursuivre les études sur les différents moyens de réhabilitation des sites ISR acide y compris sur la réhabilitation naturelle.
- Une veille épidémiologique pourrait être mise en place. Il s'agirait d'établir un meilleur recueil des données des consultations des médecins (ciblé par le type de populations phénix/Sodexho/Katco). Cela pourrait passer par une sensibilisation du personnel médical dans un premier temps.

- Il faut absolument maintenir une surveillance environnementale en étant attentif à l'évolution des substances les plus mobiles (espèces azotées, SO_4^{2-}).
- Ce suivi environnemental peut inclure une veille sanitaire. La comparaison de certains paramètres recherchés régulièrement avec des concentrations de références sanitaires, préalablement calculées pour le cas de KATCO, pourrait être mise en place. Les hypothèses de calcul de ces valeurs seront à vérifier régulièrement. Une proposition pour ces valeurs se trouve en annexe N°13. Elles ont été calculées à partir de quotients de danger égaux à 1 et des excès de risques individuels de 10^{-4} . A titre de comparaison les valeurs réglementaires des eaux destinées à la consommation humaine et des eaux brutes avant traitement sont fournies. Le détail des calculs de ces valeurs se trouve en annexe 14.
- Il faudrait établir un repérage précis des puits de fermiers et des ouvrages artésiens susceptibles d'être utilisés. Ce document servira de base pour une réhabilitation ou une gestion des expositions.
- La réhabilitation devra comprendre une fermeture complète et définitive des ouvrages et un remplacement des terres autour des têtes de forages. Ces mesures sont déjà explicitées dans l'étude de faisabilité de KATCO.
- De même il faudra réhabiliter les sites des usines, des sites satellites et des zones de stockage. Cela devra comprendre une délimitation globale des installations et devra être accompagné d'actions - informations pour les fermiers.
- Des zones favorables à l'élevage au-delà des limites des parcelles pourraient être créées afin d'éloigner les fermiers. Ces zones seraient équipées de puits artésiens creusés dans le crétacé avec un dispositif de contrôle du débit.

Conclusion

La technique d'extraction d'uranium par ISR (In Situ Recovery) offre de nombreux avantages environnementaux par rapport aux filières plus classiques de la mine. Bien qu'elle soit utilisée depuis de nombreuses années, elle suscite toujours des interrogations et notamment d'un point de vue sanitaire, domaine pour lequel il n'a jamais été effectué d'ERS.

Le premier objectif de ce mémoire était de caractériser les différents vecteurs d'exposition liés à ce procédé. Pour ce faire deux populations de référence, les fermiers et les personnels des bases vie ont été identifiées et reliées aux sources de pollution via des vecteurs de transferts et d'expositions décrits dans les schémas conceptuels. Les deux situations suivantes, l'activité minières et le post-mine ont été considérées et une première délimitation des périmètres liés à l'air et à l'eau a pu être identifiée.

En parallèle une liste d'une vingtaine de polluants de référence, principalement des métaux, a été établie à partir de l'identification des dangers et des données toxicologiques disponibles. Il s'agit de l'arsenic, de l'aluminium, du béryllium, des bromates, du cadmium, du chrome, du cuivre, des fluorures, du mercure, du molybdène, du nickel, du plomb, du sélénium, de l'uranium, du vanadium, du zinc, des nitrites, des nitrates, du dioxyde d'azote et du dioxyde de soufre.

La suite de l'étude a permis, lors d'une mission sur le terrain au Kazakhstan, de mener une campagne d'échantillonnage qui a conduit à 48 prélèvements dans le sol, les plantes, l'air et l'eau.

Le calcul des risques sanitaires n'a pas mis en évidence de réels impacts pour les expositions actuelles pour les données disponibles. Des situations à risque seront à envisager pour le futur et notamment en ce qui concerne les fluorures et les nitrates au niveau des champs de puits. Cette phase a aussi permis de déterminer l'importance relative des différents paramètres (facteurs d'exposition, facteurs d'incertitude) et de mettre en évidence les vecteurs d'exposition principaux. Ces vecteurs sont les transferts de pollution via l'eau souterraine pour les fermiers nomades. Le risque lié à l'air est à réévaluer.

Les principales limites et perspectives de l'étude ont pu être identifiées. Ceci permettra de rédiger, en ajoutant les bonnes pratiques et les enseignements de cette étude, un cahier des charges complet pour réaliser une future ERS.

Enfin ce mémoire propose des mesures de gestion et de réhabilitation des sites pour limiter ou supprimer les expositions futures.

Bibliographie

AREVA, 2009, Guide méthodologique pour la réalisation des ERS, 58 pages.

ATSDR, decembre 2008, Minimal Risk Levels (MRLs), 13 pages.

CSIRO Land and Water, août 2004, Review of Environmental Impacts of the Acid In-situ Leach Uranium Mining Process, 67 pages.

ECOLE NATIONALE SUPERIEURE DES MINES DE PARIS, 26/04/2004, Simulation de l'impact environnemental post-exploitation sur l'aquifère, 118 pages.

INERIS, 17/03/2009, Point sur les Valeurs Toxicologiques de Référence (VTR) - mars 2009, 62 pages.

KATCO, 2004, Etude de faisabilité du projet Muyunkum, >244 pages.

KATCO, 11/03/2007, L'écho des steppes.

KATCO, 25/09/2007, Manuel opératoire provisoire, Parcelle No 2 «Tortkuduk», gisement de Muyunkum, Usine de lixiviation in situ, 91 pages.

KATCO, 2005, Manuel opératoire, Parcelle No 1 « Sud » du gisement de Muyunkum, (usine de traitement), 69 pages.

KATCO, 2006, Règlement pour la construction du réseau des piézomètres et du contrôle de l'impact du procédé ISL sur les eaux souterraines, 8 pages.

KATCO, Malachenko V., 01/09/2008, Echantillonnage de l'eau, des solutions des puits d'eau et des piézomètres, des sources de surface, 19 pages.

RIVM, mars 2001, Re-evaluation of human-toxicological maximum permissible risk levels, 297 pages.

SAFEGE, octobre 2001, Etat zéro environnemental licence de MUYUNKUM sud, 100 pages.

SAFEGE, octobre 2001, Etat zéro environnemental licence de TORTKUDUK, 100 pages.

URS, 16/08/2006, Evaluation des Risques Sanitaires des émissions chimiques Sites SOMAÏR et COMINAK d'Arlit et Akokan, Niger, Rapport final, 138 pages.

US EPA, septembre 2008, Child-Specific - Exposure Factors Handbook, 687 pages.

US EPA, août 2007, Exposure Factors Handbook, 1193 pages.

US EPA, septembre 2005, Human Health Risk Assessment Protocol for Hazardous Waste Combustion Facilities.

VolkovGéologie, 2004, Extrait du rapport sur les résultats d'explorations détaillée du gisement d'Uranium pour la période 1987-2003 au calcul des réserves pour le 01.01.2004, 102 pages.

Sites Internet :

<http://chimie.ineris.fr/fr/lien/basededonnees/toxicologie>

<http://jecfa.ilsa.org>

<http://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov>

<http://rais.ornl.gov>

<http://toxnet.nlm.nih.gov>

<http://www.atsdr.cdc.gov/mrls>

<http://www.dive.afssa.fr/agritox>

<http://www.epa.gov/iris>

<http://www.furetox.fr>

<http://www.hc-sc.gc.ca>

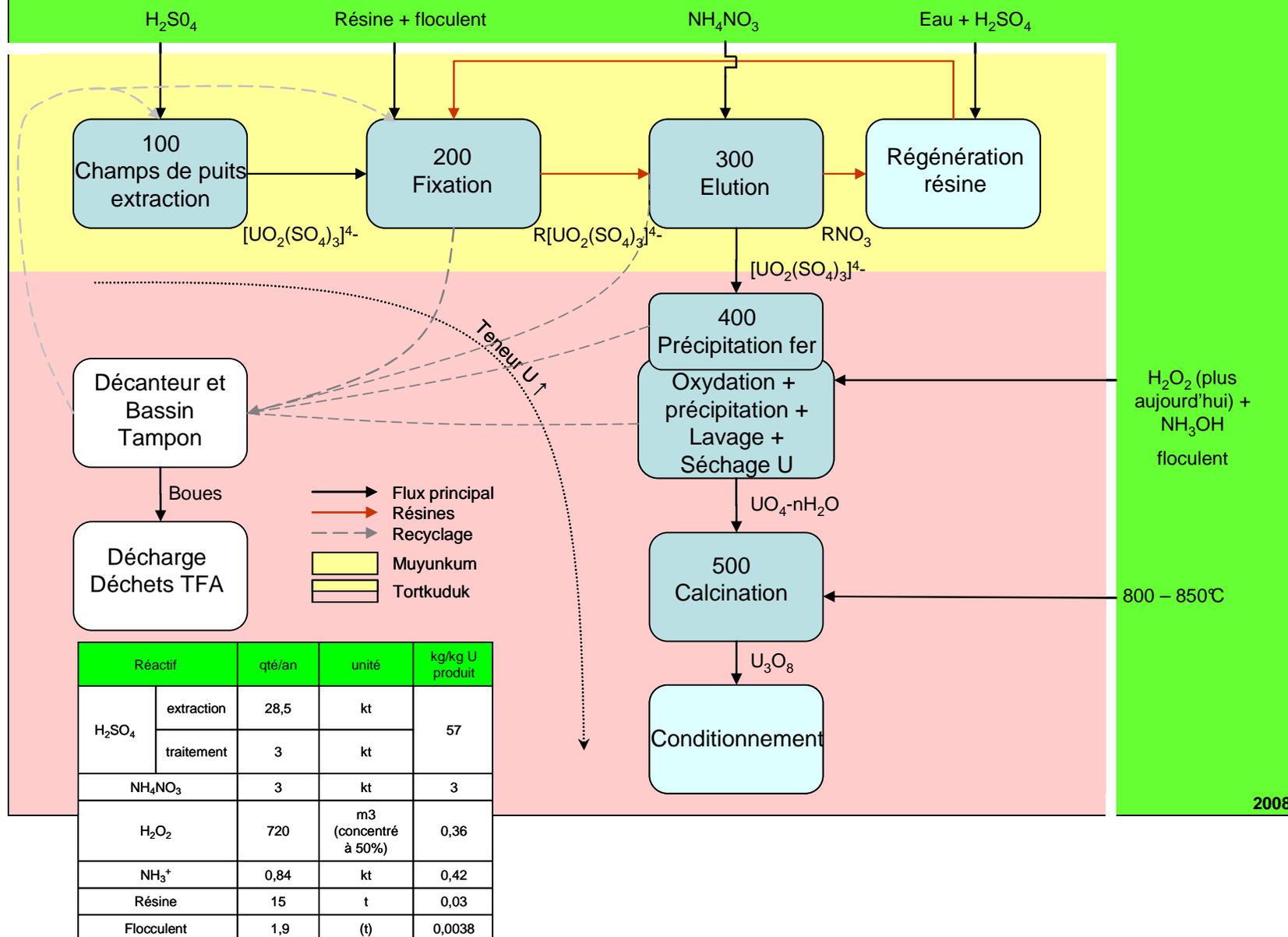
<http://www.rivm.nl/>

<http://www.wikipedia.org>

Liste des annexes

Annexe 1 : Log du bassin de Chu Saryssu, les fronts minéralisés apparaissent en noir (<i>document VolvokGéologie</i>)	1
Annexe 2 : Process et réactifs mis en jeu à KATCO.....	2
Annexe 3 : Substances potentiellement dangereuses	3
Annexe 4 : Caractérisation des substances.....	4
Annexe 5 : Substances retenues pour la suite de l'ERS	23
Annexe 6 : Calcul des concentrations des substances accumulées dans les produits d'origines animales.....	25
Annexe 7 : Plan d'échantillonnage - Mission KATCO 06-07/2009.....	26
Annexe 8 : Cartographie générale des prélèvements de l'ERS	27
Annexe 9 : Cartographie par site des prélèvements de l'ERS.....	28
Annexe 10 : Table du fichier SIG de la campagne de prélèvement de l'ERS (coordonnées en mètre dans le système de projection de Volkov)	29
Annexe 11 : Equations des calculs des Quotients de Dangers (QD) et des Excès de Risques Individuels (ERI)	30
Annexe 12 : Equations des valeurs de veille sanitaire	31
Annexe 13 : Tableau de proposition de concentration utilisable pour de la veille sanitaire ($\mu\text{g/l}$) - les valeurs retenues à partir des ERI l'ont été pour des ERI de 10^{-4} . A titre de comparaison les valeurs réglementaires des eaux destinées à la consommation humaine et des eaux brutes avant traitement sont fournies.	32
Annexe 14 : Présentation des résultats d'analyses des prélèvements d'eau, de sol, de plante et d'air	33
Annexe 15 : Fiches de l'enquête environnementale ERS_Questionnaire	35
Annexe 16 : Fiches de prélèvement ERS_Eau, ERS_Sol, ERS_Plante, ERS_Air.....	37

Réactifs et catalyseurs



Annexe 2 : Process et réactifs mis en jeu à KATCO

	Paramètres généraux					Substances dangereuses potentielles identifiées			
	Eau	Sol	Plante	Air		Eau	Sol	Plante	Air
Paramètres microbiologiques	Escherichia coli				micropolluants minéraux	As		As	
	Entérocoques intestinaux					Al			
Paramètres organoleptiques	T°C				Be				
	Turbidité				Br				
	Couleur				Cd	Cd	Cd		
Analyse physicochimique	conductivité 20°C				Co				
	pH in situ ²	pH			Cr		Cr		
	pH corrigé à 20°C				Cu	Cu	Cu		
	H2CO3 (eau souterraine)				F				
	TA					Fe	Fe		
	TAC				Hg		Hg		
	TH				Mn				
	Oxydabilité KMnO4 en milieu acide				Mo	Mo			
	COT	COT			Ni		Ni		
	DCO ^{*2}				Pb	Pb	Pb	Pb	
	DBO5 ^{*2}				Re				
	NK [*]				Sc				
	Phoshore total (P2O5) [*]				Se	Se	Se		
	MES ³				Sn				
	O2 dissous				Sr				
	H2S				Ti				
	SiO2				U	U	U	U	
				V	V				
				Zn	Zn	Zn			
	résidu sec à 180°C								
Cations	Ca2+				Radionucléides		Ac		
	Mg2+				Bi	Bi			
	NH4+				Pb	Pb			
	Na+				Po	Po			
	K+				Tl	Tl			
	Fe2+				Th	Th			
	Mn2+				Ra	Ra	Ra		
Anions	CO32-				Rn	Rn		Rn	
	HCO3-					U			
	Cl-							H2O2	
	SO4-							H2SO4	
	NO2-							NH3	
	NO3-							NH4	
	PO43-							NO3	
Indicateur de radioactivité	rad alpha	rad alpha	rad alpha					NO2	
	rad beta	rad beta	rad beta					SO2	
Micropolluants organiques	hydrocarbure totaux	hydrocarbure totaux						PM	

*eau de surface

²paramètre eaux usées en plus du débit, DCO filtrée et non filtrée + recherche agents pathogènes cibles

GRAS : polluants venant des process

Annexe 3 : Substances potentiellement dangereuses

Annexe 4 : Caractérisation des substances

Polluants métalliques dont métaux lourds

Substance (nom usuel)	N° CAS	Propriétés physico-chimiques	Toxicologie	Source	Voie d'exposition	type	études supports des VTR	Dose critique, VTR	Facteur d'incertitude	Effet(s) / organe(s) cible(s)	Source	
Aluminium	7429-90-5	Symbole Al - masse volumique : 2700 kg/m ³ - Etat ordinaire : solide - Température fusion : 933,47 K - Température d'ébullition : 2 792 K - Energie de fusion : 10,79 KJ/mol - Energie de vaporisation : 293,4 KJ/mol - Volume molaire : 2,42E-6 m ³ /mol - Vitesse du son 6400 m/s à 20°C	Cancérogénicité : classé 1 par l'IARC	HSDB sante.gouv Wikipédia	Orale	subchronique avec seuil	NOAEL : 26 mg/kg/j - LOAEL : 130 mg/kg/j LOAEL : 100 mg/kg/j - étude sur les rats (30 males et femelles pendant deux ans)	MRL = 1 mg/kg/j	30	neurologique pendant le développement	ATSDR 2008	
						chronique avec seuil		MRL = 1 mg/kg/j	90	neurologique	ATSDR 2008	
						chronique avec seuil		DJT = 1 mg/kg/j	ND		OMS 1089	
Phosphure d'aluminium	20859-73-8	Cristaux cubiques jaunes ou noirs - Masse molaire : 57, 9 g/mol-1 - Température de fusion : 2550°C - Densité : 2,9 - Soluble dans l'eau - réaction avec l'eau qui produit la phosphine qui est l'élément dangereux de ce composé (sous forme de gaz)	/	HSDB ChemIDplus Wikipédia	Orale	Chronique avec seuil	NOAEL = 0,043 mg/kg/j, étude sur des rats, mais c'est la phosphine qui est ici un danger (gaz)	RfD = 4E-4 mg/kg/j	100	pooids et autres paramètres cliniques	US EPA 1988	
Arsenic	7440-38-2	Symbole As - masse volumique : 5727 kg/m ³ - Etat ordinaire : solide - Température fusion : 1090 K - Température d'ébullition : 887 K - Energie de fusion : 369,9 KJ/mol - Energie de vaporisation : 34,76 KJ/mol - Volume molaire : 12,95E-6 m ³ /mol	Cancérigène de classe 1 (IARC) Il existe de nombreuses données toxicologiques parmi lesquelles : - LD 50 orale : 145 mg/kg (souris), 763 mg/kg (rat) ataxie, diarrhée - LD 50 intrapéritonéal : 46,2 mg/kg (souris), 13,39 mg/kg (rat) ataxie, diarrhée - TDLo oral : 7857 mg/kg (homme) problème dans la	HSDB ChemIDplus Wikipédia	Orale	aiguë ≤ 14 jours	LOAEL : 0,05 mg/kg/j à partir d'une étude sur 220 personnes ayant consommée de l'arsenic, valeur provisoire	MRL = 5E-3 mg/kg/j	10	oedème de la face et symptôme gastro-intestinaux	ATSDR 2007	
						chronique à seuil		NOAEL : 16E-3 mg/kg/j même étude que l'US EPA	MRL = 3E-4 mg/kg/j	3	peau	ATSDR 2007
						à seuil		NOAEL : 8E-4 mg/kg/j - LOAEL : 14 mg/kg/j - A partir de deux études épidémiologiques	PTWI = 15E-3 mg/kg/j	ND		OMS 2007
						à seuil		RfD = 3E-4 mg/kg/j	3	hyperpigmentation, kératose et des complications vasculaires possibles	US EPA 1993	

			structure et la fonction de l'œsophage, hémorragie, dermatite; 4 mg/kg (enfant) changement dans l'ECG et dans les leucocytes			chronique à seuil chronique à seuil chronique à seuil	LOAEL : 100 µg As/ L eau - études épidémiologiques NOAEL : 0,7 µg/kg/j (Rahman et al. (2006))	TDI = 1E-3 mg/kg/j DJA = 7E-5 mg/kg/j REL = 3,5E-6 mg/kg/j	2 10 3		lésions cutanées	RIVM 2001 INERIS 10/2007 OEHHA 2008
					Inhalation	aiguë 4h chronique à seuil à seuil	test sur des souris LOAEC : 10 µg/m3	REL = 2E-4 mg/m3 REL = 1,5E-5 mg/m3 TCA = 1E-3 mg/m3	1000 30 10		effet sévère sur la reproduction et le développement développement, système vasculaire, système nerveux effet cancérigène	OEHHA 2008 OEHHA 2008 RIVM 2001
					Orale	sans seuil sans seuil sans seuil sans seuil	rapport de synthèse de l'US EPA en 1988 rapport de synthèse de l'US EPA en 1988	ERUo = 1,5 (mg/kg/j)-1 ERUeau = 5E-5 (µg/L)-1 DT0,005 = 1,8E-2 mg/kg/j ERUo = 9,45 (mg/kg/j)-1			cancer de la peau cancer de la peau cancer de la peau	US EPA 1998 US EPA 1998 Santé Canada 1992 OEHHA 2004
					Inhalation	sans seuil sans seuil sans seuil sans seuil	études épidémiologiques chez travailleurs trois études épidémiologiques moyenne géométrique de deux études épidémiologiques réalisée en milieu professionnel	CT0,005 = 7,8E-3 mg/m3 ERUi = 3,3E-3 (µg/m3)-1 ERUi = 4,3E-3 (µg/m3)-1 ERUi = 1,5E-3 (µg/m3)-1			cancer pulmonaire cancer cancer pulmonaire	Santé Canada 1992 OEHHA 2005 US EPA 1998 OMS 2000
Béryllium	7440-41-7	Symbole Be - masse volumique : 1848 kg/m3 - Etat ordinaire : solide - Température fusion : 1551,15 K - Température d'ébullition : 3243,15 K	Cancérigène de classe 1 (IARC) - LD50 : 51 mg/kg (rat intratrachée) - LD50 496 µg/kg (rat	HSDB ChemIDplus Wikipédia	Orale	chronique avec seuil chronique avec seuil	basée sur les mêmes études que l'US EPA BMD10 = 0,46 mg/kg/j - étude sur les chinos (10 males et femelles)	TDI = 2E-3 mg/kg/j RfD = 2E-3 mg/kg/j	300 300		petites lésions intestinales	OMS 2006 US EPA 2002

		<ul style="list-style-type: none"> - Energie de fusion : 12,20 KJ/mol - Energie de vaporisation : 292,4 KJ/mol - Volume molaire : 4,85E-6 m3/mol - Vitesse du son 13000 m/s à 20°C 	intraveineuse)			chronique avec seuil	basée sur les mêmes études que l'US EPA	MRL = 2E-3 mg/kg/j	300		ATSDR 2002
						chronique avec seuil		DJA = 1,75E-2 mg/kg/j	ND		Santé Canada 2004
						Inhalation	chronique avec seuil	basée sur les mêmes études que l'US EPA	CA = 2E-2 µg/m3	10	OMS 2006
							chronique avec seuil	LOAEL : 0.55 µg/m3 - LOAEL : 0.20 µg/m3 - résultats basés sur deux études	RfC = 2E-2 µg/m4	10	US EPA 1998
							chronique avec seuil		REL = 7E-3 µg/m3	30	OEHHA 2001
						Inhalation	sans seuil	Etude épidémiologique	ERUi = 2,4E-3 (µg/m3)-1		US EPA 1998
							sans seuil	basée sur les mêmes études que l'US EPA	ERUi = 2,4E-3 (µg/m3)-1		OEHHA 2005
Brome (ou Bromine)	7726-95-6	<p>Symbole Br</p> <ul style="list-style-type: none"> - masse volumique : 3119 kg/m3 - Etat ordinaire : liquide - Température fusion : 265,8 K - Température d'ébullition : 332 K - Energie de fusion : 5,286 KJ/mol - Energie de vaporisation : 15,438 KJ/mol - Volume molaire : 19,78E-3 m3/mol - Pression de vapeur : 5800 Pa à 7°C - Vitesse du son 206 m/s à 20°C 	<p>Nombreuses données dont :</p> <ul style="list-style-type: none"> - LCLo (humain) inhalation : 1000 ppm - LC50 inhalation : 750 ppm (souris) et 2700 mg/m3 (rat) - LD50 orale : 3100 mg/kg (souris) et 2600 mg/kg (rat) 	<p>HSDB ChemIDplus Wikipédia</p>	/	/	/	/	/	/	/
Bromate	15541-45-4	<p>Formule brute : BrO3-</p> <ul style="list-style-type: none"> - réaction entre le Brome et l'ozone - utilisé en désinfection dans l'eau 	Cancérogène de classe B2 par US EPA	US EPA	Orale	chronique avec seuil	NOAEL = 1,1mg/kg/j - LOAEL = 6,1 mg/kg/j - étude sur des rats pendant deux ans	RfD = 4E-3 mg/kg/j	300	urothelial hyperplasia	US EPA 2001
					Orale	sans seuil	test sur des rats (male et femelle)	ERUo = 7E-1 (mg/kg/j)-1	/	mésotéliome testiculaire, adénome et tumeur cancéreuse dans le tube rénal et dans les follicules thyroïdienne	US EPA 2001

							sans seuil, pour l'eau	test sur des rats (male et femelle)	ERUw = 2E-5 (µg/L)-1	/	mésotéliome testiculaire, adénome et tumeur cancéreuse dans le tube rénal et dans les follicules thyroïdienne	US EPA 2001
Cadmium	7440-43-9	Symbole Cd - masse volumique : 8650 kg/m ³ - Etat ordinaire : solide - Température fusion : 594,22 K - Température d'ébullition : 1040 K - Energie de fusion : 6,192 KJ/mol - Energie de vaporisation : 100 KJ/mol - Volume molaire : 13E-3 m ³ /mol - Vitesse du son 2310 m/s à 20°C	Cancérigène de classe 1 (IARC) Nombreuses données dont : - LCLo inhalation = 39 mg/m ³ (homme : changement cardiaque, thrombose de la zone d'injection, difficultés respiratoires - TCLO inhalation = 88µg/m ³ (homme : protéinurie) - LC50 inhalation = 25mg/m ³ rat - LD50 oral : 2330 mg/kg	HSDB ChemIDplus Wikipédia	Orale	à seuil, eau	NOAEL = 5E-3 mg/kg d'eau	RfD = 5E-4 mg/kg/j	10	protéinurie significative	US EPA 1994	
						à seuil, alimentation	NOAEL = 1E-2 mg/kg	RfD = 1E-3 mg/kg/j	10		US EPA 1994	
						chronique à seuil	NOAEL = 2,1E-3 mg/kg/j - étude épidémiologique (1850 sujets et 294 témoins établie par FAO/OMS à partir d'une concentration rénale maximale de 50mg/kg	MRL = 2E-4 mg/kg/j	10	altérations rénales	ATSDR 1999	
						à seuil	établie à partir d'une concentration rénale maximale de 50 mg/kg	DHTP = 7E-3 mg/kg			OMS 2006	
						à seuil	établie à partir d'une concentration rénale maximale de 50 mg/kg	TDI = 5E-4 mg/kg/j	2		RIVM 1999	
						chronique à seuil	comme l'US EPA	REL = 5E-4 mg/kg/j	10	Pas d'effets observés	OEHHA 2005	
					Inhalation	chronique à seuil		VG = 5E-3 µg/m³		Effets rénaux (homme)	OMS 2000	
						chronique à seuil	NOAEL : 1,4 µg/m³ - LOAEL : 21 µg/m³ - étude épidémiologique chez des travailleurs, 1 à 20 ans	REL = 2E-2 µg/m³ mg/kg/j	30	effets rénaux et respiratoires	OEHHA 2005	
						sans seuil	étude épidémiologique chez 602 travailleurs	ERUi = 1,8E-3 (µg/m ³)-1		cancer du poumon, de la trachée et des bronches	US EPA 1992	
						sans seuil	études sur des rats	CT0,05 = 5,1E-3 mg/m ³			Santé Canada 1993	
						sans seuil	étude épidémiologique chez 602 travailleurs	ERUi = 4,2E-3 (µg/m ³)-1		cancer du poumon, de la trachée et des bronches	OEHHA 2005	

Annexe 4 : Caractérisation des substances - 8												
Chrome	7440-47-3	<p>Symbole Cr</p> <ul style="list-style-type: none"> - masse volumique : 7140 kg/m³ - Etat ordinaire : solide - Température fusion : 2130 K - Température d'ébullition : 2945 K - Energie de fusion : 16,9 KJ/mol - Energie de vaporisation : 344,3 KJ/mol - Volume molaire : 7,23E-6 m³/mol - Pression de vapeur : 990 Pa à 1856,9°C - Vitesse du son 5940 m/s à 20°C 	<p>Cancérogénicité : chrome VI classé 1 par IARC et chrome III classé 3</p> <p>Nombreuses données dont :</p> <ul style="list-style-type: none"> - DL50 rat : 27-59 mg CrVI /kg - CL50 rat : 113 mg CrVI /m³ 	<p>HSDB</p> <p>ChemIDplus</p> <p>Wikipédia</p> <p>INERIS</p>	Orale	avec seuil, chrome VI	étude chez le rat pendant un an - NOAEL = 2,4 mg/kg/j	RfD = 3E-3 mg/kg/j	900	aucuns effets observés	US EPA 1998	
						avec seuil, chrome III	NOAEL = 1 468 mg/kg/j - étude chez le rat	RfD = 1,5 mg/kg/j	1000	aucuns effets observés	US EPA 1998	
						avec seuil, chrome VI	NOAEL = 2,4 mg/kg/j - étude chez le rat pendant un an	pTDI = 5E-3 mg/kg/j	500		RIVM 2001	
						avec seuil, chrome III (métal et insoluble)	la toxicité des composés du chrome III dépend de la solubilité dans l'eau	TDI = 5 mg/kg/j	100		RIVM 2001	
						avec seuil, chrome III soluble	la toxicité des composés du chrome III dépend de la solubilité dans l'eau - NOAEL = 4,6E-1 mg/kg/j	TDI = 5E-3 mg/kg/j	100		RIVM 2001	
						avec seuil, chrome VI (soluble sauf CrCO ₃)	NOAEL = 1 468 mg/kg/j - étude chez le rat	REL = 2E-2 mg/kg/j	100	aucuns effets observés	OEHHA 2003	
					Inhalation	subchronique avec seuil, chrome VI (aérosol)	étude épidémiologique - LOAEL = 2E-3 mg/m ³	MRL = 5E-6 mg/m ³	100	effets pulmonaires et sur la muqueuse nasale	ATSDR 200	
						avec seuil, chrome VI (aérosol)	étude épidémiologique - LOAEL = 2E-3 mg/m ⁴	RfC = 8E-6 mg/m ³	90	effets pulmonaires et sur la muqueuse nasale	US EPA 1998	
						subchronique avec seuil, chrome VI (particulaire)	étude sur le niveau de la lactate déshydrogénase dans le liquide bronchoalvéolaire	MRL = 1E-3 mg/m ³	30		ATSDR 200	
						avec seuil, chrome VI (particulaire)	étude sur le niveau de la lactate déshydrogénase dans le liquide bronchoalvéolaire	RfC = 1E-4	300		US EPA 1998	
		avec seuil, chrome III (métal et insoluble)	NOAC = 0,6 mg/m ³ et autres NOACs d'environ 2 mg/m ³	TCA = 6E-2 mg/m ³	10		RIVM 2001					

						avec seuil, chrome VI (soluble sauf CrCO ₃)	études chez le rat de 90 jours - BMC05 = 11,46 µg/m ³	REL = 2E-4 mg/m ³	100	hyperplasie bronchoalvéolaire	OEHHA 2003
						avec seuil, oxyde de chrome (CrO ₃)	étude épidémiologique sur des travailleurs - LOAEL = 1,9 µg/m ³	REL = 2E-6 mg/m ³	300	ulcérations et perforations nasales, changement transitoires des fonctions pulmonaires	OEHHA 2003
					Orale	sans seuil, chrome VI	étude chez la souris de deux ans	ERU ₀ = 4,2E-1 (mg/kg/j)-1		tumeurs cancérigènes de l'estomac	OEHHA 2002
					Inhalation	sans seuil, chrome VI	étude épidémiologique chez 332 salariés	ERU _i = 4E-2 (µg/m ³)-2		cancer pulmonaire	US EPA 1998
						sans seuil, chrome VI	plusieurs études épidémiologiques	ERU _i = 1,2E-2 (µg/m ³)-2		cancer pulmonaire	OMS 2000
						sans seuil, chrome VI	plusieurs études épidémiologiques	ERU _i = 1,5E-1 (µg/m ³)-1		cancer pulmonaire	OEHHA 2002
						avec seuil, chrome VI	correspond à un risque 10E-4 - études épidémiologiques	CR _{inhal} = 2,5E-6 mg/m ³			RIVM 2001
						avec seuil, chrome total	étude épidémiologique chez 332 salariés	CT _{0,05} = 4,6E-3 mg/m ³		cancer pulmonaire	Santé Canada 1993
						avec seuil, chrome VI	étude épidémiologique chez 332 salariés	CT _{0,05} = 6,6E-4 mg/m ³		cancer pulmonaire	Santé Canada 1993
Cobalt	7440-48-4	Symbole Co - masse volumique : 8900 kg/m ³ - Etat ordinaire : solide - Température fusion : 1768 K - Température d'ébullition : 3200 K - Energie de fusion : 16,19 KJ/mol - Energie de vaporisation : 376,5 KJ/mol - Volume molaire : 6,67E-6 m ³ /mol - Pression de vapeur : 175 Pa à 1494,9°C - Vitesse du son 4720 m/s à 20°C	Cancérogénicité de classe 2B (IARC) Nombreuses données dont : - LDLo intrapéritonéal : 100 mg/kg (souris), intratrachéal : 25 mg/kg (rat) - LD50 oral : 6171 mg/kg (rat, somnolence, ataxie, hypermotilité diarrhéa)	HSDB ChemIDplus Wikipédia	Orale	chronique avec seuil subchronique (22 j) avec seuil	LOAEL subchronique = 0,04 mg/kg/j (8 mois) LOAEL = 1 mg/kg/j	TDI = 1,4E-3 mg/kg/j MRL = 1E-2 mg/kg/j	30 100	muscle cardiaque polycythémie	RIVM 2001 ATSDR 2004
					Inhalation	chronique avec seuil chronique avec seuil	LOAEC = 0,05 mg/m ³ NOAEL = 5,3E-4 mg/m ³ - LOAEL = 15,1 µg/m ³	TCA = 5E-4 mg/m ³ MRL = 1E-4 mg/m ³	100 10	maladies pulmonaires interstitielles troubles respiratoires	RIVM 2001 ATSDR 2004

Cuivre	7440-50-8	<p>Symbole Cu</p> <ul style="list-style-type: none"> - masse volumique : 8920 kg/m³ - Etat ordinaire : solide - Température fusion : 1357,6 K - Température d'ébullition : 2840 K - Energie de fusion : 13,05 KJ/mol - Energie de vaporisation : 300,3 KJ/mol - Volume molaire : 7,11E-6 m³/mol - Pression de vapeur : 0,0505 Pa à 1084,4°C - Vitesse du son 3570 m/s à 20°C 	<p>Cancérogénicité : classé D par l'US EPA</p> <ul style="list-style-type: none"> - TDLo orale homme : 0,12 mg/kg (nausée et vomissement) - LD50 intrapéritonéal souris : 3,5 mg/kg - LDLo sous la peau lapin : 375 mg/kg (hépatite zonale et autres effets sur le foie et la vessie) 	HSDB ChemIDplus Wikipédia	Orale	<p>Aiguë (2 semaines), avec seuil</p> <p>subchronique (2 mois), avec seuil</p> <p>chronique avec seuil</p> <p>avec seuil</p>	<p>NOAEL = 2,72E-2 mg/kg/j</p> <p>NOAEL = 4,2E-2 mg/kg/j</p> <p>LOAEL = 4,2 mg/kg/j - étude chez la souris</p>	<p>MRL = 1E-2 mg/kg/j</p> <p>MRL = 1E-2 mg/kg/j</p> <p>TDI provisoire = 0,5 mg/kg/j</p> <p>TDI = 0,14 mg/kg/j</p>	<p>3</p> <p>3</p> <p>30</p>	<p>trouble gastro-intestinaux</p> <p>trouble gastro-intestinaux</p> <p>perte de poids</p>	<p>ATSDR 2004</p> <p>ATSDR 2004</p> <p>OMS 2006</p> <p>RIVM 2001</p>
					Inhalation	<p>Aiguë, avec seuil</p> <p>chronique avec seuil</p>	<p>NOAEL = 0,6 mg/m³ - étude subaiguë (6 semaines, 5j/s, 6h/j)</p>	<p>REL = 1E-1 mg/m³</p> <p>TCA = 1E-3 mg/m³</p>	<p>10</p> <p>600</p>	<p>effet sur l'appareil respiratoire et immunologique</p>	<p>OEHHA 1999</p> <p>RIVM 2001</p>
Etain	7440-31-5	<p>Symbole Sn</p> <ul style="list-style-type: none"> - masse volumique : 7310 kg/m³ - Etat ordinaire : solide - Température fusion : 505 K - Température d'ébullition : 2875 K - Energie de fusion : 7,029 KJ/mol - Energie de vaporisation : 295,8 KJ/mol - Volume molaire : 16,29E-3 m³/mol - Vitesse du son 2500 m/s à 20°C 	<p>Cancérogénicité : D (US EPA)</p>	Wikipédia	Orale	<p>subchronique, avec seuil, étain inorganique</p>	<p>NOAEL = 32 mg/kg/j - étude sur les rats (90 jours)</p>	<p>MRL = 3E-1 mg/kg/j</p> <p>PTWI = 14 mg/kg/j</p>	<p>100</p>	<p>effets hématologiques</p> <p>irritation gastrique</p>	<p>ATSDR 09/05</p> <p>OMS 2005</p>
Dichloride dibutyl étain	683-18-1	<p>Formule brute C₈H₁₈Cl₂Sn</p> <ul style="list-style-type: none"> - Masse moléculaire : 303,33 g/mol - Température fusion : 39-40 °C - Température d'ébullition : 135°C - Energie de fusion : 16,9 KJ/mol - Energie de vaporisation : 344,3 KJ/mol - Volume molaire : 7,23E-6 m³/mol - Pression de vapeur : 990 Pa à 1856,9°C - Vitesse du son 5940 m/s à 20°C 		chemregister	Orale	<p>subchronique, avec seuil</p>	<p>LOAEL = 0,025 mg/kg/j - étude sur les rats (6 semaines)</p>	<p>MRL = 5E-3 mg/kg/j</p>	<p>1000</p>	<p>effets immunologiques</p>	<p>ATSDR 09/05</p>

Oxyde tributyl étain	56-35-9	Formule brute : C ₂₄ H ₅₄ O Sn ₂ - Masse molaire : 596,1 g/mol - Pression de vapeur 1E-3 - Densité : 1,17 à 20°C	Cancérogénicité : D (US EPA)	INERIS Wikipédia	Orale	subchronique, avec seuil	NOAEL = 0,025 mg/kg/j - étude chez le rat 6 mois	MRL = 3E-4 mg/kg/j	100	effets immunologiques	ATSDR 09/05
						chronique, avec seuil		MRL = 3E-4 mg/kg/j	100	immunol.	ATSDR 09/05
						avec seuil	NOAEL = 0,025 mg/kg/j - étude chez le rat 18 mois	RfD = 3E-4 mg.kg/j	100	effets immunosuppresseurs	US EPA 1997
Fer	7439-89-6	Symbole Fe - masse volumique : 7874 kg/m ³ - Etat ordinaire : solide - Température fusion : 1808 K - Température d'ébullition : 3023 K - Energie de fusion : 13,8 KJ/mol - Energie de vaporisation : 349,6 KJ/mol - Volume molaire : 7,09E-6 m ³ /mol - Vitesse du son : 4910 m/s à 20 °C	- TDLo orale enfant : 77 mg/kg nausée, vomissement, irritabilité, anémie normocytaire - LD50 orale rat : 30000 mg/kg	HSDB ChemIDplus Wikipédia	Orale	chronique à seuil, provisoire, fer total sauf les oxydes des agents colorants et quelques exceptions		PMTDI = 0,8 mg/kg/j			OMS 1983
Fluor	7782-41-4	Symbole F - masse volumique : 1,696 kg/m ³ - Etat ordinaire : gaz - Température fusion : 53,53 K - Température d'ébullition : 85,03 K - Energie de fusion : 0,2552 KJ/mol - Energie de vaporisation : 3,2698 KJ/mol - Volume molaire : 11,20E-3 m ³ /mol	LC50 inhalation rat : 185 ppm (irritation des yeux, dyspnée) - LC50 inhalation souris :150 ppm même symptôme	HSDB ChemIDplus Wikipédia	Orale Inhalation	à seuil aiguë à seuil	NOAEL = 1 ppm (0,06 mg/kg/j) - LOAEL = 2 ppm - étude épidémiologique chez l'enfant étude chez le rat 15 minutes	RfD = 6E-2 mg/kg/j MRL = 0,01 ppm	1 10	fluorose des dents effets respiratoires	US EPA ATSDR 09/2003
Fluorure	16984-48-8	Ionisation du fluor (gain d'un électron) : F-	- LDLo oral homme : 50mg/kg - TDLo oral homme : 3 mg/kg - LD50 intraveineuse souris : 22,6mg/kg	HSDB ChemIDplus Wikipédia	Orale	provisoire chronique avec seuil	 NOAEL = 0,15 mg/kg/j - LOAEL = 0,25 mg/kg/j	DJA = 2E-1 mg/kg/j MRL = 5E-2 mg/kg/j	 3	 augmentation du risque de fracture	Santé Canada 07/1993 ATSDR 09/2003
Manganèse	7439-96-5	Symbole Mn - Masse volumique : 7470 kg/m ³ - Etat ordinaire : solide - Température fusion : 1517 K - Température d'ébullition : 2235 K - Energie de fusion : 12,05 KJ/mol	Cancérogénicité : classé 3 par l'IARC - TCLo inhalation homme : 2,3 mg/m ³ (effets neurologiques et comportementaux) - LD50 orale rat : 9000 mg/KG	HSDB ChemIDplus Wikipédia	Orale	à seuil chronique à seuil	NOAEL = 0,18 mg/kg/j - études sur l'homme NOAEL = 0,14 mg/kg/j	DJA = 6E-2 mg/kg/j RfD alimentation = 1,4E-1 mg/kg/j Rfdeau = 4,6E- 2mg/kg/j	3 1	absence d'effet effets sur le système nerveux central, dysfonctionnement du neurocomportemental	OMS 2006 US EPA 1996

		- Energie de vaporisation : 226 KJ/mol - Volume molaire : 7,35E-6 m3/mol - Pression de vapeur : 121 Pa à 1517 K - Vitesse du son 5150 m/s à 20°C			Inhalation	chronique à seuil chronique à seuil chronique à seuil chronique à seuil, provisoire chronique à seuil	BMDL05 = 7,14 µg/m3 - étude épidémiologique sur des travailleurs NOAEL = 0,97 mg/m3 même étude que OMS mais BMDL = 17,6 µg/m3 étude épidémiologique 92 travailleurs LOAEL = 5,4E-2 mg/m3	VG annuelle = 1,5E-4 mg/m3 RfC = 5E-5 mg/m3 MRL = 4E-5 mg/m3 MRL = 3E-4 mg Mn respirable /m3 REL = 2E-4 mg/m3	50 1000 500 100 300	effets neurologiques dysfonctionnement du neurocomportemental effets neurologiques effets neurologiques système nerveux	OMS 2000 US EPA 1993 ATSDR 2000 ATSDR 2008 OEHHA 2000
Mercure, mercure élémentaire	7439-97-6	Symbole Hg - Masse volumique : 13579,04 kg/m3 - Etat ordinaire : liquide - Température fusion : 234,32 K - Température d'ébullition : 629,88 K - Energie de fusion : 2,295 KJ/mol - Energie de vaporisation : 59,229 KJ/mol - Volume molaire : 14,09E-6 m3/mol - Pression de vapeur : 0,2 mPa à 234,32 K - Vitesse du son 1407 m/s à 20°C	Cancérogénicité : classé 3 par IARC De nombreuses données dont : - TCLo inhalation homme : 44,3 mg/m3 (faiblesse musculaire, effet sur le foie) - TDLo oral homme : 43 mg/kg (tremblement, jaunisse) - TDLo intraveineuse homme : 0,571 ml/kg (paresthésies, dyspnée...)	HSDB ChemIDplus Wikipédia INERIS	Inhalation	chronique à seuil chronique à seuil à seuil	LOAEL = 9 µg/m3 - études épidémiologiques LOAEL = 26 µg/m3 - mêmes étude que l'US EPA LOAEC = 0,026 mg/m3 - étude épidémiologique	RfC = 3E-4 mg/m3 MRL = 2E-4 mg/m3 TCA = 2E-4 mg/m3	30 30 30	tremblement tremblement tremblement modérés	US EPA 1995 ATSDR 1999 RIVM 2001
Mercure total					Orale	à seuil		DHTP = 5E-3 mg/kg			OMS 2004
mercure élémentaire et inorganique					Inhalation	aiguë à seuil chronique à seuil	étude sur le rat (1 heure)	REL = 6E-4 mg/m3 REL = 3E-5 mg/m3	3000 300	développement système nerveux	OEHHA 2008 OEHHA 2008
mercure inorganique					Orale Inhalation	à seuil à seuil chronique à seuil	NOAEL = 0,23 mg/kg/j - LOAEL = 1,9 mg/kg/j - étude chez le rat LOAEL = 22,5 µg/m3	TDI = 2E-3 mg/kg/j TDI = 2E-3 mg/kg/j VG annuelle = 1E-3 mg/m3	100 100 20	effets sur le rein atteintes rénales	OMS 2006 RIVM 2001 OMS 2001
mercure organique					Orale	à seuil	NOAEL = 1,3 µg/kg/j - étude épidémiologique	TDI = 1E-4 mg/kg/j	10	effets sur le développement	RIVM 2001

chlorure mercurique	7487-94-7	Formule brute : HgCl ₂			Orale	aiguë à seuil	NOAEL = 0,93 mg/kg/j - étude chez le rat (14 jours)	MRL = 7E-3 mg/kg/j	100	atteintes rénales	ATSDR 1999
						subchronique à seuil	NOAEL = 0,23 mg/kg/j - étude chez le rat (26 semaines)	MRL = 2E-3 mg/kg/j	100	atteintes rénales	ATSDR 1999
						chronique à seuil	études expérimentales chez le rat - LOAEL = 2,26E-1 mg/kg/j	RfD = 3E-4 mg/kg/j	1000	effets immunologiques et lésion du colon	US EPA 1995
Méthylmercure, mercure organique	22967-92-6	Formule brute : CH ₂ Hg			Orale	chronique à seuil	études épidémiologiques menées sur des enfants dont les mères étaient contaminées - BMDL05 = 1,16 µg/kg/j	RfD = 1E-4 mg/kg/j	10	effets neuropsychologiques	US EPA 2001
						chronique à seuil	étude épidémiologique menée sur des enfants dont les mères étaient contaminées - NOAEL = 1,3 µg/kg/j	MRL = 3E-4 mg/kg/j	4	effets neuropsychologiques	ATSDR 1999
						à seuil		DHPT = 1,6E-3 mg/kg/j	/		OMS 2004
Acétate de phénylmercure	62-38-4	Formule brute			Orale	chronique à seuil	NOAEL = 8,4E-3 mg/kg/j - LOAEL = 4,2E-2 mg/kg/j - étude sur le rat (2ans)	RfD = 8E-5 mg/kg/j	100	atteintes rénales rat femelle	US EPA 1996
Molybdène	7439-98-7	Symbole Mo - Masse volumique : 10280 kg/m ³ - Etat ordinaire : solide - Température fusion : 2896 K - Température d'ébullition : 4912 K - Energie de fusion : 26,4 KJ/mol - Energie de vaporisation : 598 KJ/mol - Volume molaire : 9,38E-6 m ³ /mol	/	HSDB RIVM Wikipédia	Orale	à seuil	LOAEL = 0,14 mg/kg/j - étude épidémiologique	RfD = 5E-3 mg/kg/j	30	augmentation du niveau d'acide urique	US EPA 1993
						à seuil	NOAEL = 1 mg/kg/j - étude sur le rat	TDI = 1E-2 mg/kg/j	100		RIVM 2000
						valeur guide à seuil	NOAEL = 0,2 mg/l	VGwater = 7E-2 mg/l	3		OMS 1996
					Inhalation	chronique à seuil	NOAEC = 12mg/m³	TCA = 1,2E-2 mg/m³	1000		RIVM 2000
Nickel	7440-02-0	Symbole Ni - masse volumique : 8908 kg/m ³ - Etat ordinaire : solide	Cancérogénicité : classé 2B par l'IARC De nombreuses données dont :	HSDB RIVM Wikipédia	Orale	chronique à seuil, sels solubles	même étude que l'US EPA	TDI = 5E-3 mg/kg/j	1000	perte significative de poids corporel	OMS 2004

		<ul style="list-style-type: none"> - Température fusion : 1728 K - Température d'ébullition : 3186 K - Energie de fusion : 17,47 KJ/mol - Energie de vaporisation : 370,4 KJ/mol - Volume molaire : 6,59E-6 m3/mol - Pression de vapeur : 237E-6 Pa à 1728 K - Vitesse du son 4970 m/s à 20°C 	<ul style="list-style-type: none"> - LD50 rat intrapéritonéal : 250 mg/kg - LDLo rat oral 5000 mg/kg - LDLo intraveineuse souris : 50 mg/kg 			<ul style="list-style-type: none"> à seuil chronique à seuil, sels solubles chronique à seuil, nickel et composés sauf oxydes de nickel subchronique à seuil chronique à seuil à seuil chronique à seuil, nickel et composés sauf oxydes de nickel aiguë, nickel et composés avec seuil, nickel métal, provisoire sans seuil, poussière de raffinerie sans seuil, nickel et composés 	<ul style="list-style-type: none"> même étude que l'US EPA étude chez le rat pendant deux ans - NOAEL = 5 mg/kg/j - LOAEL = 50 mg/kg/j même étude que l'US EPA étude chez le rat de 13 semaines - NOAEL HEC = 0,052 mg/m3 même étude que précédemment mais pendant 2 ans - NOAEL HEC = 0,0027 mg/m3 étude sur le rat pendant 104 semaines - NOAEL = 30 mg/m3 même étude que RIVM étude sur le lapin pendant huit mois - LOAEL = 0,1 mg/m3 étude épidémiologique chez des travailleurs (utilisable pour des concentrations inférieure à 40 µg/m3) étude épidémiologique chez des travailleurs 	<ul style="list-style-type: none"> TDI = 5E-2 mg/kg/j RfD = 2E-2 mg/kg/j REL = 5E-2 mg/kg/j MRL = 2E-4 mg/m3 MRL = 9E-5 mg/m3 TCA = 5E-5 mg/m3 REL = 5E-5 mg/m3 REL = 6E-3 mg/m3 Cap = 1,8E-5 mg/m3 ERUi = 2,4E-4 (µg/m3)-1 ERUi = 3,8E-4 (µg/m3)-1 	<ul style="list-style-type: none"> 100 300 300 30 30 100 30 6 1000 	<ul style="list-style-type: none"> perte significative de poids corporel perte significative de poids corporel perte significative de poids corporel effets inflammatoires lésions pulmonaires effets sur les poumons, l'épithélium nasal et les ganglions lymphatiques effets sur les poumons, l'épithélium nasal et les ganglions lymphatiques cancer cancer du poumon 	<ul style="list-style-type: none"> RIVM 2001 US EPA 1996 OEHHA 2005 ATSDR 2005 ATSDR 2005 RIVM 2001 OEHHA 2005 OEHHA 1999 Santé Canada 1993/1996 US EPA 1991 OMS 2000
--	--	--	--	--	--	---	--	--	---	---	--

						sans seuil, nickel et composés	étude épidémiologique chez des travailleurs	ERUi = 2,6E-4 (µg/m3)-1		caner	OEHHA 2005
						sans seuil, nickel et composés	étude épidémiologique chez des travailleurs	CT0,05 = 0,07 mg/m3		caner	Santé Canada 1993/1996
Monoxyde de Nickel	1313-99-1	Formule brute NiO			Inhalation	chronique à seuil	même étude que RIVM 2001	REL = 1E-4 mg/m3	300	effets sur les poumons, l'épithélium nasal et les ganglions lymphatiques	OEHHA 2005
						à seuil	étude sur le rat pendant 4 mois - LOAEL = 0,02 mg/m3	CA = 2E-5 mg/m3	1000	effets pulmonaires	Santé Canada 1993/1996
Chlorure de nickel		Formule brute NiCl2			Orale	à seuil	étude sur le rat - LOAEL = 1,3 mg/kg/j	DJA = 1,3E-3 mg/kg/j	1000	effets sur la reproduction	Santé Canada 1993/1996
Sulfure et sulfate de nickel		Formule brute NiSO4 et Ni3S2			Orale	à seuil sulfate de nickel	même étude que RIVM 2001	DJA = 5E-2 mg/kg/j	100	effets sur les poumons, l'épithélium nasal et les ganglions lymphatiques	Santé Canada 1993/1996
					Inhalation	à seuil sulfate de nickel	étude sur le rat - LOAEL = 0,02 mg/m3	CA = 3,5E-6 mg/m3	1000	lésions nasales et pulmonaires	Santé Canada 1993/1996
						avec seuil, sous sulfure de nickel	étude sur les rats et souris - LOAEL (rat) = NOAEL (souris) = 0,1 mg/m3	CA = 1,8E-5 mg/m3	1000	effets pulmonaires	Santé Canada 1993/1996
					Inhalation	sans seuil, sous sulfure de nickel	basée sur l'étude US EPA 1991 avec un facteur 2 (utilisable pour des concentrations inférieure à 20 µg/m3)	ERUi = 4,8E-4 (µg/m3)-1		effets pulmonaires	US EPA 1991
Plomb	7439-92-1	<p>Symbole Pb</p> <ul style="list-style-type: none"> - masse volumique : 11340 kg/m3 - Etat ordinaire : solide - Température fusion : 600,61 K - Température d'ébullition : 2022 K - Energie de fusion : 4,799 KJ/mol - Energie de vaporisation : 177,7 KJ/mol - Volume molaire : 18,26E-6 m3/mol - Pression de vapeur : 4,21E-6 Pa - Vitesse du son 1260 m/s à 20°C 	<p>Cancérogénicité : classé 2B par l'IARC</p> <p>Données sur le tétraéthyl de plomb (CH3CH2)4Pb :</p> <ul style="list-style-type: none"> - LD50 oral rat: 1,2 mg/kg - LC50 inhalation rat: 850 mg/m3 - LD50 intrapéritonéal rat: 850 mg/kg - LD50 intraveineuse rat: 14,4 mg/kg 	Wikipédia, INERIS, inchem	Orale	avec seuil, plomb inorganique	étude chez l'enfant	DHT = 2,5E-2 mg/kg (soit 3,5E-3 mg/kg/j)	/	plombémie	OMS 2004
						avec seuil, plomb tétraéthyle, en cours de réévaluation	étude sur des rats	RfD = 1E-7 mg/kg/j	10 000	lésions hépatiques et neuronales	US EPA 1991
						avec seuil, plomb et ses	extraite de la PTWI de 25µg/kg proposée par	TDI = 3,6E-3 mg/kg/j	/		RIVM 2001

						dérivés, provisoire	FAO/WHO en 1993					
						sans seuil, plomb et composés	étude de cancérogénèse chez le rat, 2 ans	ERUo = 8,5E-3 (mg/kg/j)-1		tumeurs rénales	OEHHA 2005	
						sans seuil, plomb et composés	étude de cancérogénèse chez le rat, 2 ans	ERUi = 1,2E-5 (µg/m3)-1		tumeurs rénales	OEHHA 2005	
Rhénium	7440-15-5	<p>Symbole Re</p> <ul style="list-style-type: none"> - masse volumique : 21020 kg/m3 - Etat ordinaire : solide - Température fusion : 3459 K - Température d'ébullition : 5731 K - Energie de fusion : 33,2 KJ/mol - Energie de vaporisation : 715 KJ/mol - Volume molaire : 8,86E-6 m3/mol - Pression de vapeur : 3,24 Pa à 3453 K - Vitesse du son 4700 m/s à 20°C 	- LD50 intrapéritonéal souris : >10000 mg/kg	Wikipédia, ChemIDplus	/	/	/	/	/	/	/	/
Scandium	7440-20-2	<p>Symbole Sc</p> <ul style="list-style-type: none"> - masse volumique : 2985 kg/m3 - Etat ordinaire : solide - Température fusion : 1814 K - Température d'ébullition : 3103 K - Energie de fusion : 1814 KJ/mol - Energie de vaporisation : 314,2 KJ/mol - Volume molaire : 15E-6 m3/mol - Pression de vapeur : 22,1 Pa 	/	Wikipédia	/	/	/	/	/	/	/	/
Sélénium	7782-49-2	<p>Symbole Se</p> <ul style="list-style-type: none"> - masse volumique : 4790 kg/m3 - Etat ordinaire : solide - Température fusion : 494 K - Température d'ébullition : 957,8 K 	<p>Cancérogénicité : classé 3 par l'IARC</p> <ul style="list-style-type: none"> - LD50 rat intraveineuse : 6 mg/kg, orale : 6700 mg/kg (sommolence, dyspnée) 	ChemIDplus, HSDB, Wikipédia		Orale	avec seuil	<p>NOAEL = 1,5E-2 mg/kg/j</p> <p>- LOAEL = 2,3E-2 mg/kg/j</p> <p>- étude épidémiologique</p>	RfD = 5E-3 mg/kg/j	3	clinical selenosis (foie, sang, ongle...)	US EPA 1991
							avec seuil	même étude que l'US EPA	MRL = 5E-3 mg/kg/j	3	maladie des ongles	ATSDR

Annexe 4 : Caractérisation des substances - 16

		<ul style="list-style-type: none"> - Energie de fusion : 6,694KJ/mol - Energie de vaporisation : 26,3 KJ/mol - Volume molaire : 16,42E-6 m3/mol - Pression de vapeur : 0,695 Pa - Vitesse du son 3350 m/s à 20°C 	<ul style="list-style-type: none"> - LCLo inhalation rat : 33 mg/kg (hémorragie, œdème pulmonaire, variation du poids des poumons) - LDLo intraveineuse lapin : 2,5 mg/kg 				avec seuil		DJR = 1E-3 mg/kg/j	/		2003 OMS 2006
							avec seuil	étude sur l'homme	REL = 5E-3 mg/kg/j	/	changement dans les cheveux et les ongles, lésions de la peau, effets sur le système nerveux	OEHHA 2001
							avec seuil		REL = 2E-2 mg/m3	3		OEHHA 2001
Strontium		<ul style="list-style-type: none"> Symbole Sr - masse volumique : 2630 kg/m3 - Etat ordinaire : solide - Température fusion : 1050 K - Température d'ébullition : 1655 K - Energie de fusion : 8,3 KJ/mol - Energie de vaporisation : 144 KJ/mol - Volume molaire : 33,94E-6 m3/mol - Pression de vapeur : 246 Pa à 768,9°C 	/	Wikipédia			avec seuil	NOAEL = 140 mg/kg/j - étude sur les rats	MRL = 2 mg/kg/j	30	effets sur les os	ATSDR 10/2004
							avec seuil	NOAEL = 190 mg/kg/j - LOAEL = 380 mg/kg/j - étude chez les rats de 20 jours	RfD = 6E-1 mg/kg/j	300	os rachitiques	US EPA 1996
Titane	7440-32-6	<ul style="list-style-type: none"> Symbole Ti - masse volumique : 4507 kg/m3 - Etat ordinaire : solide - Température fusion : 1941 K - Température d'ébullition : 3560 K - Energie de fusion : 15,45 KJ/mol - Energie de vaporisation : 421 KJ/mol - Volume molaire : 10,64E-6 m3/mol - Pression de vapeur : 0,49 Pa à 1659,9°C - Vitesse du son 5990 m/s à 20°C 	/	Wikipédia	/	/	/	/	/	/	/	/
Tétrachlorure de titane	7550-45-0	Formule brute : Cl4Ti	<ul style="list-style-type: none"> - LC50 souris inhalation : 100 mg/m3 - LC50 rat inhalation : 400 mg/m3 	ChemIDplus, HSDB, Wikipédia	Inhalation		subchronique à seuil	étude sur des rats (4 semaines)	MRL = 1E-2 mg/m3	90	effets respiratoires (poumon)	ATSDR 09/2007
							chronique à seuil	étude sur des rats	MRL = 1E-4 mg/m3	90	effets respiratoires (respiration)	ATSDR 09/2007

Uranium	7440-61-1, HZ-1800-90-T pour les sels très solubles, 91 pour les sels solubles et 92 pour les formes non solubles	Symbole U - Masse volumique : 19 050 kg/m3 - Etat ordinaire : solide - Température de fusion : 1405 K - Température d'ébullition : 2070 K - Energie de fusion : 15,48 KJ/mol - Energie de vaporisation : 477 KJ/mol - Volume molaire : 12,49E-6m3/mol - Pression de vapeur 1,63E-6 Pa à 453,7 K - Vitesse du son 3155 m/s à 20°C	Cancérogénicité : classé 3 par DHHS -LD 50 = 750 mg/kg rat -Effet principal sur les reins mais aussi sur le système cardiovasculaire, le foie, les muscles et le système nerveux	HSDB ChemIDplus Wikipédia	Orale	chronique à seuil	lapin, orale pendant 30 jours -NOAEL : / -LOAEL : 0,02 ppm uranyle nitrate hexahydrate dans nourriture (convertit en 2,8 mg U.kg/j) Maynard and Hodge, 1949	RfD = 3E-3 mg/kg/j	1000	perte de poids, effet néphrotoxique (reins)	US EPA 10/01/1989
						sub-chronique à seuil (sels solubles)	LOAEL = 5E-2 mg/kg/j - étude sur le lapin	MRJ = 2E-3 mg/kg/j	30	reins	ATSDR 09/1999
						à seuil		TDI = 0,6 E-3 mg/kg/j	100		OMS 2006
						Inhalation	sub-chronique à seuil (sels solubles)		MRJ = 4E-4 mg/m3	90	reins
sub-chronique à seuil (éléments insolubles), protecteur pour exposition chronique	lapin, orale pendant 91 jours (1998)	MRJ = 8E-3 mg/m3	30	reins	ATSDR 09/1999						
chronique à seuil (sels solubles)		MRJ = 3E-4 mg/m3	30	reins	ATSDR 09/1999						
Vanadium	7440-62-2	Symbole V - masse volumique : 6110 kg/m3 - Etat ordinaire : solide - Température fusion : 2175 K - Température d'ébullition : 3682 K - Energie de fusion : 20,9 KJ/mol - Energie de vaporisation : 452 KJ/mol - Volume molaire : 8,32E-6 m3/mol - Pression de vapeur : 3,06 Pa à 1659,9°C - Vitesse du son 4560 m/s à 20°C	- LD50 sous-cutanée lapin : 59 mg/kg	ChemIDplus	Orale	subchronique à seuil	NOAEL = 0,3 mg/kg/j - étude chez le rat (trois mois)	MRL = 3E-3 mg/kg/j	100	changement dans les poumons, les reins et la rate	ATSDR 1992
					Inhalation	aiguë (7-24h)	LOAEL = 0,06 mg/m3 - étude sur l'homme	MRL = 2E-4 mg/m3	100	toux et sécrétion mucus	ATSDR 1992

Pentoxyde de vanadium	1314-62-1	Formule brute : V2O5	Cancérogénicité : classé 2B par l'IARC De nombreuses données dont : - LD50 orale rat : 10 mg/kg - LC50 inhalation rat : 126 mg/m3 - TCLo inhalation homme : 346 mg/m3 (toux, dyspnées, expectoration)	sante.gouv	Orale	chronique à seuil	NOAEL = 0,89 mg/kg/j - étude sur le rat	RfD = 9E-3 mg/kg/j	100	diminution de la cystine des cheveux	US EPA 1996
			Inhalation		aiguë (1h)	étude sur l'homme	REL = 3E-2 mg/m3	10	irritation respiratoire, yeux	OEHHA 1999	
Zinc	7440-66-6	Symbole Zn - masse volumique : 7140 kg/m3 - Etat ordinaire : solide - Température fusion : 692,68 K - Température d'ébullition : 11802 K - Energie de fusion : 7,322 KJ/mol - Energie de vaporisation : 115,3 KJ/mol - Volume molaire : 9,16E-6 m3/mol - Pression de vapeur : 192,2 Pa à 692,68°C - Vitesse du son 3700 m/s à 20°C	Cancérogénicité : classé D par l'US EPA - DL50 (Zn poudre) rat orale : > 2g/kg - DL50 (ZnO) rat orale : > 8 gZn /kg - DL50 (sulfate de zinc) rat orale : 0,5 gZn /kg	Wikipédia, INERIS	Orale	à seuil	même étude que l'ATSDR	TDI = 5E-1 mg/kg/j	/	effets sanguins	RIVM 2001
						subchronique à seuil	étude chez l'homme (10 semaines) - LOAEL = 1 mg/kg/j	MRL = 3E-1 mg/kg/j	3	effets sanguins	ATSDR 2005
						chronique à seuil		MRL = 3E-1 mg/kg/j	3	effets sanguins	ATSDR 2005
						chronique à seuil	LOAEL = 0,91 mg/kg/j - plusieurs études sur les hommes	RfD = 3E-1 mg/kg/j	3	effets sanguins (diminution des érythrocyte CU et Zn-superoxyde dismutase)	US EPA 2005
Phosphure de zinc	1314-84-7	Formule brute : Zn3P2	De nombreuses données dont : - LD50 orale rat : 12 à 45 mg/kg - LDLo orale homme :80 mg/kg (nausée et vomissement)	ChemIDplus	Orale	chronique à seuil	étude chez le rat pendant 13 semaines - LOAEL = 3,48 mg/kg/j	RfD = 3E-4 mg/kg/j	10000	diminution de l'alimentation	US EPA 1990
Cyanure de zinc	557-21-1	Formule brute : Zn(CN)2	LD50 orale rat :54 mg/kg	ChemIDplus	Orale	chronique à seuil	établie pour le cyanure qui est beaucoup plus toxique que le zinc - étude chez le rat pendant deux ans - NOAEL = 24,3 mg cyanure zinc /kg/j	RfD = 5E-2 mg/kg/j	500	pas d'effets observés	US EPA 1996
Zinèbe	12122-67-7	Pesticide	De nombreuses données dont : - LD50 orale rat : 1850 mg/kg - LDLo orale homme : 5000 mg/kg	ChemIDplus	Orale	chronique à seuil	étude chez le rat - LOAEL = 25 mg/kg/j	RfD = 5E-2 mg/kg/j	500	hyperplasie thyroïdienne	US EPA 1998

Polluant des procédés											
Substance (nom usuel)	N° CAS	Propriétés physico-chimiques	Toxicologie	Source	Voie d'exposition	type	études supports des VTR	Dose critique, VTR	Facteur d'incertitude	Effet(s) / organe(s) cible(s)	Source
Acide sulfurique	7664-93-9	Formule brute : H ₂ SO ₄ - masse molaire : 98,078 g/mol - Température fusion : 10°C - Température d'ébullition : 340°C - Solubilité : miscible avec l'eau - densité : 1,8	- DL50 orale rat : 2140 mg/kg	Wikipédia, INRS	Inhalation	chronique à seuil	étude sur le singe - LOAEL = 380 µg/m ³	REL = 1E-3 mg/m ³		système respiratoire	OEHHA
Soufre	7704-34-9	Symbole S - masse volumique : 1960 kg/m ³ - Etat ordinaire : solide - Température fusion : 388,36 K - Température d'ébullition : 717,87 K - Energie de fusion : 1,717 KJ/mol - Energie de vaporisation : 45 KJ/mol - Volume molaire : 17,02E-6 m ³ /mol - Pression de vapeur : 0,53 mPa à 30,4°C	- DL50 orale rat : >5000 mg/kg - CL50 inhalation rat (4h) : 2,56 g/m ³	Wikipédia, INRS	Orale	à seuil	d'après une valeur allemande	DJA = 1,5 mg/kg/j			UE 2008
Dioxyde de soufre	05/09/7446	Formule brute : SO ₂ - Etat ordinaire : gaz - masse molaire : 64,064 g/mol - Température fusion : -75,5°C - Température d'ébullition : -10°C - Solubilité : miscible avec l'eau 8,5ml/100ml - densité : 2,26/ air à 21°C	Cancérogénicité : classé 3 par l'IARC - CL50 inhalation 30 minutes souris : 3000 ppm	Wikipédia	Inhalation	aiguë à seuil aiguë (1h) à seuil chronique à seuil	études sur les asthmatiques - LOAEL = 0,27 mg/m ³ études chez les asthmatiques valeur guide annuelle	MRL = 3E-2 mg/m ³ REL = 6,6E-1 mg/m ³ VG = 5E-2 mg/m ³	9 1	bronchoconstriction chez asthmatique pendant un exercice physique bronchoconstriction chez asthmatique pendant un exercice physique	ATSDR 1998 OEHHA 1999 décret 1998
Ammoniac	7664-41-7	Formule brute : NH ₃ - Etat ordinaire : gaz - masse molaire : 17,03056 g/mol - Température fusion : -78°C - Température d'ébullition : -33°C - Solubilité : miscible avec l'eau - densité : 0,6813/ air	- DL50 orale rat : 350 mg/kg; chat : 750 mg/kg - CL50 inhalation rat 2h : 7600 mg/m ³	Wikipédia, INRS	Inhalation	aiguë aiguë (1h) chronique à seuil	LOAEL = 50 ppm étude sur les hommes NOAEL = 9,2 ppm - étude épidémiologique sur des travailleurs	MRL = 1,2 mg/m ³ REL = 3,2 mg/m ³ MRL = 7E-2 mg/m ³	30 3 30	irritation de la gorge irritation des yeux et du système respiratoire effets respiratoires et sur les yeux	ATSDR 2004 OEHHA 1999 ATSDR 2004

						chronique à seuil	NOAEC (HEC) = 2,3 mg/m3	RfC = 1E-1 mg/m3	30	effets sur le fonctionnement des poumons	US EPA 1991
						chronique à seuil		REL = 2E-1 mg/m3	10	système respiratoire	OEHHA 2005
Nitrate	14797-55-8	Formule brute : NO3-		Wikipédia	Orale	chronique à seuil	NOAEL = 1,6 mg/kg/j - plusieurs études chez les enfants	RfD = 1,6 mg/kg/j	1	méthémoglobinémie en excès de 10%	US EPA
Nitrite	14797-65-0	Formule brute : NO2		Wikipédia	Orale	chronique à seuil	pour nitrite de potassium et nitrite de sodium, pas pour les enfants de moins de 3 mois	ADI = 7E-2 mg/kg/j			OMS 2002
						chronique à seuil	étude épidémiologique sur des enfants	RfD = 1E-1 mg/kg/j	10	méthémoglobinémie	US EPA
Dioxyde d'azote	10102-44-0	Formule brute : NO2 - Etat ordinaire : gaz - masse molaire : 46,0055 g/mol - Température fusion : -11,2°C - Température d'ébullition : 21,2°C - Solubilité : réagit dans l'eau - densité : 2,06/ air	Nombreuses données dont : - LC50 inhalation rat : 88 ppm; lapin 315 ppm - TCLo homme inhalation : 2 à 90 ppm (toux effets sur le système respiratoire, dyspnée)	Wikipédia, ChemIDplus, INERIS	Inhalation	aiguë (1h)	étude sur les asthmatiques - NOAEL = 0,25 ppm	REL = 4,7E-1 mg/m3	1	augmentation de la réactivité bronchique	OEHHA 1999
						chronique à seuil	valeur guide annuelle	VG = 4E-2 mg/m3			directive européenne 2008
						chronique à seuil	valeur guide annuelle	VG = 4E-2 mg/m3			OMS 2000
Poussières et Particulate Matter	/	PM10 et PM2,5, particules références respectivement inférieure à 10 µm et 2,5µm de diamètre	/	/	Inhalation	chronique PM10	valeur guide annuelle	VG = 4E-2 mg/m3			directive européenne 2008
						chronique PM10	valeur guide annuelle	VG = 2E-2 mg/m3			OMS directive 2005
						chronique PM2,5	valeur guide annuelle	VG = 1,5E-2 mg/m3			US EPA
						chronique PM2,5	valeur guide annuelle	VG = 1E-2 mg/m3			OMS directive 2005
						chronique PM2,5	valeur guide annuelle	VG = 2,5E-2 mg/m3			directive européenne 2008, jusqu'en 2015

						chronique PM2,5	valeur guide annuelle	VG = 2E-2 mg/m3			directive européenne 2008 à partir de 2015
--	--	--	--	--	--	--------------------	-----------------------	-----------------	--	--	--

Analyse à mener									
	Eau	Sol	Plante	Air		Eau	Sol	Plante	Air
Paramètres microbiologiques	Escherichia coli				micropolluants minéraux	As		As	
	Entérocoques intestinaux					Al	Al	Al	
Paramètres organoleptiques	T°C					Be			
	Turbidité					Bromates			
	Couleur					Cd	Cd	Cd	
Analyse physicochimique	conductivité 20°C					Cr		Cr	
	pH in situ [†]	pH				Cu	Cu	Cu	
	pH corrigé à 20°C					Fluorure F-			
	H2CO3 (eau souterraine)					Hg		Hg	
	TA					Mo	Mo		
	TAC					Ni		Ni	
	TH					Pb	Pb	Pb	
	Oxydabilité KMnO4 en milieu acide					Se	Se	Se	
	COT	COT				U	U	U	
	DCO ^{**}					V	V		
	DBO5 ^{**}				Zn	Zn	Zn		
	NK [*]				Autres				NO2
	Phosphore total (P2O5) [*]								SO2
	MES [*]								
	O2 dissous								
H2S									
SiO2									
Fe total									
résidu sec à 180°C									
Cations	Ca2+								
	Mg2+								
	NH4+								
	Na+								
	K+								
	Fe2+								
	Mn2+								
Anions	CO32-								
	HCO3-								
	Cl-								
	SO4-								
	NO2-								
	NO3-								
Indicateur de radioactivité	rad alpha	rad alpha	rad alpha						
	rad beta	rad beta	rad beta						
Radionucléides	U234								
	U238	U238	U238						
	Th230								
	Ra226	Ra226	Ra226						
	Po210								
	P210	Pb210	Pb210						
	Th232								
Ra228									
Micropolluants organiques	hydrocarbure totaux	hydrocarbure totaux							

EAU :

*eau de surface

†paramètre eaux usées

GRAS : polluants venant des process

Annexe 5 : Substances retenues pour la suite de l'ERS

Les calculs des concentrations dans la viande et le lait sont basés sur les équations et les paramètres de l'Human Health Risk Assessment Protocol for Hazardous Waste Combustion Facilities (HHRAP, US EPA 2005).

Les concentrations dans la viande, et dans les produits issus des animaux (lait...) sont estimées à partir de la quantité de polluant ingérée par l'animal. Ici les apports en polluants des animaux sont estimés à partir de leur ingestion d'eau, de plante et de sol.

La concentration dans la viande et le lait ($C_{\text{produit_animal}}$) est ensuite obtenue par l'équation suivante (les termes liés à l'eau ont été rajoutés par rapport à la version de l'HHRAP) :

$$C_{\text{produit_animal}} = \{ \sum (F_i \cdot Q_{pi} \cdot C_{pi}) + Q_s \cdot C_s \cdot B_s + Q_{\text{eau}} \cdot C_{\text{eau}} \cdot B_{\text{eau}} \} \times B_{\text{produit_animal}} \times \text{MeF}$$

Avec :

$C_{\text{produit_animal}}$: Concentration dans le produit animal ($\mu\text{g}/\text{kg}$ pour la viande et les œufs, $\mu\text{g}/\text{L}$ pour le lait)

F_i : Fraction de la plante de type i ingérée par l'animal ayant été cultivée dans la zone de retombée des dépôts du site

Q_{pi} : Quantité totale de plante i ingérée par l'animal par jour ($\text{kg MS}/\text{j}$)

C_{pi} : Concentration en polluant dans la plante de type i ingérée par l'animal ($\mu\text{g}/\text{kg MS}$)

Q_s : Quantité de sol ingéré par l'animal par jour (kg/j)

C_s : Concentration en polluant dans le sol ($\mu\text{g}/\text{kg}$)

B_s : Facteur de biodisponibilité des sols

Q_{eau} : Quantité totale d'eau ingérée par l'animal par jour (l/j)

C_{eau} : Concentration en polluant dans l'eau ($\mu\text{g}/\text{l}$)

B_{eau} : Facteur de biodisponibilité de l'eau

$B_{\text{produit_animal}}$: Facteur de bio transfert pour le produit animal (j/kg pour la viande et les œufs, j/L pour le lait)

MeF : Facteur lié au métabolisme

Valeurs des paramètres (d'après US EPA 2005) :

Paramètre	Unité	Valeur		
		min	moy	max
Fi	-	-	-	1
Qpi	kg MS/j	8,6	12	13,27
Cvi	$\mu\text{g}/\text{kg}$	Cf. analyse		
Qs	kg/j	0,34	0,5	0,53
Cs	$\mu\text{g}/\text{kg}$	Cf. analyse		
Bs	-	-	-	1
Qeau	l/j	22,0*	39,0*	55,6*
Ceau	$\mu\text{g}/\text{l}$	Cf. analyse		
Beau	-	-	-	1
Ba viande	j/kg	Spécifique à la substance		
Ba lait	j/l	Spécifique à la substance		
MeF	-	-	-	1

*Michigan Beef Production Manual, Fact Sheet 1090

Les paramètres applicables pour évaluer la concentration des polluants dans la viande de bétail ont été calculés pour des bœufs.

Coefficients de biotransfert pour le produit animal :

Métaux lourds et métalloïdes		
Substance	Ba viande (j/kg)	Ba lait (j/l)
Al ²	0,0015	0,0002
As	0,002	6,00E-05
Be	0,001	9,00E-07
Bromates ²	0,025	0,02
Cd	1,20E-04	6,50E-06
Cr	0,0055	1,50E-03
Cu ²	0,009	1,50E-03
Fe ²	0,02	3,00E-05
F ^{-*2}	0,01	0,001
Hg ²	1,00E-02	4,70E-04
Mn ²	5,00E-04	3,00E-05
Mo ²	1,00E-03	0,0017
Ni	0,006	0,001
Pb	3,00E-04	2,50E-04
Se	0,002265	0,0058565
U ²	3,00E-04	4,00E-04
V ²	0,0025	2,00E-05
Zn	9,00E-05	3,25E-05
Polluants des procédés		
Substance	Ba viande (j/kg)	Ba lait (j/l)
NO ₂ -*	0,01	0,01
NO ₃ -*	0,01	0,01

Données HHRAP et RAIS database

²RAIS database

*Par défaut, surestimation

Limites :

Les coefficients donnés par l'HHRAP sont valables pour du bétail mais sont plus précisément calculés pour des bœufs. Or les fermiers n'en possèdent pas et consomme principalement des moutons.

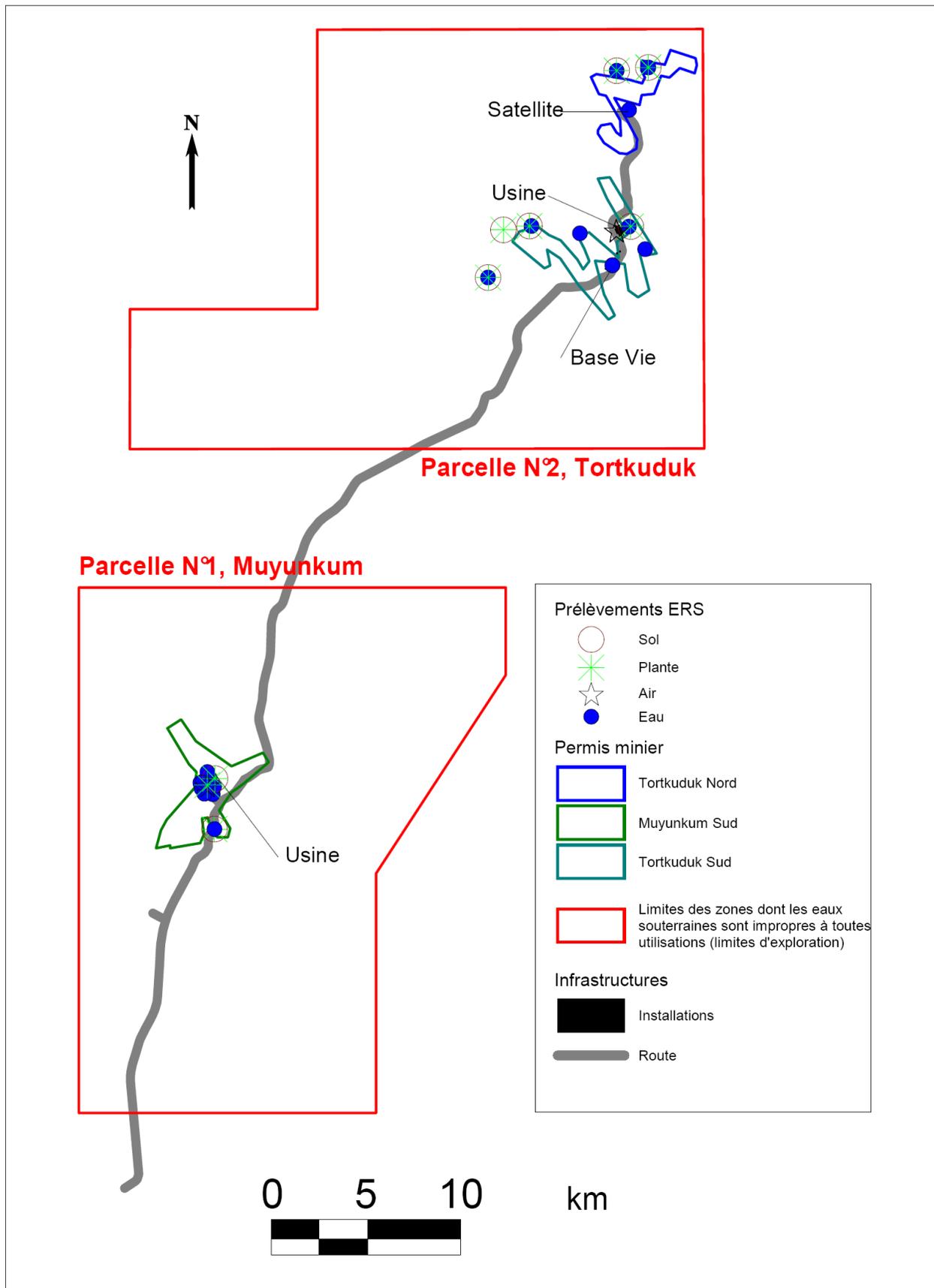
Cette relation est une approximation de la réalité.

En l'absence de données certains paramètres ont été surestimé (coefficient de transfert : Al, Bromates, Fluorures, U, V, NO₂- et NO₃-).

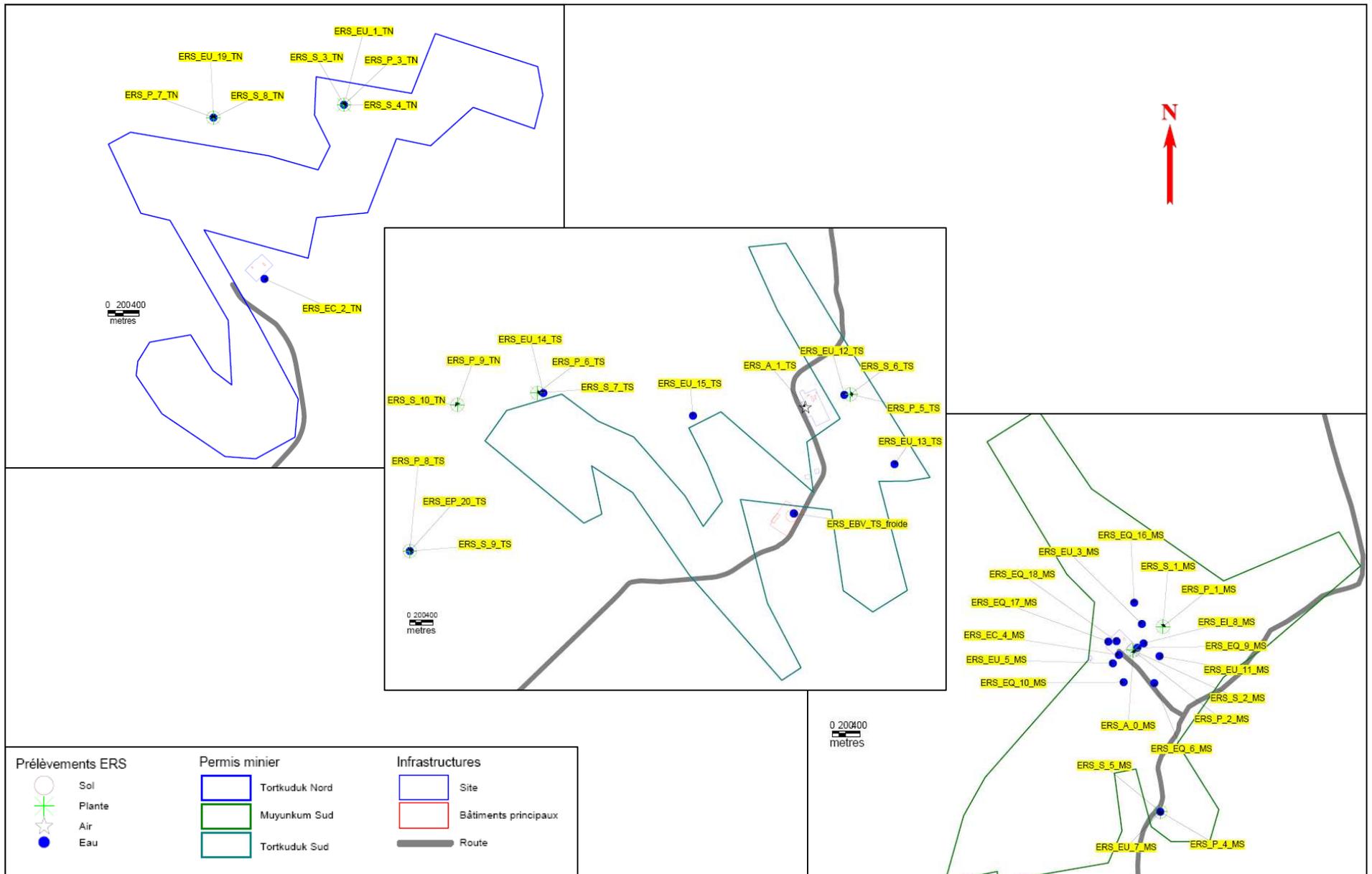
Annexe 6 : Calcul des concentrations des substances accumulées dans les produits d'origines animales

Scenarios	Compartiments												Total								
	Water					Soil				Vegetation				Air							
	points	Where	ERS	qty	Commentaires	points	Where	ERS	qty	points	Where	ERS		qty	points	Where	N°	ERS	qty		
1	Cretaceous drilling	TNC_V_811	ERS_EC_2_TN	1											life base phenix	Base Vie Tortkuduk	23/06 vent E	ERS_A_1_TS	1		
		MS_1C	ERS_EC_4_MS	1														25/06 vent N	ERS_A_2_TS	1	
	Quaternary drilling	MSQ_V_731	ERS_EQ_6_MS	1														29/06 vent SO	ERS_A_3_TS	1	
		farm well	Puits 2 (P2)	ERS_EP_20_TS	1	échantillonneur	farmers points	Puits 2 (P2)	ERS_S_9_TS	1	farmers points	Puits 2 (P2)	ERS_P_8_TS	1					02/07 vent NO	ERS_A_4_TS	1
							farmers points	Puits 1	ERS_S_10_TS	1	farmers points	Puits 1	ERS_P_9_TS	1					05/07 vent NO	ERS_A_5_TS	1
	Forage Artésien	288 (M7)	ERS_EU_7_MS	1			Forage Artésien	288 (M7)	ERS_S_5_MS	1	Forage Artésien	288 (M7)	ERS_P_4_MS	1					07/07 vent E	ERS_A_6_TS	1
		3 arbres (3A-T17)	ERS_EU_19_TN	1				3 arbres (3A-T17)	ERS_S_8_TN	1			3 arbres (3A-T17)	ERS_P_7_TN	1						
		248 (T15)	ERS_EU_1_TN	1				248 (T15) proche	ERS_S_3_TN	1			248 (T15)	ERS_P_3_TN	1						
	life base tap	Tortkuduk BV 2 (chaude)	ERS_EBV_21_TN_chaude	1																	
		Tortkuduk BV 1 (froide)	ERS_EBV_22_TN_froide	1																	
	2	Pz de contour	MSU_N_14_2 amont	ERS_EU_11_MS	1		well fields	forage prod 030204A3	ERS_S_2_MS	1	well fields	forage prod 030204A3	ERS_P_2_MS	1							
			MSU_N_24 aval	ERS_EU_5_MS	1				forage prod 02070	ERS_S_6_TS		1		forage prod 020709A	ERS_P_5_TS	1					
TSU_N_27 aval			ERS_EU_12_TS	1		zone radioactive	anc forage exploration	ERS_S_1_MS	1	zone radioactive	anc forage exploration	ERS_P_1_MS	1								
MSU_N15			ERS_EU_3_MS	1																	
Pz au sein de contour		TSU_N_29 amont	ERS_EU_13_TS	1																	
		MSI_N_09	ERS_EI_8_MS	1																	
		MSQ_N_04	ERS_EQ_10_MS	1																	
Pz spéciaux, storage H2SO4		MSQ_N_06	ERS_EQ_9_MS	1																	
		MSQ_N_B_03	ERS_EQ_18_MS	1	échantillonneur																
		MSQ_N_B_01	ERS_EQ_17_MS	1	échantillonneur																
Pz spéciaux, household dump	MSQ_N_25	ERS_EQ_16_MS	1	échantillonneur																	
0	Pz régionaux	TSU_N11_2	ERS_EU_15_TS	1		Pz régionaux	proche TSU_N_14	ERS_S_7_TS	1	Pz régionaux	proche TSU_N_14	ERS_P_6_TS	1								
Total	22					10				9				41	6					47	
1 : Exploitation 2 : Post exploitation 0 : Etat zéro																					
Additional analyses	waste water treatment plant input	entree bassin traitement biologique	EXTRA_E_1_E	1	protocole non respecté									well fields	Muyunkum S : 030204A3	18/06 pas de vent	ERS_A_0_M S	1			
	waste water treatment plant output	entree bassin infiltration	EXTRA_E_2_S	1	protocole non respecté																
Total	2					0				0				2	1					50	

Annexe 7 : Plan d'échantillonnage - Mission KATCO 06-07/2009



Annexe 8 : Cartographie générale des prélèvements de l'ERS



Annexe 9 : Cartographie par site des prélèvements de l'ERS

ERS	COMPAR TIMENT	NUMERO	COORD_X	COORD_Y	DATE	LIEU	TYPE	SITE	NUMERO_ACT	ANALYSE	PHOTO	FICHE
ERS A 0 MS	Air	0	116648,645	123062,041	21/06/2009	champs puits	forage prod 030204A3	Muyunkum Sud	/	SO2 + NO2	PHOTOS_ERSIERS_A_0_MS.jpg	FICHES_ERSIERS_A_0_MS.pdf
ERS A 1 TS	Air	1	138401,260	152438,620	23/06/2009	base vie Tortkuduk	entrée base phenix	Tortkuduk Sud	/	SO2 + NO2	PHOTOS_ERSIERS_A_1_TS.jpg	FICHES_ERSIERS_A_1_TS.pdf
ERS A 2 TS	Air	2	138401,260	152438,620	25/06/2009	base vie Tortkuduk	entrée base phenix	Tortkuduk Sud	/	SO2 + NO2	PHOTOS_ERSIERS_A_1_TS.jpg	FICHES_ERSIERS_A_2_TS.pdf
ERS A 3 TS	Air	3	138401,260	152438,620	29/06/2009	base vie Tortkuduk	entrée base phenix	Tortkuduk Sud	/	SO2 + NO2	PHOTOS_ERSIERS_A_1_TS.jpg	FICHES_ERSIERS_A_3_TSERS_A_3_TS.pdf
ERS A 4 TS	Air	4	138401,260	152438,620	02/07/2009	base vie Tortkuduk	entrée base phenix	Tortkuduk Sud	/	SO2 + NO2	PHOTOS_ERSIERS_A_1_TS.jpg	FICHES_ERSIERS_A_4_TS.pdf
ERS A 5 TS	Air	5	138401,260	152438,620	05/07/2009	base vie Tortkuduk	entrée base phenix	Tortkuduk Sud	/	NO2	PHOTOS_ERSIERS_A_1_TS.jpg	FICHES_ERSIERS_A_5_TS.pdf
ERS A 6 TS	Air	6	138401,260	152438,620	07/07/2009	base vie Tortkuduk	entrée base phenix	Tortkuduk Sud	/	NO2	PHOTOS_ERSIERS_A_1_TS.jpg	FICHES_ERSIERS_A_6_TS.pdf
ERS_EBV_21_TS_chaude	Eau	21	138204,380	150601,810	24/06/2009	robinet base vie	Tortkuduk BV 2 (chaude)	Tortkuduk Sud	Acte 307	C	PHOTOS_ERSIERS_EBV_TS.jpg	FICHES_ERSIERS_EBV_21_TS_chaude.pdf
ERS_EBV_22_TS_froide	Eau	22	138204,380	150601,810	24/06/2009	robinet base vie	Tortkuduk BV 1 (froide)	Tortkuduk Sud	Acte 306	C	PHOTOS_ERSIERS_EBV_TS_chaude_froide.jpg	FICHES_ERSIERS_EBV_22_TS_froide.pdf
ERS_EC_2 TN	Eau	2	139082,600	158823,700	24/06/2009	forage crétacé	TNC V_811	Tortkuduk Nord	Acte 303	C + R	PHOTOS_ERSIERS_EC_2_TN.jpg	FICHES_ERSIERS_EC_2_TN.pdf
ERS_EC_4 MS	Eau	4	116439,290	122996,760	25/06/2009	forage crétacé	MS_1C	Muyunkum Sud	Acte 312	C	PHOTOS_ERSIERS_EC_4_MS.jpg	FICHES_ERSIERS_EC_4_MS.pdf
ERS_EI_8 MS	Eau	8	116795,000	123163,500	26/06/2009	piézomètre au sein de contour	MSI_N_09	Muyunkum Sud	Acte 317	C + R	PHOTOS_ERSIERS_EI_8_MS.jpg	FICHES_ERSIERS_EI_8_MS.pdf
ERS_EP_20 TS	Eau	20	131589,000	149955,000	04/07/2009	puits fermier	Puits 2 (P2)	Tortkuduk Sud	Acte 326	C	PHOTOS_ERSIERS_EP_20_TS.jpg	FICHES_ERSIERS_EP_20_TS.pdf
ERS_EQ_10 MS	Eau	10	116508,820	122602,560	26/06/2009	piézomètre au sein de contour	MSQ_N_04	Muyunkum Sud	Acte 315	C	PHOTOS_ERSIERS_EQ_9_MS.jpg	FICHES_ERSIERS_EQ_10_MS.pdf
ERS_EQ_16 MS	Eau	16	116661,100	123751,920	27/06/2009	piézomètre special decharge	MSQ_N_25	Muyunkum Sud	Acte 324	C	PHOTOS_ERSIERS_EQ_16_MS.jpg	FICHES_ERSIERS_EQ_16_MS.pdf
ERS_EQ_17 MS	Eau	17	116287,640	123189,670	27/06/2009	piézomètre spécial	MSQ_N_B_01	Muyunkum Sud	Acte 323	C	PHOTOS_ERSIERS_EQ_17_MS.jpg	FICHES_ERSIERS_EQ_17_MS.pdf
ERS_EQ_18 MS	Eau	18	116405,920	123195,820	28/06/2009	piézomètre special stockage H2SO4	MSQ_N_B_03	Muyunkum Sud	Labo KATCO	C	PHOTOS_ERSIERS_EQ_18_MS.jpg	FICHES_ERSIERS_EQ_18_MS.pdf
ERS_EQ_6 MS	Eau	6	116950,560	122589,650	25/06/2009	forage quaternaire	MSQ_V_731	Muyunkum Sud	Acte 308	C	PHOTOS_ERSIERS_EQ_6_MS.jpg	FICHES_ERSIERS_EQ_6_MS.pdf
ERS_EQ_9 MS	Eau	9	116706,420	123101,420	26/06/2009	piézomètre au sein de contour	MSQ_N_06	Muyunkum Sud	Acte 316	C	PHOTOS_ERSIERS_EQ_9_MS.jpg	FICHES_ERSIERS_EQ_9_MS.pdf
ERS_EU_1 TN	Eau	1	140109,980	161075,310	24/06/2009	forage artésien	248	Tortkuduk Nord	Acte 302	C + R	PHOTOS_ERSIERS_EU_1_TN.jpg	FICHES_ERSIERS_EU_1_TN.pdf
ERS_EU_11 MS	Eau	11	117026,200	122980,600	26/06/2009	piézomètre de contour	MSU_N_14_2	Muyunkum Sud	Acte 318	C	PHOTOS_ERSIERS_EU_11_MS.jpg	FICHES_ERSIERS_EU_11_MS.pdf
ERS_EU_12 TS	Eau	12	139073,730	152644,250	26/06/2009	piézomètre de contour	TSU_N_27	Tortkuduk Sud	Acte 319	C + R	PHOTOS_ERSIERS_EU_12_TS.jpg	FICHES_ERSIERS_EU_12_TS.pdf
ERS_EU_13 TS	Eau	13	139937,840	151451,280	26/06/2009	piézomètre de contour	TSU_N_29	Tortkuduk Sud	Acte 320	C + R	PHOTOS_ERSIERS_EU_13_TS.jpg	FICHES_ERSIERS_EU_13_TS.pdf
ERS_EU_14 TS	Eau	14	133889,000	152677,000	27/06/2009	piézomètre régional	TSU_N_14	Tortkuduk Sud	Acte 322	C + R	PHOTOS_ERSIERS_EU_14_TS.jpg	FICHES_ERSIERS_EU_14_TS.pdf
ERS_EU_15 TS	Eau	15	136466,500	152286,980	27/06/2009	piézomètre régional	TSU_N11_2	Tortkuduk Sud	Acte 321	C + R	PHOTOS_ERSIERS_EU_15_TS.jpg	FICHES_ERSIERS_EU_15_TS.pdf
ERS_EU_19 TN	Eau	19	138421,060	160908,400	03/07/2009	forage artésien	3 arbres (3A-T17)	Tortkuduk Nord	Acte 325	C + R	PHOTOS_ERSIERS_EU_19_TN.jpg	FICHES_ERSIERS_EU_19_TN.pdf
ERS_EU_3 MS	Eau	3	116771,510	123444,880	25/06/2009	piézomètre de contour	MSU_N15	Muyunkum Sud	Acte 310	C + R	PHOTOS_ERSIERS_EU_3_MS.jpg	FICHES_ERSIERS_EU_3_MS.pdf
ERS_EU_5 MS	Eau	5	116352,260	122875,740	25/06/2009	piézomètre de contour	MSU_N_24	Muyunkum Sud	Acte 311	C + R	PHOTOS_ERSIERS_EU_5_MS.jpg	FICHES_ERSIERS_EU_5_MS.pdf
ERS_EU_7 MS	Eau	7	117037,820	120731,820	25/06/2009	forage artésien	288 (M7)	Muyunkum Sud	Acte 314	C + R	PHOTOS_ERSIERS_EU_7_MS.jpg	FICHES_ERSIERS_EU_7_MS.pdf
ERS_P_1 MS	Plante	1	117075,686	123406,031	18/06/2009	zone radioactive	anc forage exploration	Muyunkum Sud	Acte 4 180609	C + R	PHOTOS_ERSIERS_P_1_MS.jpg	FICHES_ERSIERS_P_1_MS.pdf
ERS_P_2 MS	Plante	2	117075,686	123406,031	18/06/2009	champs puits	forage prod 030204A3	Muyunkum Sud	Acte 5 210609	C + R	PHOTOS_ERSIERS_P_2_MS.jpg	FICHES_ERSIERS_P_2_MS.pdf
ERS_P_3 TN	Plante	3	140109,980	161075,310	24/06/2009	forage artésien	248 (T15)	Tortkuduk Nord	Acte 8 240609	C + R	PHOTOS_ERSIERS_P_3_TN.jpg	FICHES_ERSIERS_P_3_TN.pdf
ERS_P_4 MS	Plante	4	117037,820	120731,820	25/06/2009	forage artésien	288 (M7)	Muyunkum Sud	Acte 10 250609	C + R	PHOTOS_ERSIERS_P_4_MS.jpg	FICHES_ERSIERS_P_4_MS.pdf
ERS_P_5 TS	Plante	5	139178,800	152653,950	26/06/2009	forage prod 020709A	forage prod 020709A	Tortkuduk Sud	Acte 12 250609	C + R	PHOTOS_ERSIERS_P_5_TS.jpg	FICHES_ERSIERS_P_5_TS.pdf
ERS_P_6 TS	Plante	6	133789,000	152677,000	27/06/2009	piézomètre régional	proche TSU_N_14	Tortkuduk Sud	Acte 14 270609	C + R	PHOTOS_ERSIERS_P_6_TS.jpg	FICHES_ERSIERS_P_6_TS.pdf
ERS_P_7 TN	Plante	7	138421,060	160908,400	03/07/2009	forage artésien	3 arbres (3A-T17)	Tortkuduk Nord	Acte 16 030709	C + R	PHOTOS_ERSIERS_P_7_TN.jpg	FICHES_ERSIERS_P_7_TN.pdf
ERS_P_8 TS	Plante	8	131589,000	149955,000	04/07/2009	puits fermier	Puits 2 (P2)	Tortkuduk Sud	Acte 18 030709	C + R	PHOTOS_ERSIERS_P_8_TS.jpg	FICHES_ERSIERS_P_8_TS.pdf
ERS_P_9 TN	Plante	9	132408,000	152474,000	04/07/2009	forage fermier	Puits 1	Tortkuduk Sud	Acte 20 030709	C + R	PHOTOS_ERSIERS_P_9_TN.jpg	FICHES_ERSIERS_P_9_TN.pdf
ERS_S_1 MS	Sol	1	117075,686	123406,031	18/06/2009	zone radioactive	anc forage exploration	Muyunkum Sud	Acte 1 180609	C + R	PHOTOS_ERSIERS_S_1_MS.jpg	FICHES_ERSIERS_S_1_MS.pdf
ERS_S_10 TN	Sol	10	132408,000	152474,000	04/07/2009	forage fermier	Puits 1	Tortkuduk Sud	Acte 19 030709	C + R	PHOTOS_ERSIERS_S_10_TN.jpg	FICHES_ERSIERS_S_10_TN.pdf
ERS_S_2 MS	Sol	2	116648,645	123062,041	18/06/2009	champs puits	forage prod 030204A3	Muyunkum Sud	Acte 3 180609	C + R	PHOTOS_ERSIERS_S_2_MS.jpg	FICHES_ERSIERS_S_2_MS.pdf
ERS_S_3 TN	Sol	3	140109,980	161075,310	24/06/2009	forage artésien	248 (T15) proche	Tortkuduk Nord	Acte 7 240609	C + R	PHOTOS_ERSIERS_S_3_TN.jpg	FICHES_ERSIERS_S_3_TN.pdf
ERS_S_4 TN	Sol	4	140109,980	161075,310	24/06/2009	forage artésien	248 (T15)	Tortkuduk Nord	Acte 6 240609	C + R	PHOTOS_ERSIERS_S_4_TN.jpg	FICHES_ERSIERS_S_4_TN.pdf
ERS_S_5 MS	Sol	5	117037,820	120731,820	25/06/2009	forage artésien	288 (M7)	Muyunkum Sud	Acte 9 250609	C + R	PHOTOS_ERSIERS_S_5_MS.jpg	FICHES_ERSIERS_S_5_MS.pdf
ERS_S_6 TS	Sol	6	139178,800	152653,950	26/06/2009	champs puits	forage prod 020709A	Tortkuduk Sud	Acte 11 250609	C + R	PHOTOS_ERSIERS_S_6_TS.jpg	FICHES_ERSIERS_S_6_TS.pdf
ERS_S_7 TS	Sol	7	133789,000	152677,000	27/06/2009	piézomètre régional	proche TSU_N_14	Tortkuduk Sud	Acte 13 270609	C + R	PHOTOS_ERSIERS_S_7_TS.jpg	FICHES_ERSIERS_S_7_TS.pdf
ERS_S_8 TN	Sol	8	138421,060	160908,400	03/07/2009	forage artésien	3 arbres (3A-T17)	Tortkuduk Nord	Acte 15 030709	C + R	PHOTOS_ERSIERS_S_8_TN.jpg	FICHES_ERSIERS_S_8_TN.pdf
ERS_S_9 TS	Sol	9	131589,000	149955,000	04/07/2009	puits fermier	Puits 2 (P2)	Tortkuduk Sud	Acte 17 030709	C + R	PHOTOS_ERSIERS_S_9_TS.jpg	FICHES_ERSIERS_S_9_TS.pdf

Annexe 10 : Table du fichier SIG de la campagne de prélèvement de l'ERS (coordonnées en mètre dans le système de projection de Volkov)

- Dose Journalière d'Exposition par voie orale, DJE ($\mu\text{g}/\text{kg}/\text{j}$) :

$$DJE = \frac{\sum_i C_i \times Q_i \times T}{p}$$

Avec :

C_i : concentration dans le compartiment i ($\mu\text{g}/\text{kg}$ ou $\mu\text{g}/\text{l}$)

Q_i : quantité de compartiment i ingéré (kg/j ou l/j)

T : Taux d'exposition (sans unité)

p : poids corporel de la cible (kg)

- Quotient de Danger (QD):

$$QD = \frac{DJE}{DJA} \times Fp$$

Avec :

DJA : Dose Journalière Admissible (VTR)

Fp : Facteur de pondération (nombre de jours d'exposition par an)

- Excès de Risque Individuel (ERI) :

$$ERI = DJE \times Fp \times \frac{T}{T_p} \times ERU$$

Avec :

Fp : Facteur de pondération (sans unité, j/an)

T : Nombre d'année d'exposition

T_p : nombre d'année de référence

ERU : Excès de Risque unitaire (VTR)

Annexe 11 : Equations des calculs des Quotients de Dangers (QD) et des Excès de Risques Individuels (ERI)

On calcul les valeurs de veille sanitaire en inversant le calcul de risque sanitaire. On peut les calculer à partir des quotients de danger et des excès de risques individuels. Puis on sélectionne la valeur la plus pénalisante.

- A partir des QD :

$$QD = \frac{DJE}{DJA} \times Fp$$

$$= \frac{(C_{eau} Q_{eau} + C_{sol} Q_{sol} + C_{viande} Q_{viande} + C_{lait} Q_{lait})}{p \times DJA} T \times Fp$$

$$= \frac{\{C_{eau} Q_{eau} + C_{sol} Q_{sol} + ((Q_{viande} Ba_{viande} + Q_{lait} Ba_{lait})) (C_{plante} Q_{plante} + C_{eau} Q_{eau} B_{eau} + C_{sol} Q_{sol} B_{sol}) \times MeF\}}{p \times DJA} T \times Fp$$

En considérant que l'eau est le compartiment principal de la pollution et en négligeant les autres,

En prenant $MeF=B_{eau}=B_{sol}=1$

On a :

$$QD = \frac{\{C_{eau} Q_{eau} (1 + Q_{viande} Ba_{viande} + Q_{lait} Ba_{lait})\}}{p \times DJA} T \times Fp$$

$$QD \geq 1 \Leftrightarrow \frac{\{C_{eau} Q_{eau} (1 + Q_{viande} Ba_{viande} + Q_{lait} Ba_{lait})\}}{p \times DJA} T \times Fp \geq 1$$

$$\Leftrightarrow C_{eau} \geq \frac{p \times DJA}{\{Q_{eau} (1 + Q_{viande} Ba_{viande} + Q_{lait} Ba_{lait})\} T \times Fp}$$

- A partir des ERI :

$$ERI = DJE \times ERU \times Fp \frac{T}{Tp}$$

Avec les hypothèses précédentes on a :

$$ERI = \frac{T \times Fp \times ERU}{Tp} \times \frac{\{C_{eau} Q_{eau} (1 + Q_{viande} Ba_{viande} + Q_{lait} Ba_{lait})\}}{p}$$

$$ERI \geq 10^{-5} \Leftrightarrow \frac{T \times Fp \times ERU}{Tp} \times \frac{\{C_{eau} Q_{eau} (1 + Q_{viande} Ba_{viande} + Q_{lait} Ba_{lait})\}}{p} \geq 10^{-5}$$

$$\Leftrightarrow C_{eau} \geq \frac{10^{-5} \times Tp \times p}{T \times Fp \times ERU \times Q_{eau} (1 + Q_{viande} Ba_{viande} + Q_{lait} Ba_{lait})}$$

Annexe 12 : Equations des valeurs de veille sanitaire

Substance	C limite_QD =1				C limite_ERI >E-4				C veille sanitaire recommandées	C réglementaires			
	µg/l				µg/l					µg/l			
	enfant		adulte		enfant		adulte			Limite	EDCH		brute
	moy	max	moy	max	moy	max	moy	max			Limite	Référence	
Al	33964	23613	53832	39834					20000		200		
As	10	7	16	12	2,26	1,57	3,59	2,66	5	10		100	
Be	68	47	108	80					50				
Bromates	134	92	212	154	4,78	3,29	7,58	5,48	5	10			
Cd	17	12	27	20					10	5		5	
Cr	102	71	161	119	8,08	5,61	12,80	9,45	10	50		50	
Cu	4746	3296	7522	5554					3500	2000	1000		
Fe	27108	18822	43548	31717					20000		200		
F-	1695	1178	2762	1985					1200	1500			
Hg	68	47	112	79					50	1		1	
Mn	1563	1087	2615	1833					1000		50		
Mo	170	118	269	199					120				
Ni	679	471	1075	795					500	20			
Pb	119	83	188	139	3996,27	2778,54	6334,10	4687,47	80	10		50	
Se	169	117	268	197					120	10		10	
U	68	47	108	80					50				
V	102	71	161	120					70				
Zn	10192	7087	16154	11958					7000			5000	
NO2-	3372	2334	5346	3914					2500	500			
NO3-	53947	37347	85540	62622					40000	50000		100000	

Valeurs réglementaires plus restrictives

Annexe 13 : Tableau de proposition de concentration utilisable pour de la veille sanitaire (µg/l) - les valeurs retenues à partir des ERI l'ont été pour des ERI de 10⁻⁴. A titre de comparaison les valeurs réglementaires des eaux destinées à la consommation humaine et des eaux brutes avant traitement sont fournies.

Annexe 14 : Présentation des résultats d'analyses des prélèvements d'eau, de sol, de plante et d'air

Eau

Paramètres			ERS_EC_4_MS	ERS_EQ_6_MS	ERS_EBV_21_TN chaude	ERS_EBV_22_TN froide	ERS_EC_2_TN	ERS_EU_7_M S	ERS_EU_1_TN	ERS_EP_20_T S	ERS_EU_19_T N	ERS_EQ_10_M S	ERS_EU_18_M S	ERS_EU_9_MS	ERS_EI_8_MS	ERS_EQ_9_MS	ERS_EU_3_MS	ERS_EQ_16_MS	ERS_EQ_17_MS	ERS_EU_13_TS	ERS_EU_12_TS	ERS_EU_11_MS	ERS_EU_14_TS	ERS_EU_15_TS	
			MS_1C	MSQ_V_731	Torkkuduk BV 2 (chaude)	Torkkuduk BV 1 (froide)	TNC_V_811	288 (M7)	248 (T15)	Puits 2 (P2)	3 arbres (3A-T17)	MSQ_N_04	MSQ_N_B_03	MSU_N_24 aval	MSI_N_09	MSQ_N_06	MSU_N15	MSQ_N_25	MSQ_N_B_01	TSU_N_29 amont	TSU_N_27 aval	MSU_N_14_2 amont	TSU_N_14	TSU_N11_2	
Paramètres organoleptiques	Turbidité	mg/l (kaolin)	0	0	0,5	0	0	1,5	0,5	1	1,5			0	0	2	0	32,5	12	1	0	1	5	2	
	Couleur	°	0	0	5	0	30	0	0	5	0			0	0	0	0	5	0	0	0	0	0	0	
Analyse physicochimique	pH	unité Ph	8	8,2	8,05	7,9	8,25	8	7,9	8,05	8,2		7,85	8,1	8	8,15	3,25	8,35	8,35	8,4	8	8	8	8	
	dureté totale	mmol/l	5,75	4,2	4,9	5,2	5,8	4,8	5,9	4,4	4,3		4,25	4,1	4,7	4,9	4	2,55	3	5,9	5,45	4,15	6,3	5,85	
	Oxydabilité KMnO4 en milieu acide	mg/l O2	0,96	0,32	2	0,8	0,72	0,56	0,8	1,28	0,8		0,72	0,8	0,88	0,72	0,8	0,96	1,26	0,72	0,88	1,04	0,88	0,72	
	Fe total	µg/l	n.o. (100)	n.o. (100)	n.o. (100)	n.o. (100)	n.o. (100)	n.o. (100)	n.o. (100)	n.o. (100)	n.o. (100)			n.o. (100)	n.o. (100)	n.o. (100)	n.o. (100)	n.o. (100)	n.o. (100)	n.o. (100)	n.o. (100)	n.o. (100)	n.o. (100)	n.o. (100)	n.o. (100)
résidu sec à 180°C	mg/l	1640	636	674	658	702	496	714	792	620	502	1700	436	496	666	612	1020	702	668	642	662	642	662	642	
Cations	Ca2+	mg/l	64,1	56,1	54,1	50,1	60,1	68,1	62,1	44,0	42,0	50,1	78	56,1	58,1	60,1	52,1	25,0	32,0	62,1	63,1	56,1	69,1	64,1	
	Mg2+	mg/l	31,0	17,0	26,8	32,8	34,0	26,8	34,0	26,8	26,8	21,3	34	15,8	21,9	23,1	17,0	15,8	17,0	34,0	28,0	16,4	34,7	32,2	
	NH4+	mg/l	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	
	Na+	mg/l	500,0	140,0	140,0	120,0	135,0	80,0	135,0	180,0	150,0	95,0	75,0	85,0	135,0	130,0	75,0	330,0	185,0	115,0	115,0	70,0	105,0	110,0	
	K+	mg/l	4,7	1,8	2,8	2,7	3,7	2,8	3,8	7,4	3,5	2,0	2,4	3,1	1,9	2,3	2,2	2,7	4,0	3,9	2,5	4,0	3,9	4,0	
Anions	CO32-	mg/l	8,0	12,0	n.o.	n.o.	12,0	3,0	n.o.	15,0	3,0	n.o.	15,0	9,0	9,0	15,0	18,0	18,0	18,0	18,0	3,0	3,0	3,0	3,0	
	HCO3-	mg/l	195,3	180,0	119,0	109,8	173,9	219,7	192,2	140,3	161,7	189,2	213,8	186,1	189,2	323,4	262,4	152,5	164,8	229,8	152,5	155,6	170,9	170,9	
	Cl-	mg/l	656,0	56,7	189,7	177,3	133,0	78,0	134,7	145,4	136,5	37,2	52	56,7	81,6	60,3	134,7	102,8	39,0	129,4	145,4	49,6	148,9	138,3	
	SO4-	mg/l	247,4	238,3	174,1	168,8	226,8	138,7	226,8	286,5	175,3	189,3	840	124,7	144,1	263,0	116,5	360,2	258,1	213,6	186,5	92,6	189,7	187,3	
	NO2-	mg/l	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	0,02	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
Indicateur de radioactivité	rad alpha	Bq/l	0,047	0,085	n.o. (0,01)	0,029	0,064	0,054	0,061	0,03	0,078	0,064	5,006	n.o. (0,01)	0,079	1,11	0,054	n.o. (0,01)	2,173	8,647	4,245	0,072	1,367		
	rad beta	Bq/l	0,7	0,33	0,29	0,29	0,13	0,1	0,2	0,44	0,14	n.o. (0,1)	1	n.o. (0,1)	0,02	0,05	0,1	0,12	0,33	0,95	0,07	0,42	0,4		
Micropolluants organiques	hydrocarbure totaux	µg/l	n.o. (50)	n.o. (50)	n.o. (50)	n.o. (50)	n.o. (50)	n.o. (50)	n.o. (50)	n.o. (50)	n.o. (50)	n.o. (50)	n.o. (50)	n.o. (50)	n.o. (50)	n.o. (50)	n.o. (50)	n.o. (50)	n.o. (50)	n.o. (50)	n.o. (50)	n.o. (50)	n.o. (50)	n.o. (50)	
	As	µg/l	5	n.o. (5)	n.o. (5)	n.o. (5)	5	n.o. (5)	n.o. (5)	n.o. (5)	n.o. (5)	n.o. (5)	n.o. (5)	n.o. (5)	n.o. (5)	n.o. (5)	5	5	5	5	5	5	5	5	
micropolluants minéraux	Al3+	µg/l	n.o. (40)	n.o. (40)	n.o. (40)	n.o. (40)	n.o. (40)	n.o. (40)	n.o. (40)	n.o. (40)	n.o. (40)	n.o. (40)	<50	n.o. (40)	n.o. (40)	n.o. (40)	n.o. (40)	n.o. (40)	n.o. (40)	n.o. (40)	n.o. (40)	n.o. (40)	n.o. (40)	n.o. (40)	
	Be2+	µg/l	n.o. (0,05)	n.o. (0,05)	n.o. (0,05)	n.o. (0,05)	n.o. (0,05)	n.o. (0,05)	n.o. (0,05)	n.o. (0,05)	n.o. (0,05)	n.o. (0,05)	n.o. (0,05)	n.o. (0,05)	n.o. (0,05)	n.o. (0,05)	n.o. (0,05)	n.o. (0,05)	n.o. (0,05)	n.o. (0,05)	n.o. (0,05)	n.o. (0,05)	n.o. (0,05)	n.o. (0,05)	
	Bromates	µg/l																							
	Cd	µg/l	1	0,8	1,3	1,3	1,3	1	1,3	1,3	1,6	1	1	3	1	0,8	1,2	0,9	0,7	1	1	1	1,5	1,5	
	Cr total	µg/l	10	10	8	10	7	6	7	20	9	10	6	10	6	7	5	5	5	5	5	5	5	5	5
	Cu	mg/l	n.o. (0,05)	n.o. (0,05)	n.o. (0,05)	n.o. (0,05)	n.o. (0,05)	n.o. (0,05)	n.o. (0,05)	n.o. (0,05)	n.o. (0,05)	n.o. (0,05)	n.o. (0,05)	n.o. (0,05)	n.o. (0,05)	n.o. (0,05)	n.o. (0,05)	n.o. (0,05)	n.o. (0,05)	n.o. (0,05)	n.o. (0,05)	n.o. (0,05)	n.o. (0,05)	n.o. (0,05)	n.o. (0,05)
	Fluorure F-	mg/l	0,38	2,68	0,19	0,19	0,38	0,32	0,38	1,35	0,43	1,47	0,29	0,32	2,62	0,29	10,44	3,23	0,35	0,38	0,38	0,45	0,38	0,38	
	Hg	µg/l	n.o. (0,2)	n.o. (0,2)	n.o. (0,2)	n.o. (0,2)	n.o. (0,2)	n.o. (0,2)	n.o. (0,2)	n.o. (0,2)	n.o. (0,2)	n.o. (0,2)	n.o. (0,2)	n.o. (0,2)	n.o. (0,2)	n.o. (0,2)	n.o. (0,2)	n.o. (0,2)	n.o. (0,2)	n.o. (0,2)	n.o. (0,2)	n.o. (0,2)	n.o. (0,2)	n.o. (0,2)	n.o. (0,2)
	Mn	µg/l	n.o. (50)	n.o. (50)	n.o. (50)	n.o. (50)	n.o. (50)	n.o. (50)	n.o. (50)	n.o. (50)	n.o. (50)	53	n.o. (50)	85	n.o. (50)	n.o. (50)	n.o. (50)	n.o. (50)	n.o. (50)	n.o. (50)	n.o. (50)	n.o. (50)	n.o. (50)	n.o. (50)	n.o. (50)
	Mo	µg/l	2,5	15	n.o. (2,5)	2,5	2,5	2,3	2,5	2,5	2,5	n.o. (2,5)	n.o. (2,5)	n.o. (2,5)	n.o. (2,5)	10	n.o. (2,5)	40	2,5	2,5	2,5	n.o. (2,5)	5	n.o. (2,5)	
	Ni total	µg/l	10	3	10	7	7	7	7	10	4	10	10	7	3	6	7	7	7	7	7	5	3	5	5
	Pb	µg/l	10	5	10	10	10	10	10	7	10	10	10	10	6	10	10	20	10	7	7	7	7	10	10
	Se	µg/l	1	0,2	3	3,5	5	n.o. (0,1)	5	1,5	0,1	1			n.o. (0,1)	n.o. (0,1)	1	n.o. (0,1)	2	0,4	n.o. (0,1)	n.o. (0,1)	n.o. (0,1)	n.o. (0,1)	n.o. (0,1)
	U	µg/l																							
	V	µg/l																							
Zn	mg/l	n.o. (0,05)	n.o. (0,05)	n.o. (0,05)	n.o. (0,05)	n.o. (0,05)	0,08	n.o. (0,05)	n.o. (0,05)	n.o. (0,05)	n.o. (0,05)	n.o. (0,05)	<1000	n.o. (0,05)	n.o. (0,05)	n.o. (0,05)	0,08	n.o. (0,05)	n.o. (0,05)	n.o. (0,05)	n.o. (0,05)	n.o. (0,05)	n.o. (0,05)	n.o. (0,05)	
Commentaires													Labo Katco												
Population Cible				Personnel base vie					Fermier					Hypothétique					E0_ERS_KATCO						

Paramètres			ERS_P_1_MS	ERS_P_5_TS	ERS_P_2_MS	ERS_P_3_TN	ERS_P_4_MS	ERS_P_6_TS
			anc forage exploration	forage prod 020709A	forage prod 030204A3	248 (T15)	288 (M7)	proche TSU_N_14
micropolluants minéraux	As	µg/kg MS						
	Al	µg/kg MS						
	Be	µg/kg MS						
	Bromates	µg/kg MS						
	Cd	µg/kg MS		230	200		60	
	Cr	µg/kg MS						
	Cu	µg/kg MS	5900	2600	400	450	450	18300
	Fluorure F-	µg/kg MS						
	Hg	µg/kg MS						
	Mo	µg/kg MS						
	Ni	µg/kg MS						
	Pb	µg/kg MS	80	300	40	6	30	350
	Se	µg/kg MS						
	U	µg/kg MS						
V	µg/kg MS							
Zn	µg/kg MS	1100						
Commentaires								
Population Cible			Hypothétique			Fermier		E0_ERS_KATCO

N°Echantillon	NO2 (µg/m3)	SO2 (µg/m3)
ERS_A_0_MS	< 1	< 1
ERS_A_1_TS	< 1	< 1
ERS_A_2_TS	< 1	< 1
ERS_A_3_TS	< 1	< 1
ERS_A_4_TS	< 1	< 1
ERS_A_5_TS	< 1	-
ERS_A_6_TS	< 1	-

Air

Paramètres			ERS_S_1_MS	ERS_S_6_TS	ERS_S_2_MS	ERS_S_4_TN	ERS_S_5_MS	ERS_S_7_TS
			anc forage exploration	forage prod 020709A	forage prod 030204A3	248 (T15)	288 (M7)	proche TSU_N_14
micropolluants minéraux	As	µg/kg MS						
	Al	µg/kg MS						
	Be	µg/kg MS						
	Bromates	µg/kg MS						
	Cd	µg/kg MS		230	200		60	
	Cr	µg/kg MS						
	Cu	µg/kg MS	5900	2600	400	450	450	18300
	Fluorure F-	µg/kg MS						
	Hg	µg/kg MS						
	Mo	µg/kg MS						
	Ni	µg/kg MS						
	Pb	µg/kg MS	80	300	40	6	30	350
	Se	µg/kg MS						
	U	µg/kg MS						
V	µg/kg MS							
Zn	µg/kg MS	1100						
Commentaires								
Population Cible			Hypothétique			Fermier		E0_ERS_KATCO

N°fiche	Date	Interlocuteur	Population cible
ERS_Q_1	20/06/2009	1er Médecin Tortkuduk	Total travailleur
ERS_Q_2	21/06/2009	Responsable SODEXHO	Personnel Base Vie
ERS_Q_3	21/06/2009	Médecin Muyunkum	Total travailleur
ERS_Q_4	22/06/2009	Médecin en chef Tokent	Fermiers
ERS_Q_5	juin-juillet/2009	Recueil de témoignage	Fermiers
ERS_Q_6	29/06/2009	2nd Médecin Tortkuduk	Total travailleur
ERS_Q_7	03/07/2009	habitant hivernage	Fermiers

Annexe 15 : Fiches de l'enquête environnementale ERS_Questionnaire



Evaluation des Risques Sanitaires KATCO

Fiche enquête environnementale

N° identifiant ERS
Population Cible
Date

ERS_Q_1
Personnel Bave Vie
20/06/2009



temps - lieu - personne - information

Pratiques

Elevage	Où, sur place	
	Trajectoire/durée	
	troupeau	
	Mois/ans	
	Années/vie	
Culture	Remarques	
	Où, sur place	
Présence	Quels végétaux	
	Remarques	
	Où, sur place	
	Mois/ans	
Eau	Années/vie	
	Remarques	
	Consommation	
	Irrigation	
	Domestique	
	Autre...	

Habitudes alimentaires

Provenance des denrées	Eau	
	Légumes et fruits	
	Viandes	
Fréquence de consommation des produits locaux	Eau	
	Légumes et fruits viandes	
	Remarques (goût, odeur...)	

Epidémiologie

Hommes	Maladie fréquente	Ne sais pas
	Maladie très représentée	Ne sais pas
Bêtes	Maladie fréquente	
	Maladie très représentée	

Commentaires

<p>Elle est là depuis 3 jours. Elle ne dispose pas d'information, elle n'est pas spécialement qualifiée pour avoir ces informations (gère les accidents).</p>	<p>Interlocuteur : Médecin de Tortkuduk</p>
---	---



Evaluation des Risques Sanitaires KATCO

Fiche enquête environnementale

N° identifiant ERS
Population Cible
Date

ERS_Q_2
Personnel Bave Vie
21/06/2009



temps - lieu - personne - information

Pratiques

Elevage	Où, sur place	
	Trajectoire/durée	
	troupeau	
	Mois/ans	
	Années/vie	/
Culture	Remarques	
	Où, sur place	
	Quels végétaux	
Présence	Remarques	
	Où, sur place	Base vie + tortkuduk building
	Mois/ans	Toute l'année, rotation 1/2 2/2
	Années/vie	(surtout) 3/1, 24/24 7/7, toute la
Eau	Remarques	vie professionnelle possible
	Consommation	Non
	Irrigation	Non
	Domestique	Oui, lavage couvert et linge
	Autre...	cuisinne eau minérale, rinçage anti Bactérien

Habitudes alimentaires

Provenance des denrées	Eau	
	Légumes et fruits	
	Viandes	
Fréquence de consommation des produits locaux	Eau	Importation de Tokent, Shimkent, Almaty, toutes les semaines
	Légumes et fruits viandes	
	Remarques (goût, odeur...)	

Epidémiologie

Hommes	Maladie fréquente	
	Maladie très représentée	
Bêtes	Maladie fréquente	
	Maladie très représentée	

Commentaires

Interlocuteur Jafarulla Khan, Responsable SODEXHO Pas projet de jardin, analyse eau 3/mois : pas notable... Personnel représente 135 personnes.	Base Vie capacité : 550, repas du midi 70 Tortkuduk (phénix) : 49, repas midi 400 Muyunkum : 166, repas midi 210
--	--



Evaluation des Risques Sanitaires KATCO Fiche enquête environnementale



N° identifiant ERS
Population Cible
Date

ERS_Q_3
Total travailleurs !
21/06/2009

temps - lieu - personne - information

Pratiques

Elevage	Où, sur place	
	Trajectoire/durée	
	troupeau	
	Mois/ans	
	Années/vie	/
	Remarques	
Culture	Où, sur place	
	Quels végétaux	
	Remarques	
Présence	Où, sur place	
	Mois/ans	
	Années/vie	
	Remarques	
Eau	Consommation	Non
	Irrigation	
	Domestique	Oui, lavage couvert et linge
	Autre...	

Habitudes alimentaires

Provenance des denrées	Eau	
	Légumes et fruits	
	Viandes	
Fréquence de consommation des produits locaux	Eau	
	Légumes et fruits viandes	
	Remarques (goût, odeur...)	

Epidémiologie

Hommes	Maladie fréquente	Diarrhée et rhume
	Maladie très représentée	
Bêtes	Maladie fréquente	
	Maladie très représentée	

Commentaires

Interlocuteur Docteur Muyunkum Sud Maladie liées aux saisons, ne fait pas examen complet → accidents et autres soucis, pathologies graves rares et différentes	Été : estomac et diarrhée Hivers : rhume Hypertension : tension plus élevée à MS qu'à T, altitude ?
--	---



Evaluation des Risques Sanitaires KATCO Fiche enquête environnementale

N° identifiant ERS
Population Cible
Date

ERS_Q_4
Bergers nomades
22/06/2009



temps - lieu - personne - information

Pratiques

Elevage	Où, sur place	
	Trajectoire/durée	
	troupeau	
	Mois/ans	
	Années/vie	
Culture	Remarques	
	Où, sur place	
	Quels végétaux	
Présence	Remarques	
	Où, sur place	
	Mois/ans	
	Années/vie	
Eau	Remarques	
	Consommation	
	Irrigation	
	Domestique	
	Autre...	

Habitudes alimentaires

Provenance des denrées	Eau	
	Légumes et fruits	
	Viandes	
Fréquence de consommation des produits locaux	Eau	
	Légumes et fruits viandes	
	Remarques (goût, odeur...)	

Epidémiologie

Hommes	Maladie fréquente	1 – hypertension – maladie cardiovasculaire 2 – traumatisme 3 – intoxication alimentaire
	Maladie très représentée	
Bêtes	Maladie fréquente	
	Maladie très représentée	

Commentaires

Interlocuteur Médecin en chef de l'Hôpital de Tokent, il n'y a plus beaucoup de bergers depuis la fin de l'ancien système soviétique (kolkhoze...)	Conversation téléphonique
--	---------------------------



Evaluation des Risques Sanitaires KATCO

Fiche enquête environnementale

N° identifiant ERS
Population Cible
Date

ERS_Q_5
Fermiers nomades
06-07/2009



temps - lieu - personne - information

Pratiques

Elevage	Où, sur place	Ils s'aventurent jusqu'aux
	Trajectoire/durée	abords des champs de puits
	troupeau	Chèvre, chevaux, dromadaires
	Mois/ans	6 mois/ an (printemps/automne)
	Années/vie	Toute une vie
	Remarques	Se servent même des piézos
Culture	Où, sur place	Possible à proximité puits arté
	Quels végétaux	?
	Remarques	
Présence	Où, sur place	Mêmes remarques
	Mois/ans	
	Années/vie	
	Remarques	
Eau	Consommation	Oui
	Irrigation	Possible
	Domestique	Oui
	Autre...	

Habitudes alimentaires

Provenance des denrées	Eau	Viandes et eaux sont locales
	Légumes et fruits	
	Viandes	
Fréquence de consommation des produits locaux	Eau	
	Légumes et fruits viandes	
	Remarques (goût, odeur...)	

Epidémiologie

Hommes	Maladie fréquente	
	Maladie très représentée	
Bêtes	Maladie fréquente	
	Maladie très représentée	

Commentaires

Les puits artisanaux seraient dans des états déplorables (pratiques des fermiers), les troupeaux sont très importants.

Informations recueillies auprès de différentes personnes sur les sites KATCO



Evaluation des Risques Sanitaires KATCO Fiche enquête environnementale

N° identifiant ERS
Population Cible
Date

ERS_Q_6
Total travailleurs
29/06/2009



temps - lieu - personne - information

Pratiques

Elevage	Où, sur place	
	Trajectoire/durée	
	troupeau	
	Mois/ans	
	Années/vie	
Culture	Où, sur place	
	Quels végétaux	
Présence	Remarques	
	Où, sur place	
	Mois/ans	
	Années/vie	
Eau	Remarques	
	Consommation	
	Irrigation	
	Domestique	
	Autre...	

Habitudes alimentaires

Provenance des denrées	Eau	
	Légumes et fruits	
	Viandes	
Fréquence de consommation des produits locaux	Eau	
	Légumes et fruits viandes	
	Remarques (goût, odeur...)	

Epidémiologie

Hommes	Maladie fréquente	Symptôme cutané rencontré plusieurs fois (allergies ?) chez personne de SODEXHO), en été
	Maladie très représentée	
Bêtes	Maladie fréquente	
	Maladie très représentée	

Commentaires

Interlocuteur Docteur Tortkuduk Kumisbek	Pas de maladies professionnelles rencontrées si ce n'est les difficultés des chauffeurs
--	---



Evaluation des Risques Sanitaires KATCO

Fiche enquête environnementale

N° identifiant ERS
Population Cible
Date

ERS_Q_7
Fermiers
03/07/2009



temps - lieu - personne - information

Pratiques

Elevage	Où, sur place	Sur site, restent dans leurs zones d'hivernage. Partent au Nord sinon
	Trajectoire/durée	
	troupeau	Moutons, chameaux, chevaux
	Mois/ans	300 à 500 bêtes
	Années/vie	Toute la vie
Culture	Où, sur place	Non, les fermiers ne cultivent pas, seuls de très rares habitants testent des cultures (concombre)
	Quels végétaux	
	Remarques	
Présence	Où, sur place	D'octobre à avril-mai
	Mois/ans	7 à 8 mois / an
	Années/vie	
	Remarques	
Eau	Consommation	Oui, exclusivement
	Irrigation	Non
	Domestique	Oui
	Autre...	Troupeau

Habitudes alimentaires

Provenance des denrées	Eau	Sur place, celle des puits
	Légumes et fruits	Importé de Shimkent, turdjikistan...
	Viandes	Locale, troupeau
Fréquence de consommation des produits locaux	Eau	Tout le temps
	Légumes et fruits viandes	Tout le temps (viande)
	Remarques (goût, odeur...)	Eau salée mais habitude

Epidémiologie

Hommes	Maladie fréquente	Pas de remarques particulières, n'en parle pas vraiment, symptômes courants
	Maladie très représentée	
Bêtes	Maladie fréquente	
	Maladie très représentée	

Commentaires

Interlocuteur habitant d'un hivernage, beau frère d'un fermier. Il vit là depuis 6 mois, consomme l'eau sans problèmes de santé ressentis	Les fermiers sont nombreux, il y en a dix dans le secteur du forage des trois arbres (environ une 100aines en tout ?)
---	---

Remarques

Les fermiers se déplacent à cheval autour de leur troupeau mais ils se déplacent en voiture sinon.

Il y a toujours un puits par zone d'hivernage.

Une ferme qui n'a pas servi depuis longtemps peut resservir. Ils nettoient la zone et ils désinfectent les bâtiments et le puits avec du chlore.

Il n'y a plus de création de nouveaux puits (compliqué et cher à mettre en œuvre).

L'eau stagnante des puits n'est pas évacuée avant l'utilisation d'un puits (mauvaise traduction ? peut vouloir dire qu'à chaque utilisation il n'y a pas renouvellement de l'eau du puits ?)

La qualité de l'eau serait très influencée par les tuyaux des forages.

Les fermiers sont en général Kazakhs (quelques rares Turdjikistanais)

Compartiment	Date	Lieu	N°Fiche
Air	18-juin	Base Vie TS	ERS_A_0_MS
	23-juin	Base Vie TS	ERS_A_1_TS
	25-juin	Base Vie TS	ERS_A_2_TS
	29-juin	Base Vie TS	ERS_A_3_TS
	02-juil	Base Vie TS	ERS_A_4_TS
	05-juil	Base Vie TS	ERS_A_5_TS
	07-juil	Base Vie TS	ERS_A_6_TS
Plante	18-juin	anc forage exploration	ERS_P_1_MS
	18-juin	forage prod 030204A3	ERS_P_2_MS
	24-juin	248 (T15)	ERS_P_3_TN
	25-juin	288 (M7)	ERS_P_4_MS
	26-juin	forage prod 020709A	ERS_P_5_TS
	27-juin	proche TSU_N_14	ERS_P_6_TS
	03-juil	3 arbres (3A-T17)	ERS_P_7_TN
	04-juil	Puits 2 (P2)	ERS_P_8_TS
	04-juil	Puits 1	ERS_P_9_TS
Sol	18-juin	anc forage exploration	ERS_S_1_MS
	18-juin	forage prod 030204A3	ERS_S_2_MS
	24-juin	248 (T15) proche	ERS_S_3_TN
	24-juin	248 (T15)	ERS_S_4_TN
	25-juin	288 (M7)	ERS_S_5_MS
	26-juin	forage prod 020709A	ERS_S_6_TS
	27-juin	proche TSU_N_14	ERS_S_7_TS
	03-juil	3 arbres (3A-T17)	ERS_S_8_TN
	04-juil	Puits 2 (P2)	ERS_S_9_TS
	04-juil	Puits 1	ERS_S_10_TS
Eau	24-juin	Base Vie TS	ERS_EBV_21_TS_chaude
	24-juin	Base Vie TS	ERS_EBV_22_TS_froide
	24-juin	TNC_V_811	ERS_EC_2_TN
	25-juin	MS_1C	ERS_EC_4_MS
	26-juin	MSI_N_09	ERS_EI_8_MS
	04-juil	Puits 2 (P2)	ERS_EP_20_TS
	26-juin	MSQ_V_731	ERS_EQ_6_MS
	26-juin	MSQ_N_06	ERS_EQ_9_MS
	26-juin	MSQ_N_04	ERS_EQ_10_MS
	27-juin	MSQ_N_25	ERS_EQ_16_MS
	27-juin	MSQ_N_B_01	ERS_EQ_17_MS
	28-juin	MSQ_N_B_03	ERS_EQ_18_MS
	24-juin	248	ERS_EU_1_TN
	25-juin	MSU_N15	ERS_EU_3_MS
	25-juin	MSU_N_24	ERS_EU_5_MS
	26-juin	288 (M7)	ERS_EU_7_MS
	26-juin	MSU_N_14_2	ERS_EU_11_MS
	26-juin	TSU_N_27	ERS_EU_12_TS
	26-juin	TSU_N_29	ERS_EU_13_TS
	27-juin	TSU_N_14	ERS_EU_14_TS
27-juin	TSU_N11_2	ERS_EU_15_TS	
03-juil	3 arbres (3A-T17)	ERS_EU_19_TN	

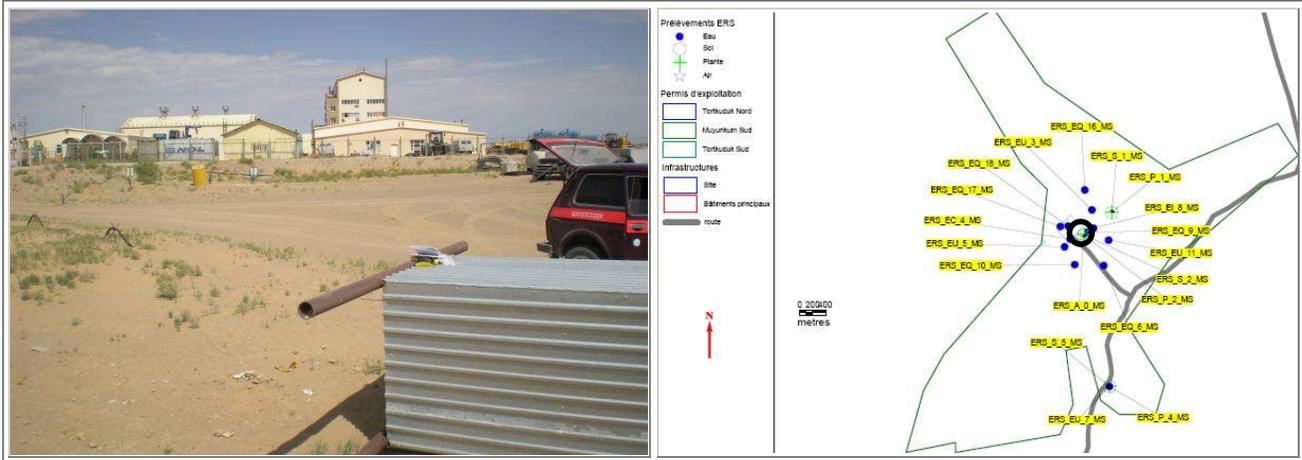
Annexe 16 : Fiches de prélèvement ERS_Eau, ERS_Sol, ERS_Plante, ERS_Air

Evaluation des Risques Sanitaires KATCO

Fiche de prélèvement



N° identifiant ERS	ERS_A_0_MS	
Lieu	Muyunkum Sud	
Coordonnées	X 116648,645	Y 123062,041
Date	21/06/2009	
Compartiment	Air	



Activités environnantes
Population cible

Champs de puits
Population hypothétique

EAU

Nature
Repère/sol
Niv piézométrique
Usage

Aspect
T°C
pH
eV

SOL

Nature
Profondeur prélevée
Usage

Aspect
Radiométrie

PLANTE

Nature
Usage

Poids
Radiométrie

AIR

Distance/infrastructure
Conditions météo.

189m / usine MS
Ensoleillé pas de vent

Temps
Direction

10 minutes
Pas de vent

Commentaires

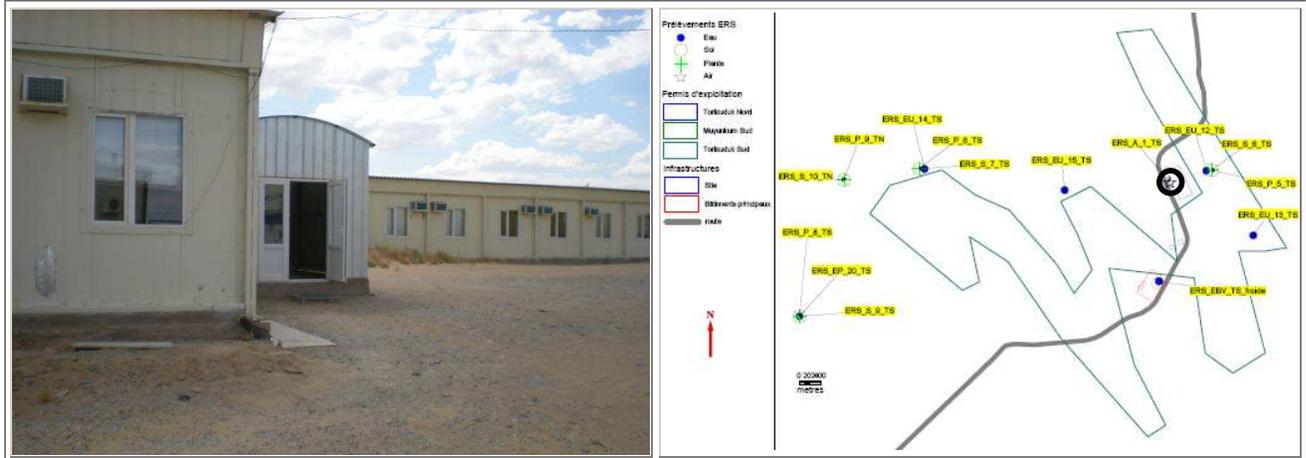
Zone ISR, à proximité des puits d'injection et de production (030204A3, 010303B, 030303A, 010303B) mélangés. 030204A3 coulée récente due au lavage du puits. NO₂ et SO₂ analysés.

Evaluation des Risques Sanitaires KATCO

Fiche de prélèvement



N° identifiant ERS	ERS_A_1_TS	
Lieu	Tortkuduk Sud	
Coordonnées	X 116648,645	Y 123062,041
Date	23/06/2009	
Compartiment	Air	



Activités environnantes
Population cible

Base Vie Tortkuduk Usine
Population Base Vie Usine (Phénix)

EAU

Nature
Repère/sol
Niv piézométrique
Usage

Aspect
T°C
pH
eV

SOL

Nature
Profondeur prélevée
Usage

Aspect
Radiométrie

PLANTE

Nature
Usage

Poids
Radiométrie

AIR

Distance/infrastructure
Conditions météo.

157m/usine T
Nuageux vent faible

Temps
Direction

10 minutes
Est

Commentaires

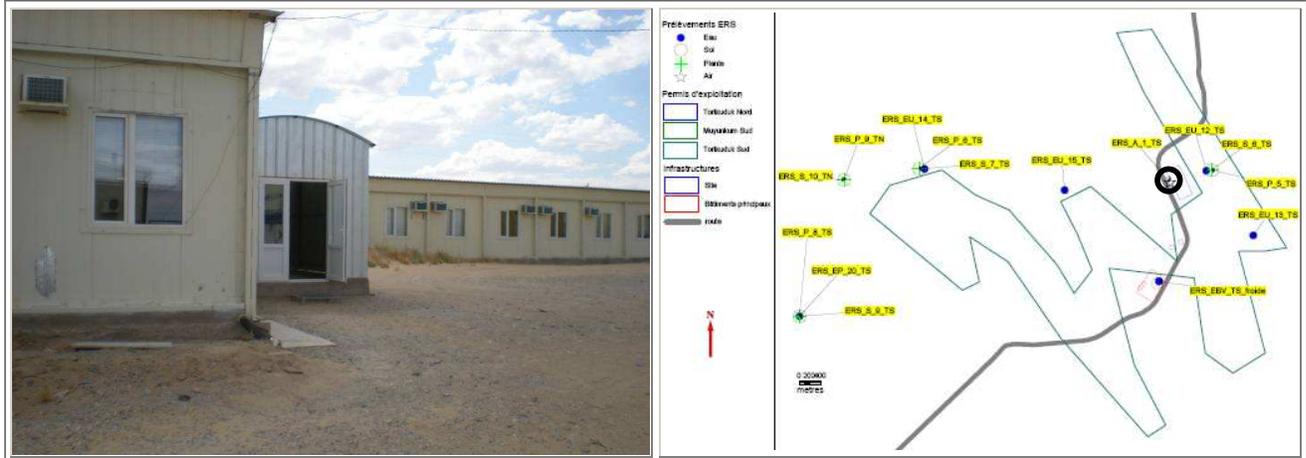
Base vie Tortkuduk utilisée par les employés de PHENIX (sécurité), située à proximité immédiate du site
NO₂ et SO₂

Evaluation des Risques Sanitaires KATCO

Fiche de prélèvement



N° identifiant ERS	ERS_A_2_TS	
Lieu	Tortkuduk Sud	
Coordonnées	X 116648,645	Y 123062,041
Date	25/06/2009	
Compartiment	Air	



Activités environnantes
Population cible

Base Vie Tortkuduk Usine
Population Base Vie Usine (Phénix)

EAU

Nature
Repère/sol
Niv piézométrique
Usage

Aspect
T°C
pH
eV

SOL

Nature
Profondeur prélevée
Usage

Aspect
Radiométrie

PLANTE

Nature
Usage

Poids
Radiométrie

AIR

Distance/infrastructure
Conditions météo.

157m/usine T
vent moyen

Temps
Direction

10 minutes
Nord

Commentaires

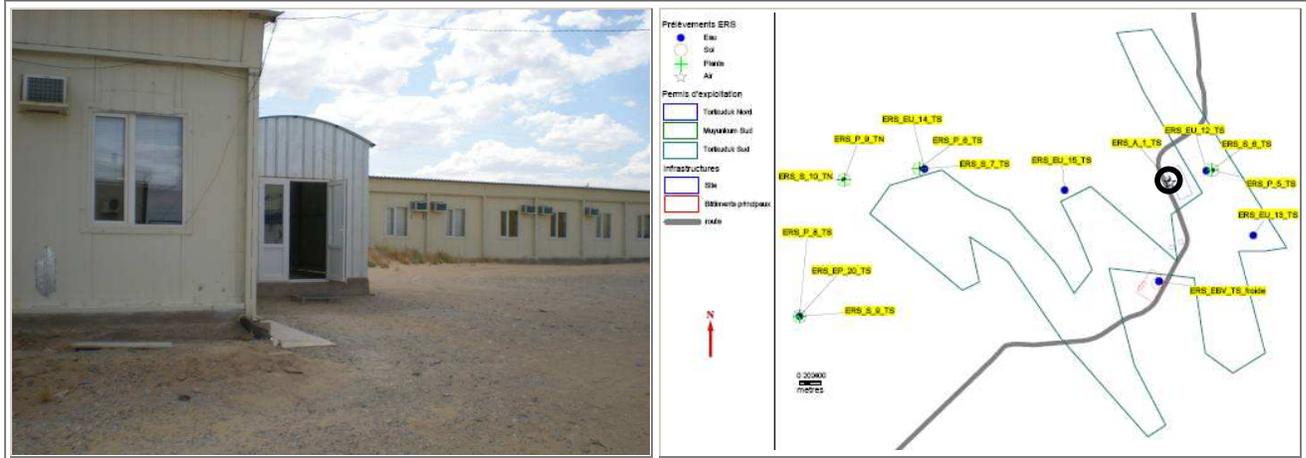
Base vie Tortkuduk utilisée par les employés de PHENIX (sécurité), située à proximité immédiate du site
NO₂ et SO₂

Evaluation des Risques Sanitaires KATCO

Fiche de prélèvement



N° identifiant ERS	ERS_A_3_TS	
Lieu	Tortkuduk Sud	
Coordonnées	X 116648,645	Y 123062,041
Date	29/06/2009	
Compartiment	Air	



Activités environnantes
Population cible

Base Vie Tortkuduk Usine
Population Base Vie Usine (Phénix)

EAU	Nature	<input type="text"/>	Aspect	<input type="text"/>	
	Repère/sol	<input type="text"/>		T°C	<input type="text"/>
	Niv piézométrique	<input type="text"/>		pH	<input type="text"/>
	Usage	<input type="text"/>		eV	<input type="text"/>

SOL	Nature	<input type="text"/>	Aspect	<input type="text"/>	
	Profondeur prélevée	<input type="text"/>		Radiométrie	<input type="text"/>
	Usage	<input type="text"/>			

PLANTE	Nature	<input type="text"/>	Poids	<input type="text"/>
	Usage	<input type="text"/>		Radiométrie

AIR	Distance/infrastructure	157m/usine T	Temps	10 minutes
	Conditions météo.	vent moyen		Direction

Commentaires

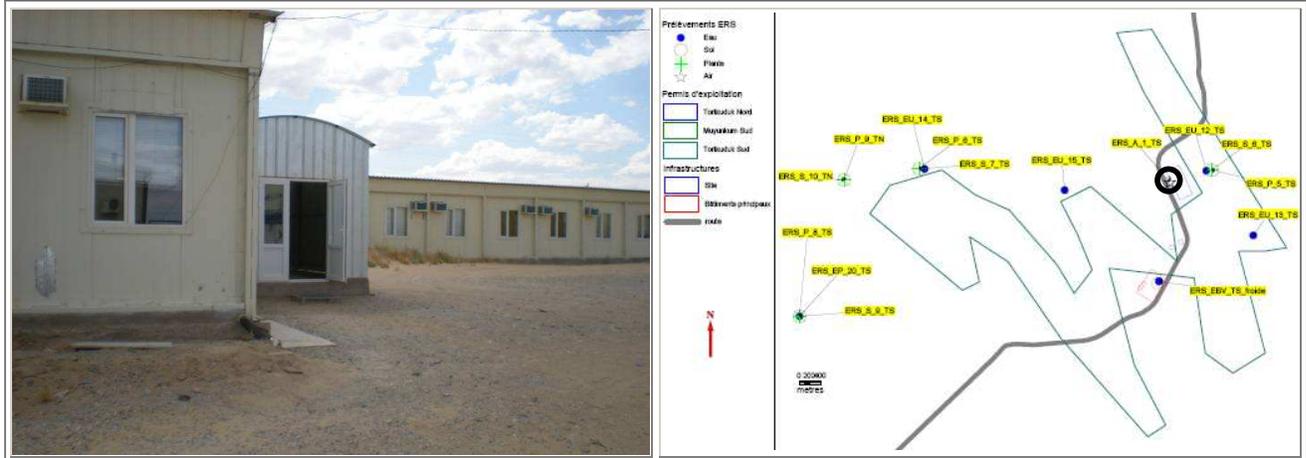
Base vie Tortkuduk utilisée par les employés de PHENIX (sécurité), située à proximité immédiate du site
NO₂ et SO₂

Evaluation des Risques Sanitaires KATCO

Fiche de prélèvement



N° identifiant ERS	ERS_A_4_TS	
Lieu	Tortkuduk Sud	
Coordonnées	X 116648,645	Y 123062,041
Date	02/07/2009	
Compartiment	Air	



Activités environnantes
Population cible

Base Vie Tortkuduk Usine
Population Base Vie Usine (Phénix)

EAU

Nature
Repère/sol
Niv piézométrique
Usage

Aspect
T°C
pH
eV

SOL

Nature
Profondeur prélevée
Usage

Aspect
Radiométrie

PLANTE

Nature
Usage

Poids
Radiométrie

AIR

Distance/infrastructure
Conditions météo.

157m/usine T
vent faible

Temps
Direction

10 minutes
Nord-Ouest

Commentaires

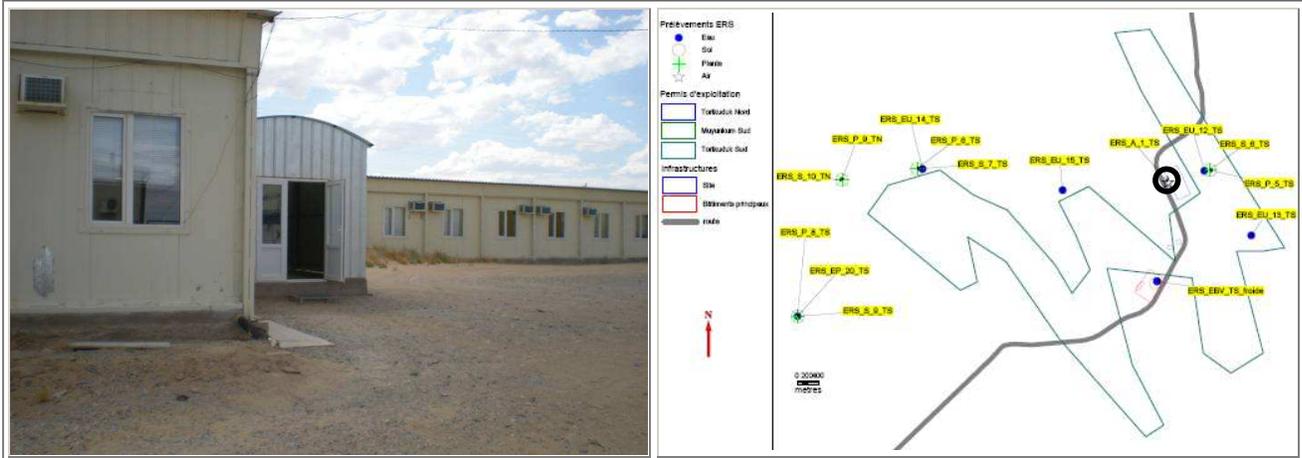
Base vie Tortkuduk utilisée par les employés de PHENIX (sécurité), située à proximité immédiate du site
NO₂ et SO₂

Evaluation des Risques Sanitaires KATCO

Fiche de prélèvement



N° identifiant ERS	ERS_A_5_TS	
Lieu	Tortkuduk Sud	
Coordonnées	X 116648,645	Y 123062,041
Date	05/07/2009	
Compartiment	Air	



Activités environnantes
Population cible

Base Vie Tortkuduk Usine
Population Base Vie Usine (Phénix)

EAU	Nature	<input type="text"/>	Aspect	<input type="text"/>	
	Repère/sol	<input type="text"/>		T°C	<input type="text"/>
	Niv piézométrique	<input type="text"/>		pH	<input type="text"/>
	Usage	<input type="text"/>		eV	<input type="text"/>

SOL	Nature	<input type="text"/>	Aspect	<input type="text"/>	
	Profondeur prélevée	<input type="text"/>		Radiométrie	<input type="text"/>
	Usage	<input type="text"/>			

PLANTE	Nature	<input type="text"/>	Poids	<input type="text"/>
	Usage	<input type="text"/>		Radiométrie

AIR	Distance/infrastructure	<input type="text" value="157m/usine T"/>	Temps	<input type="text" value="10 minutes"/>
	Conditions météo.	<input type="text" value="vent faible"/>		Direction

Commentaires

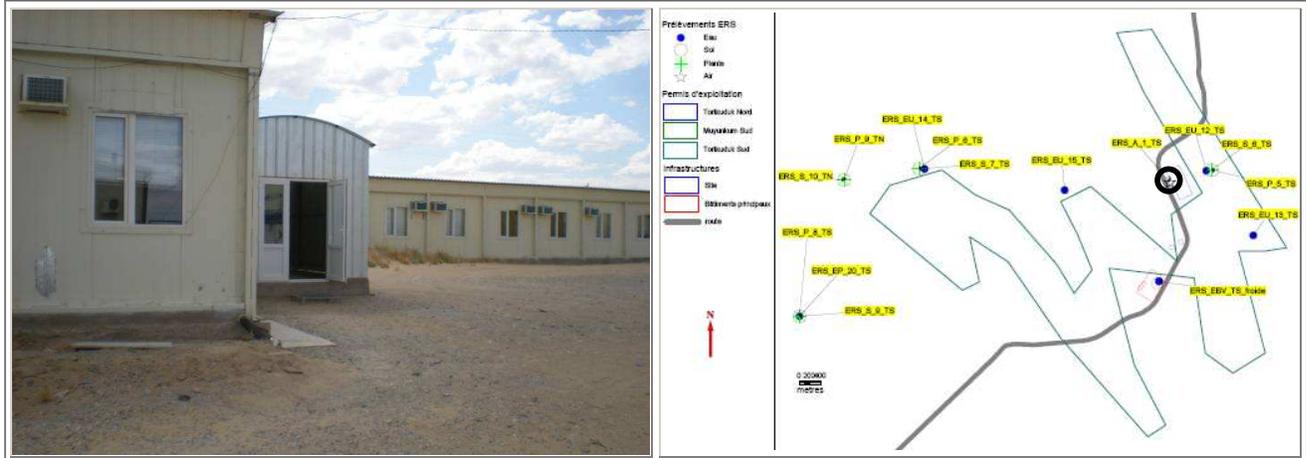
<p>Base vie Tortkuduk utilisée par les employés de PHENIX (sécurité), située à proximité immédiate du site NO₂</p>

Evaluation des Risques Sanitaires KATCO

Fiche de prélèvement



N° identifiant ERS	ERS_A_6_TS	
Lieu	Tortkuduk Sud	
Coordonnées	X 116648,645	Y 123062,041
Date	07/07/2009	
Compartiment	Air	



Activités environnantes
Population cible

Base Vie Tortkuduk Usine
Population Base Vie Usine (Phénix)

EAU

Nature
Repère/sol
Niv piézométrique
Usage

Aspect
T°C
pH
eV

SOL

Nature
Profondeur prélevée
Usage

Aspect
Radiométrie

PLANTE

Nature
Usage

Poids
Radiométrie

AIR

Distance/infrastructure
Conditions météo.

157m/usine T
vent moyen

Temps
Direction

10 minutes
Est

Commentaires

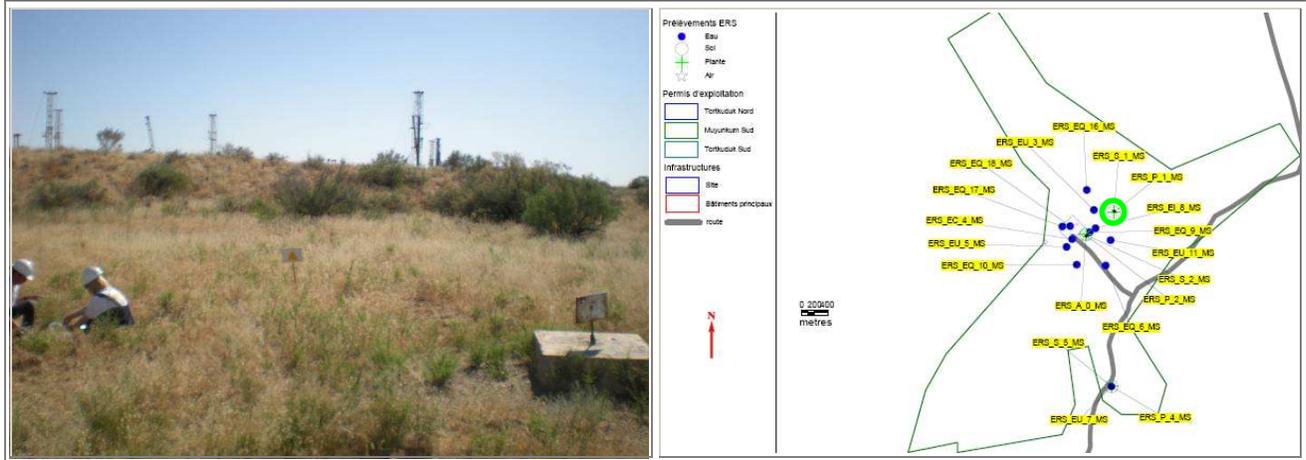
Base vie Tortkuduk utilisée par les employés de PHENIX (sécurité), située à proximité immédiate du site
NO₂

Evaluation des Risques Sanitaires KATCO

Fiche de prélèvement



N° identifiant ERS	ERS_P_1_MS	
Lieu	Muyumkum Sud	
Coordonnées	X 117075,686	Y 123406,031
Date	18/06/2009	
Compartiment	Plante	



Activités environnantes
Population cible

Proche champs de puits - anc forage exploration
Population hypothétique

EAU

Nature
Repère/sol
Niv piézométrique
Usage

Aspect
T°C
pH
eV

SOL

Nature
Profondeur prélevée
Usage

Aspect
Radiométrie

PLANTE

Nature
Usage

Végétation globale
Future zone ISR

Poids
Radiométrie

AIR

Distance/infrastructure
Conditions météo.

Temps
Direction

Commentaires

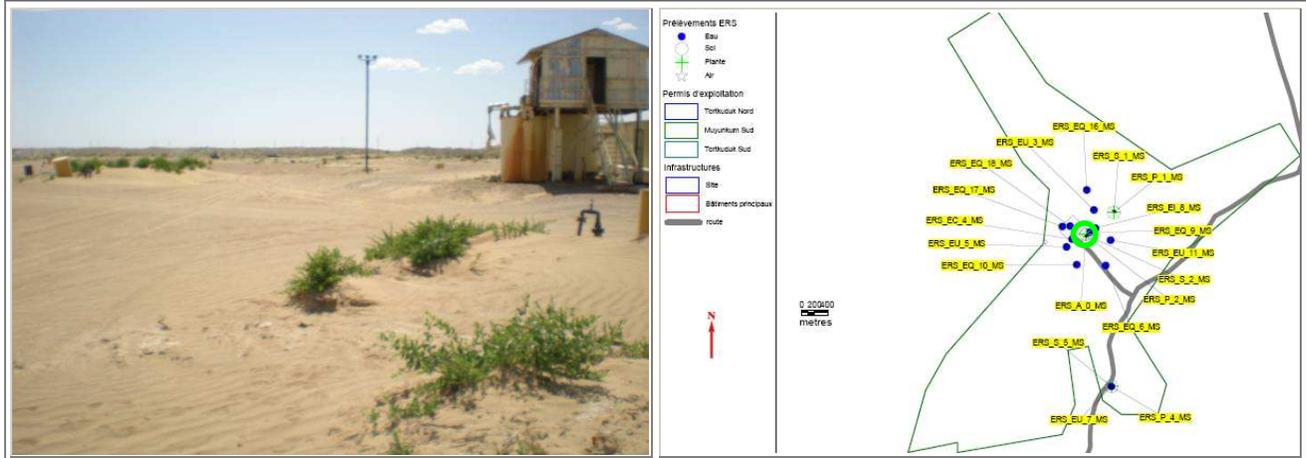
Zone à radioactivité élevée, due aux fuites lors de l'exploration. Fuite eau et/ou jus...
Point accident

Evaluation des Risques Sanitaires KATCO

Fiche de prélèvement



N° identifiant ERS	ERS_P_2_MS	
Lieu	Muyumkum Sud	
Coordonnées	X 116648,645	Y 123062,041
Date	21/06/2009	
Compartiment	Plante	



Activités environnantes
Population cible

Champs de puits - forage producteur 030204A3
Population hypothétique

EAU

Nature
Repère/sol
Niv piézométrique
Usage

Aspect
T°C
pH
eV

SOL

Nature
Profondeur prélevée
Usage

Aspect
Radiométrie

PLANTE

Nature
Usage

Ensemble plante
-

Poids
Radiométrie

AIR

Distance/infrastructure
Conditions météo.

Temps
Direction

Commentaires

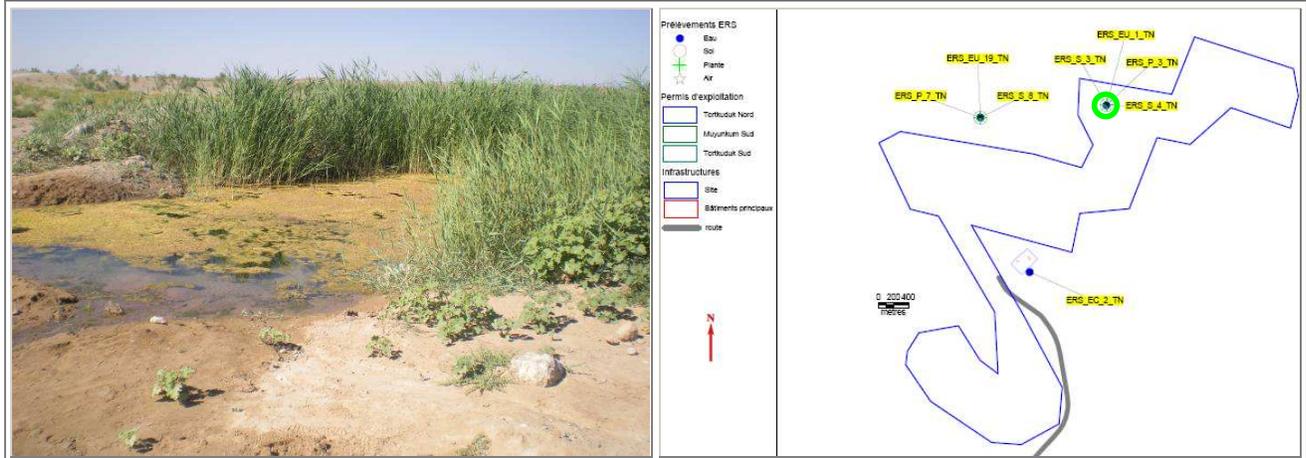
Zone ISR, prélèvements de plantes à proximité des puits d'injection et de production (030204A3, 010303B, 030303A, 010303B) mélangés. 030204A3 coulée actuelle au prélèvement de jus de production

Evaluation des Risques Sanitaires KATCO

Fiche de prélèvement



N° identifiant ERS	ERS_P_3_TN	
Lieu	Tortkuduk Nord	
Coordonnées	X 140 109,98	Y 161 075,31
Date	24/06/2009	
Compartiment	Plante	



Activités environnantes
Population cible

Milieu naturel, oasis due à l'écoulement du puits - 248 (T15)
Fermiers nomades

EAU

Nature
Repère/sol
Niv piézométrique
Usage

Aspect
T°C
pH
eV

SOL

Nature
Profondeur prélevée
Usage

Aspect
Radiométrie

PLANTE

Nature
Usage

Ensemble de plante
Pâtûre occasionelle

Poids
Radiométrie

AIR

Distance/infrastructure
Conditions météo.

Temps
Direction

Commentaires

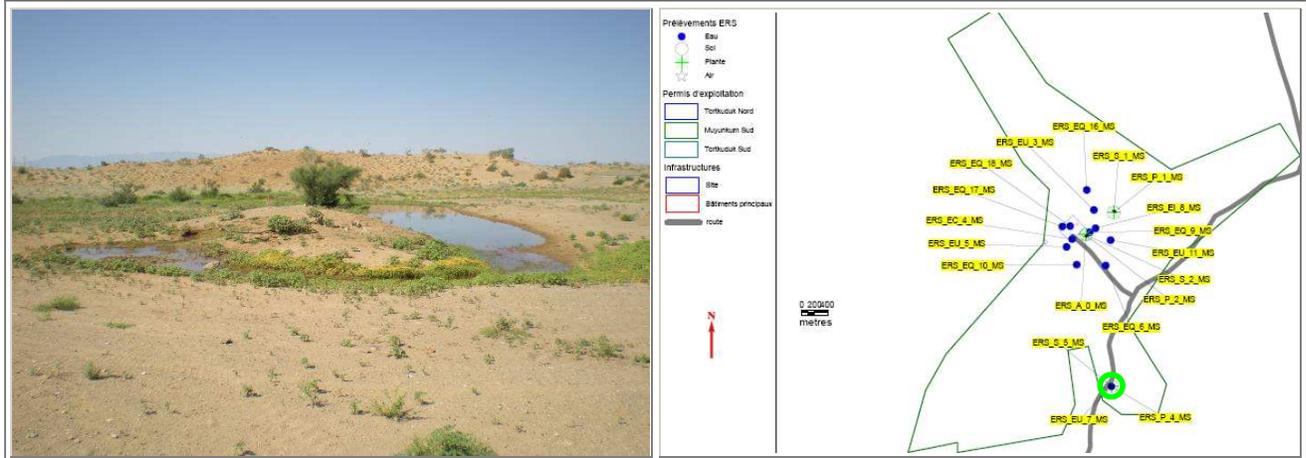
Forage d'exploration abandonné. Faune et flore riches et abondantes

Evaluation des Risques Sanitaires KATCO

Fiche de prélèvement



N° identifiant ERS	ERS_P_4_MS	
Lieu	Muyunkum Sud	
Coordonnées	X 117037,82	Y 120731,82
Date	25/06/2009	
Compartiment	Plante	



Activités environnantes
Population cible

Milieu naturel, oasis due à l'écoulement du puits - 288 (M7)
Fermiers nomades

EAU

Nature
Repère/sol
Niv piézométrique
Usage

Aspect
T°C
pH
eV

SOL

Nature
Profondeur prélevée
Usage

Aspect
Radiométrie

PLANTE

Nature
Usage

Ensemble de plante
Pature fréquente

Poids
Radiométrie

AIR

Distance/infrastructure
Conditions météo.

Temps
Direction

Commentaires

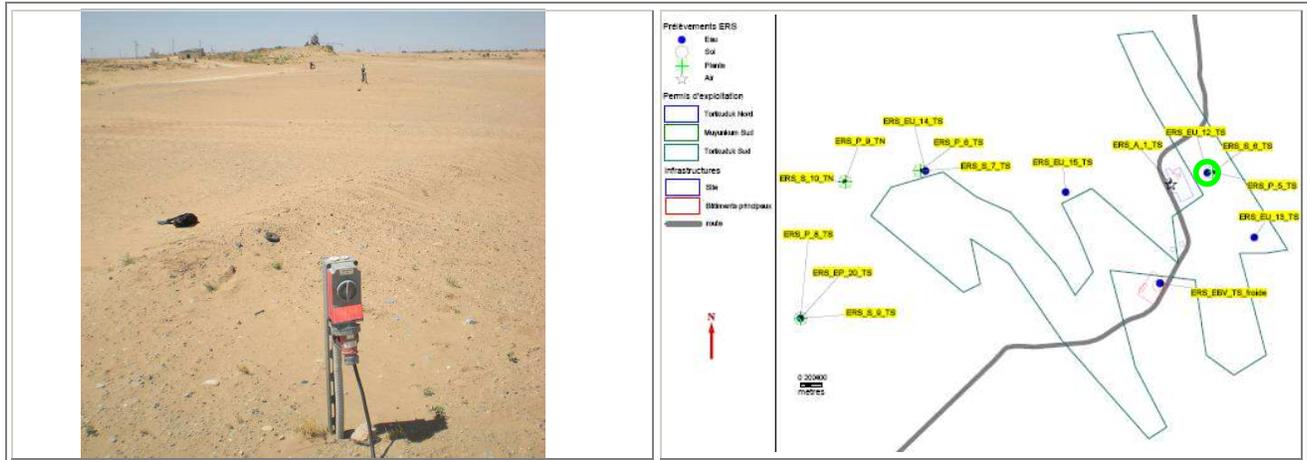
Forage d'alimentation en eau pour les êtes et les hommes. Faune et flore riches et abondantes

Evaluation des Risques Sanitaires KATCO

Fiche de prélèvement



N° identifiant ERS	ERS_P_5_TS	
Lieu	Tortkuduk Sud	
Coordonnées	X 139 178,8	Y 152 653,95
Date	26/06/2009	
Compartiment	Plante	



Activités environnantes
Population cible

Zone ISR, puits injection 212A, 269A et production 279A
Fermiers nomades / population hypothétique

EAU	Nature	<input type="text"/>	Aspect	<input type="text"/>	
	Repère/sol	<input type="text"/>		T°C	<input type="text"/>
	Niv piézométrique	<input type="text"/>		pH	<input type="text"/>
	Usage	<input type="text"/>		eV	<input type="text"/>

SOL	Nature	<input type="text"/>	Aspect	<input type="text"/>
	Profondeur prélevée	<input type="text"/>		Radiométrie
	Usage	<input type="text"/>		

PLANTE	Nature	Ensemble de plante	Poids	<input type="text"/>
	Usage	-		Radiométrie

AIR	Distance/infrastructure	<input type="text"/>	Temps	<input type="text"/>
	Conditions météo.	<input type="text"/>		Direction

Commentaires

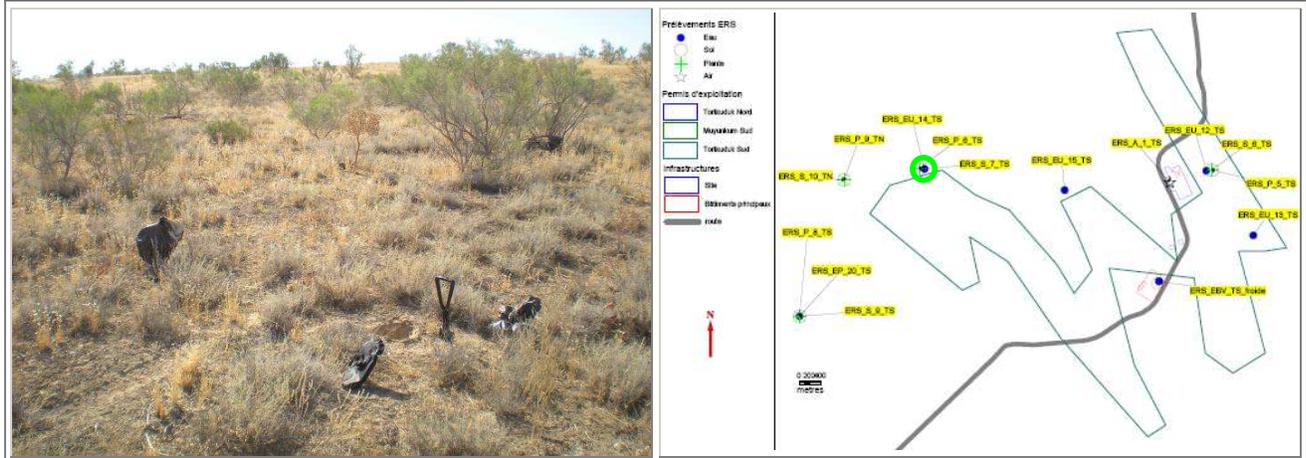
<p>Zone ISR, présence d'écoulement de fluide autour de certains forages</p>

Evaluation des Risques Sanitaires KATCO

Fiche de prélèvement



N° identifiant ERS	ERS_P_6_TS	
Lieu	Tortkuduk Sud	
Coordonnées	X 133 789	Y 152 677
Date	27/06/2009	
Compartiment	Plante	



Activités environnantes
Population cible

300 m / gisements d'uranium et de 5 km / ISR - proche TSU_N_14
Etat initial

EAU

Nature
Repère/sol
Niv piézométrique
Usage

Aspect
T°C
pH
eV

SOL

Nature
Profondeur prélevée
Usage

Aspect
Radiométrie

PLANTE

Nature
Usage

Ensemble de plante
-

Poids
Radiométrie

AIR

Distance/infrastructure
Conditions météo.

Temps
Direction

Commentaires

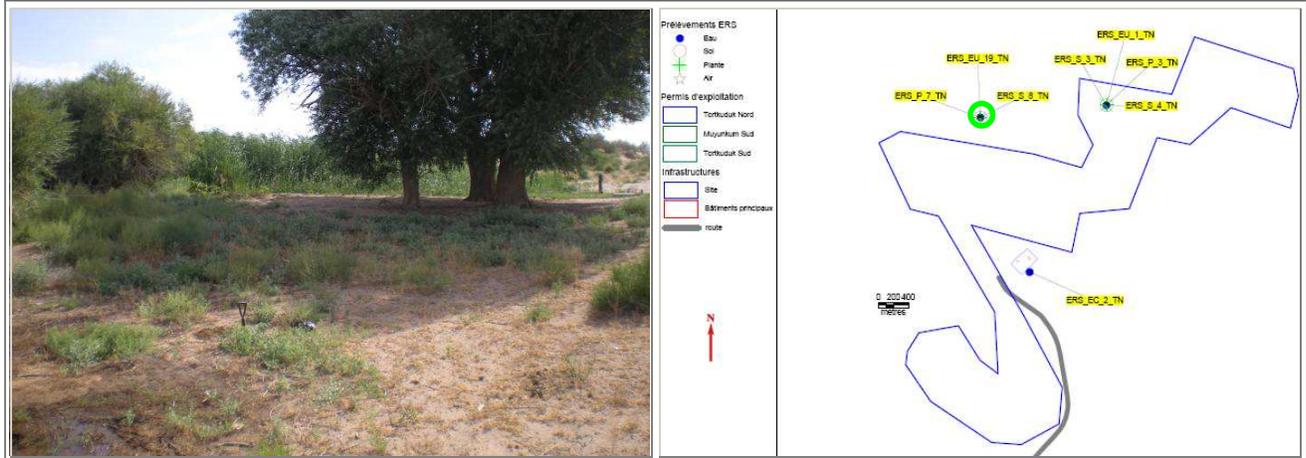
Etat initial pour les plantes

Evaluation des Risques Sanitaires KATCO

Fiche de prélèvement



N° identifiant ERS	ERS_P_7_TN	
Lieu	Tortkuduk Nord	
Coordonnées	X 138 421,06	Y 160 908,4
Date	03/07/2009	
Compartiment	Plante	



Activités environnantes
Population cible

Forage artésien, proximité d'un hivernage - 3 arbres (3A-T17)
Fermiers nomades

EAU

Nature
Repère/sol
Niv piézométrique
Usage

Aspect
T°C
pH
eV

SOL

Nature
Profondeur prélevée
Usage

Aspect
Radiométrie

PLANTE

Nature
Usage

Ensemble de plante
Pature fréquente

Poids
Radiométrie

AIR

Distance/infrastructure
Conditions météo.

Temps
Direction

Commentaires

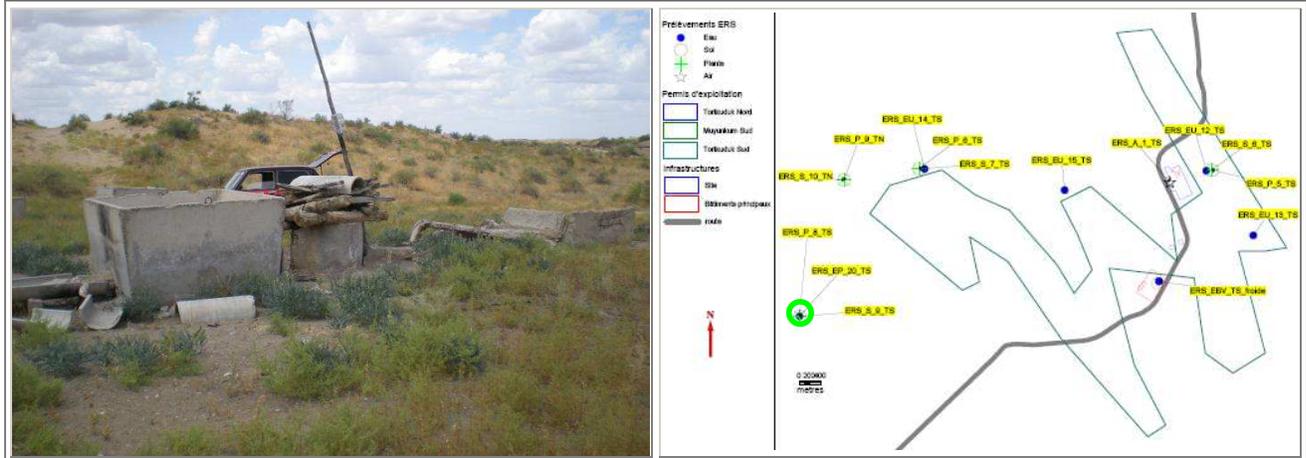
Forage artésien utilisé par les fermiers pour les troupeaux et pour eux, lieu de passage fréquent (bord de la piste Tortkuduk-tasty)
--

Evaluation des Risques Sanitaires KATCO

Fiche de prélèvement



N° identifiant ERS	ERS_P 8 TS	
Lieu	Tortkuduk Sud	
Coordonnées	X 131 589	Y 149 955
Date	04/07/2009	
Compartiment	Plante	



Activités environnantes
Population cible

Puits fermier (2), faisant partie d'un hivernage (ferme) - Puits 2 (P2)
Fermiers nomades

EAU

Nature
Repère/sol
Niv piézométrique
Usage

Aspect
T°C
pH
eV

SOL

Nature
Profondeur prélevée
Usage

Aspect
Radiométrie

PLANTE

Nature
Usage

Ensemble de plante
Pâturage fréquente

Poids
Radiométrie

AIR

Distance/infrastructure
Conditions météo.

Temps
Direction

Commentaires

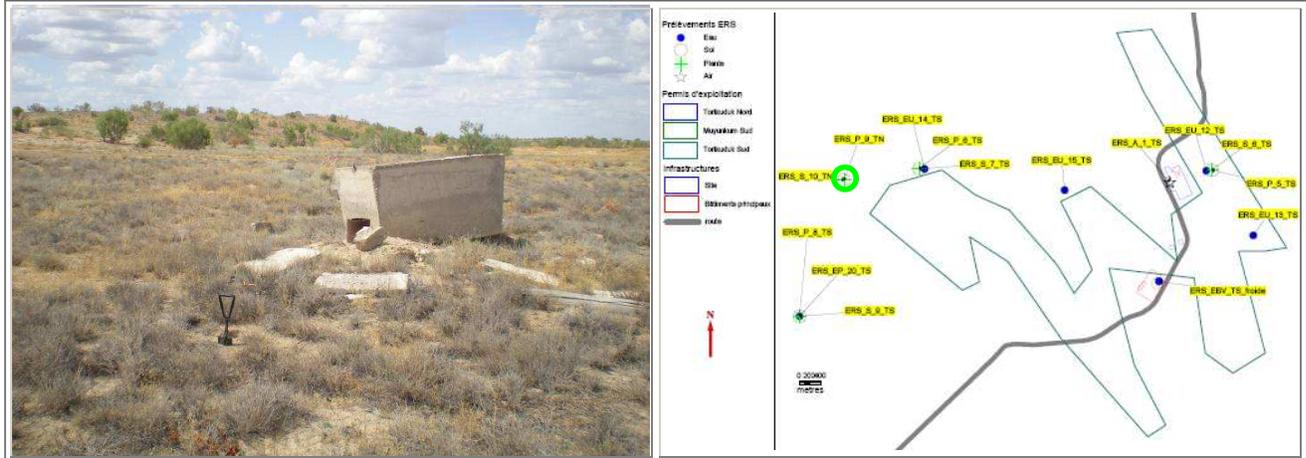
Puits utilisé encore cette année pour les bêtes et la consommation des fermiers, hivernage en très bon état.

Evaluation des Risques Sanitaires KATCO

Fiche de prélèvement



N° identifiant ERS	ERS_P 9_TS	
Lieu	Tortkuduk Sud	
Coordonnées	X 132408,00	Y 152474,00
Date	04/07/2009	
Compartiment	Plante	



Activités environnantes
Population cible

Forage fermier, à proximité d'un hivernage - Puits 1
Fermiers nomades

EAU

Nature
Repère/sol
Niv piézométrique
Usage

Aspect
T°C
pH
eV

SOL

Nature
Profondeur prélevée
Usage

Aspect
Radiométrie

PLANTE

Nature
Usage

Ensemble de plante
Pâturage occasionnelle

Poids
Radiométrie

AIR

Distance/infrastructure
Conditions météo.

Temps
Direction

Commentaires

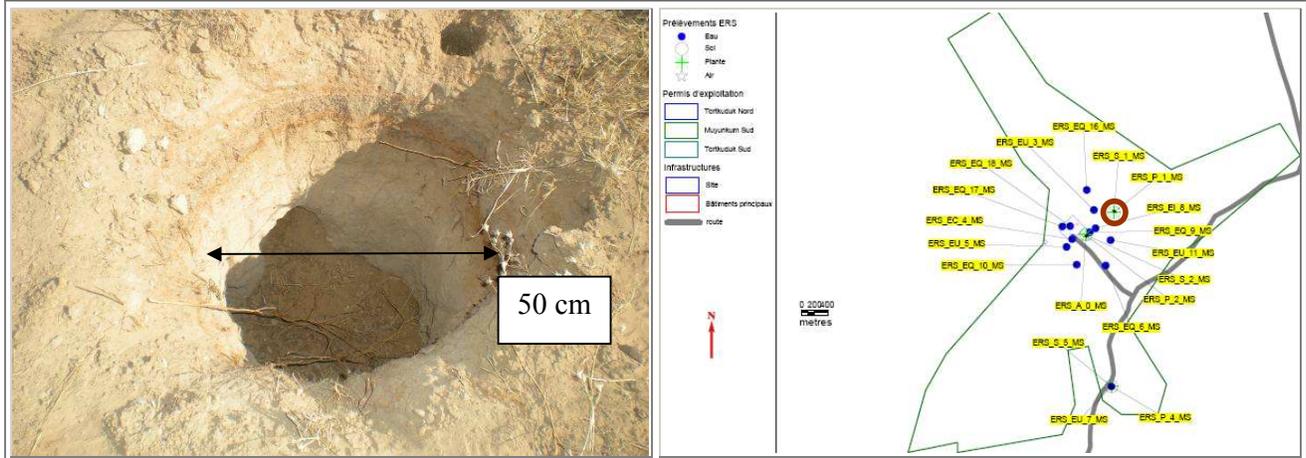
Le niveau piézométrique est très bas (>50m, Nappe du Paléozoïque ?). La ferme est en assez mauvais état et n'a pas servie cette année. Seuls les échantillons de sol et de plante ont été pris.

Evaluation des Risques Sanitaires KATCO

Fiche de prélèvement



N° identifiant ERS	ERS_S_1_MS	
Lieu	Muyumkum Sud	
Coordonnées	X 117075,686	Y 123406,031
Date	18/06/2009	
Compartiment	Sol	



Activités environnantes
Population cible

Proche champs de puits - anc forage exploration
Population hypothétique

EAU

Nature
Repère/sol
Niv piézométrique
Usage

Aspect
T°C
pH
eV

SOL

Nature
Profondeur prélevée
Usage

Sable
0-25 cm
Future zone ISR

Aspect
Radiométrie

Hz net rouge

PLANTE

Nature
Usage

Poids
Radiométrie

AIR

Distance/infrastructure
Conditions météo.

Temps
Direction

Commentaires

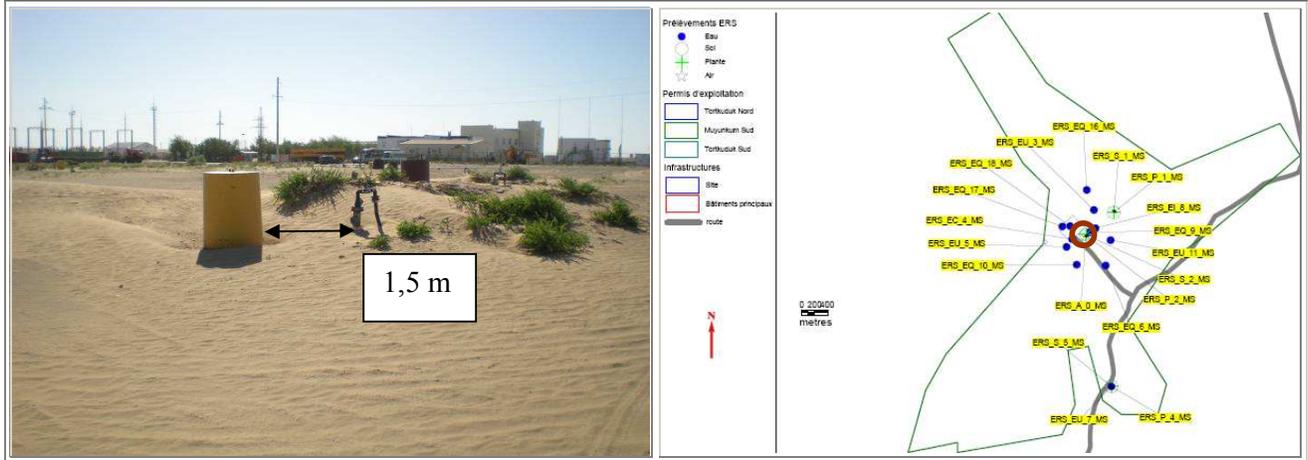
Zone à radioactivité élevée, due aux fuites lors de l'exploration. Fuite eau et/ou jus... Horizon pédologique net rouge et sombre à 15 cm.
Point accident

Evaluation des Risques Sanitaires KATCO

Fiche de prélèvement



N° identifiant ERS	ERS_S_2_MS	
Lieu	Muyumkum Sud	
Coordonnées	X 116648,645	Y 123062,041
Date	18/06/2009	
Compartiment	Sol	



Activités environnantes
Population cible

Champs de puits - forage producteur 030204A3
Population hypothétique

EAU

Nature
Repère/sol
Niv piézométrique
Usage

Aspect
T°C
pH
eV

SOL

Nature
Profondeur prélevée
Usage

Sable
0-25 cm
ISR

Aspect
Radiométrie

Homogène, beige

PLANTE

Nature
Usage

Poids
Radiométrie

AIR

Distance/infrastructure
Conditions météo.

Temps
Direction

Commentaires

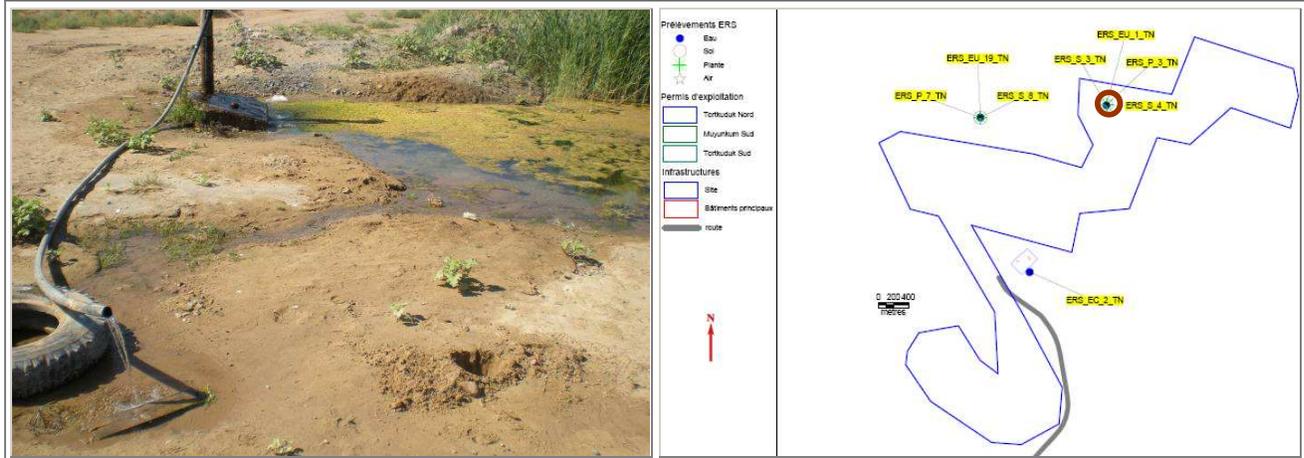
Zone ISR, 5 prélèvements à proximité des puits d'injection et de production (030204A3, 010303B, 030303A, 010303B) mélangés. 030204A3 coulée récente due au lavage du puits

Evaluation des Risques Sanitaires KATCO

Fiche de prélèvement



N° identifiant ERS	ERS_S_3_TN	
Lieu	Tortkuduk Nord	
Coordonnées	X 140 112,00	Y 161077,31
Date	24/06/2009	
Compartiment	Sol	



Activités environnantes
Population cible

Milieu naturel, oasis due à l'écoulement du puits - 248 (T15) proche
Fermiers nomades

EAU	Nature	<input type="text"/>	Aspect	<input type="text"/>	
	Repère/sol	<input type="text"/>		T°C	<input type="text"/>
	Niv piézométrique	<input type="text"/>		pH	<input type="text"/>
	Usage	<input type="text"/>		eV	<input type="text"/>

SOL	Nature	<input type="text" value="Sableux"/>	Aspect	<input type="text" value="Brun hvdromorphe"/>	
	Profondeur prélevée	<input type="text" value="25 cm"/>		Radiométrie	<input type="text"/>
	Usage	<input type="text" value="Aucun apparent"/>			

PLANTE	Nature	<input type="text"/>	Poids	<input type="text"/>
	Usage	<input type="text"/>		Radiométrie

AIR	Distance/infrastructure	<input type="text"/>	Temps	<input type="text"/>
	Conditions météo.	<input type="text"/>		Direction

Commentaires

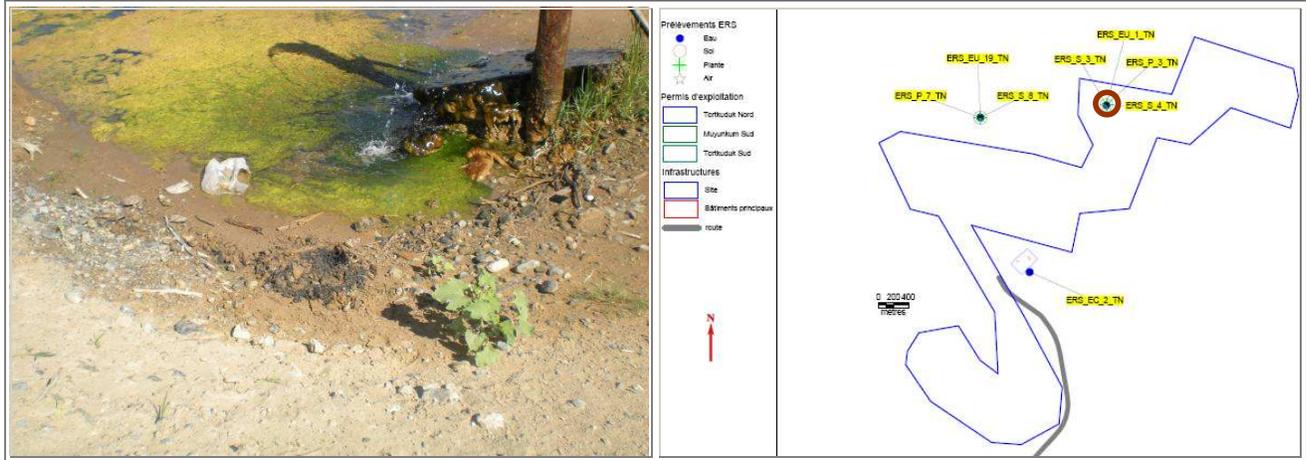
Sol en bordure de la mare créée par le puits artésien à l'abandon à 5 m de celui-ci.
Hydromorphe.

Evaluation des Risques Sanitaires KATCO

Fiche de prélèvement



N° identifiant ERS	ERS_S 4 TN	
Lieu	Tortkuduk Nord	
Coordonnées	X 140 109,98	Y 161 075,31
Date	24/06/2009	
Compartiment	Sol	



Activités environnantes	Milieu naturel, oasis due à l'écoulement du puits - 248 (T15)
Population cible	Fermiers nomades

EAU	Nature	<input type="text"/>	Aspect	<input type="text"/>
	Repère/sol	<input type="text"/>	T°C	<input type="text"/>
	Niv piézométrique	<input type="text"/>	pH	<input type="text"/>
	Usage	<input type="text"/>	eV	<input type="text"/>

SOL	Nature	Vaseux	Aspect	Brun à noir hydromorphe
	Profondeur prélevée	25 cm	Radiométrie	<input type="text"/>
	Usage	Aucun apparent		

PLANTE	Nature	<input type="text"/>	Poids	<input type="text"/>
	Usage	<input type="text"/>	Radiométrie	<input type="text"/>

AIR	Distance/infrastructure	<input type="text"/>	Temps	<input type="text"/>
	Conditions météo.	<input type="text"/>	Direction	<input type="text"/>

Commentaires

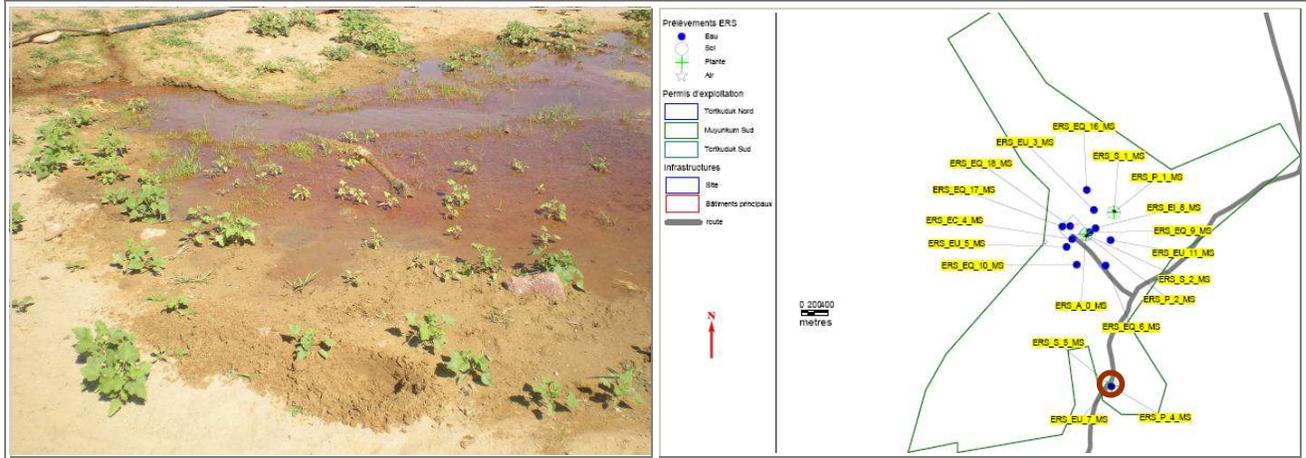
Sol proche du puits artésien à l'abandon. Hydromorphe avec un horizon noir riche en matière organique à partir de 5 cm.

Evaluation des Risques Sanitaires KATCO

Fiche de prélèvement



N° identifiant ERS	ERS_S_5_MS	
Lieu	Muyunkum Sud	
Coordonnées	X 117037,82	Y 120731,82
Date	25/06/2009	
Compartiment	Sol	



Activités environnantes
Population cible

Milieu naturel, oasis due à l'écoulement du puits - 288 (M7)
Fermiers nomades

EAU	Nature	<input type="text"/>	Aspect	<input type="text"/>
	Repère/sol	<input type="text"/>	T°C	<input type="text"/>
	Niv piézométrique	<input type="text"/>	pH	<input type="text"/>
	Usage	<input type="text"/>	eV	<input type="text"/>

SOL	Nature	Sable brun	Aspect	Brun hydromorphe
	Profondeur prélevée	0-25 cm	Radiométrie	<input type="text"/>
	Usage	Passage troubeau		

PLANTE	Nature	<input type="text"/>	Poids	<input type="text"/>
	Usage	<input type="text"/>	Radiométrie	<input type="text"/>

AIR	Distance/infrastructure	<input type="text"/>	Temps	<input type="text"/>
	Conditions météo.	<input type="text"/>	Direction	<input type="text"/>

Commentaires

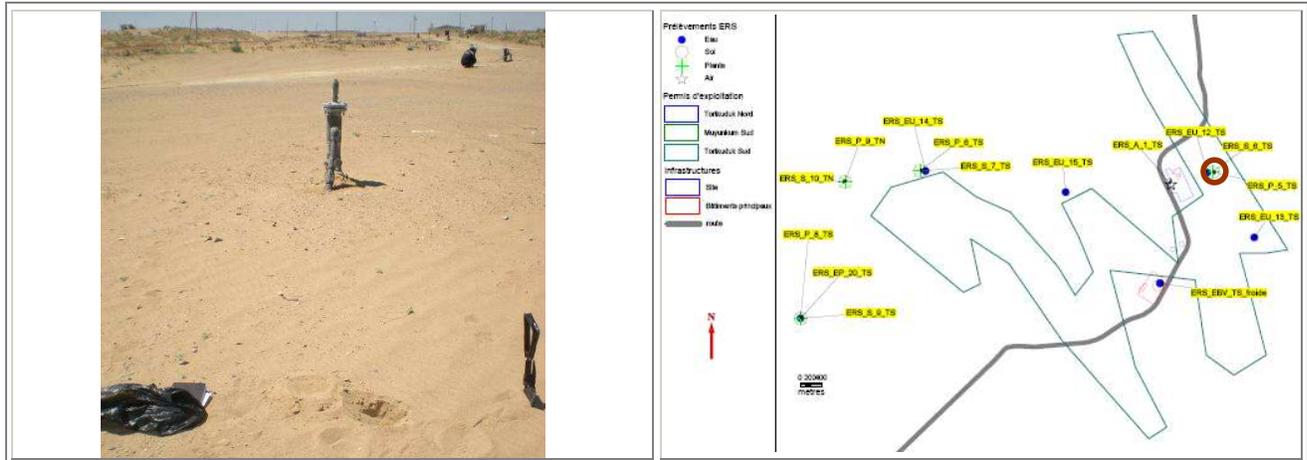
Prélèvement réalisé à proximité du puits et de la mare formée (1,5m). Sol hydromorphe.
--

Evaluation des Risques Sanitaires KATCO

Fiche de prélèvement



N° identifiant ERS	ERS_S 6_TS	
Lieu	Tortkuduk Sud	
Coordonnées	X 139 178,8	Y 152 653,95
Date	26/06/2009	
Compartiment	Sol	



Activités environnantes
Population cible

Zone ISR, puits injection 212A, 269A et production 279A
Fermiers nomades / population hypothétique

EAU	Nature	<input type="text"/>	Aspect	<input type="text"/>	
	Repère/sol	<input type="text"/>		T°C	<input type="text"/>
	Niv piézométrique	<input type="text"/>		pH	<input type="text"/>
	Usage	<input type="text"/>		eV	<input type="text"/>

SOL	Nature	<input type="text" value="Sable"/>	Aspect	<input type="text" value="homogène"/>
	Profondeur prélevée	<input type="text" value="0-25 cm"/>		Radiométrie
	Usage	<input type="text" value="-"/>		

PLANTE	Nature	<input type="text"/>	Poids	<input type="text"/>
	Usage	<input type="text"/>		Radiométrie

AIR	Distance/infrastructure	<input type="text"/>	Temps	<input type="text"/>
	Conditions météo.	<input type="text"/>		Direction

Commentaires

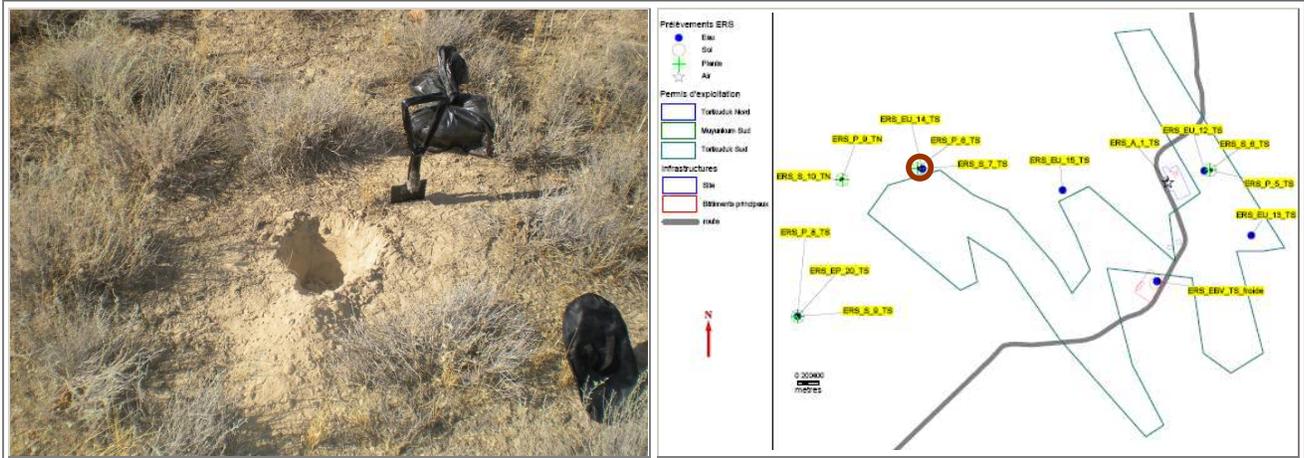
Zone ISR, présence d'écoulement de fluide autour de certains forages

Evaluation des Risques Sanitaires KATCO

Fiche de prélèvement



N° identifiant ERS	ERS_S_7_TS	
Lieu	Tortkuduk Sud	
Coordonnées	X 133 789	Y 152 677
Date	27/06/2009	
Compartiment	Sol	



Activités environnantes
Population cible

300 m / gisements d'uranium et de 5 km / ISR - proche TSU_N_14

Etat initial

EAU

Nature
Repère/sol
Niv piézométrique
Usage

Aspect
T°C
pH
eV

SOL

Nature
Profondeur prélevée
Usage

Sable
0-25 cm
-

Aspect
Radiométrie

homogène

PLANTE

Nature
Usage

Poids
Radiométrie

AIR

Distance/infrastructure
Conditions météo.

Temps
Direction

Commentaires

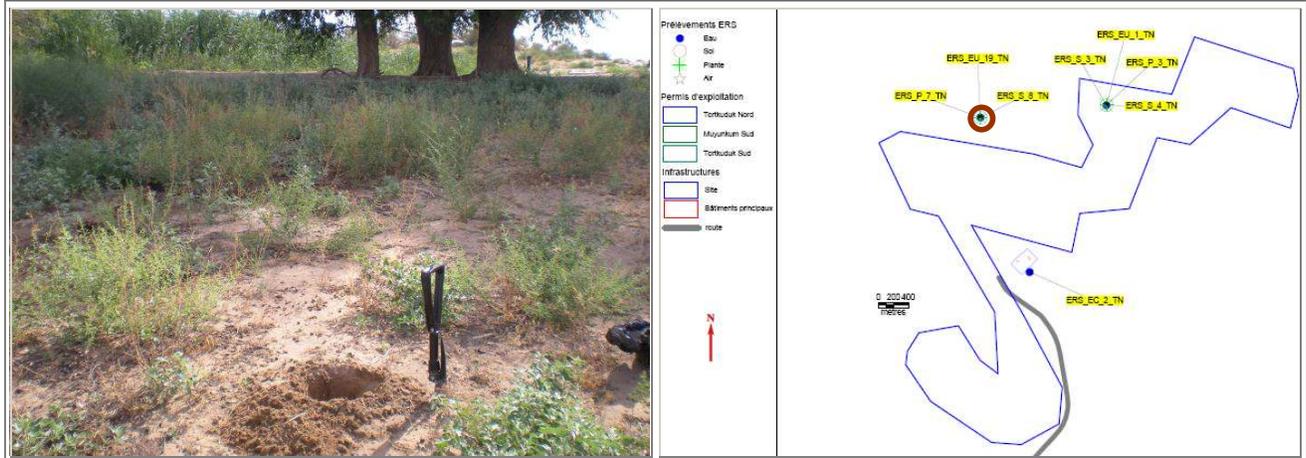
Etat initial pour le sol

Evaluation des Risques Sanitaires KATCO

Fiche de prélèvement



N° identifiant ERS	ERS_S 8 TN	
Lieu	Tortkuduk Nord	
Coordonnées	X 138 421,06	Y 160 908,4
Date	03/07/2009	
Compartiment	Sol	



Activités environnantes
Population cible

Forage artésien, proximité d'un hivernage - 3 arbres (3A-T17)
Fermiers nomades

EAU

Nature
Repère/sol
Niv piézométrique
Usage

Aspect
T°C
pH
eV

SOL

Nature
Profondeur prélevée
Usage

Sable
0-25 cm
-

Aspect
Radiométrie

Lgrt humide

PLANTE

Nature
Usage

Poids
Radiométrie

AIR

Distance/infrastructure
Conditions météo.

Temps
Direction

Commentaires

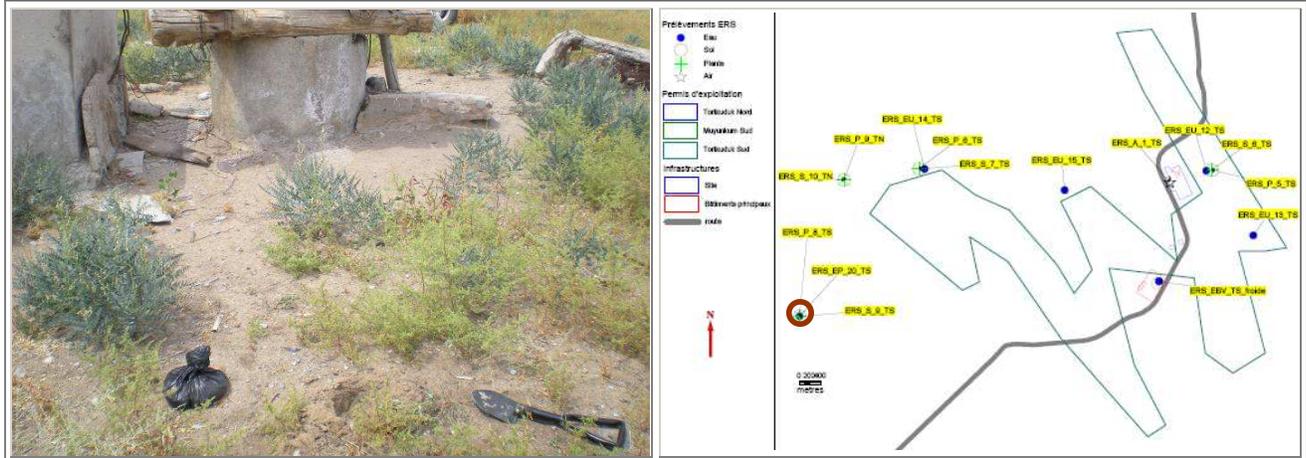
Forage artésien utilisé par les fermiers pour les troupeaux et pour eux, lieu de passage fréquent (bord de la piste Tortkuduk-tasty)

Evaluation des Risques Sanitaires KATCO

Fiche de prélèvement



N° identifiant ERS	ERS_S_9_TS	
Lieu	Tortkuduk Sud	
Coordonnées	X 131 589	Y 149 955
Date	04/07/2009	
Compartiment	Sol	



Activités environnantes
Population cible

Puits fermier (2), faisant partie d'un hivernage (ferme) - Puits 2 (P2)
Fermiers nomades

EAU

Nature
Repère/sol
Niv piézométrique
Usage

Aspect
T°C
pH
eV

SOL

Nature
Profondeur prélevée
Usage

Sable
0-25 cm
-

Aspect
Radiométrie

Lgrt tassé

PLANTE

Nature
Usage

Poids
Radiométrie

AIR

Distance/infrastructure
Conditions météo.

Temps
Direction

Commentaires

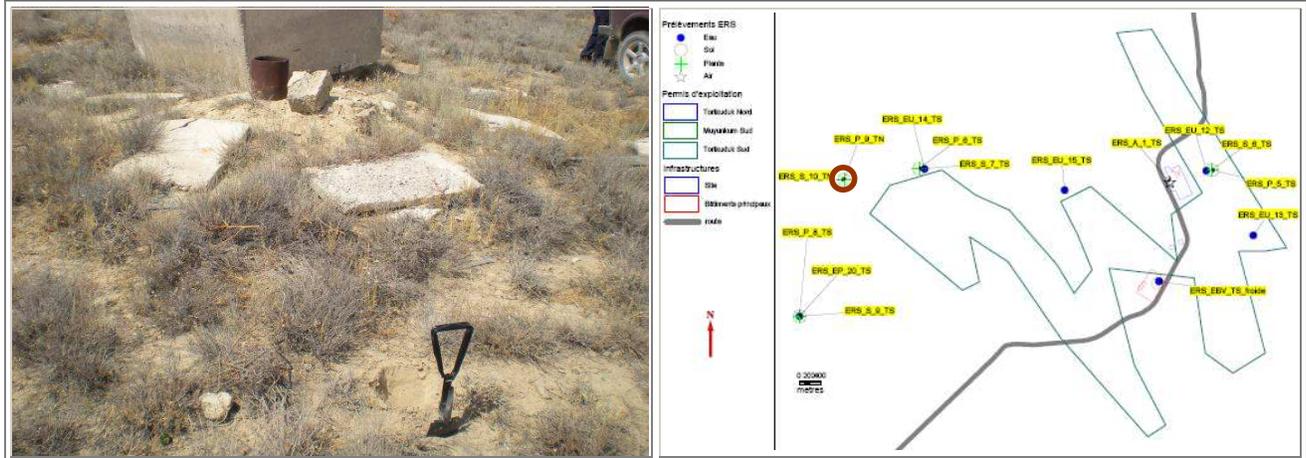
Puits utilisé encore cette année pour les bêtes et la consommation des fermiers, hivernage en très bon état.

Evaluation des Risques Sanitaires KATCO

Fiche de prélèvement



N° identifiant ERS	ERS_S_10_TS	
Lieu	Tortkuduk Sud	
Coordonnées	X 132408,00	Y 152474,00
Date	04/07/2009	
Compartiment	Sol	



Activités environnantes
Population cible

Forage fermier, à proximité d'un hivernage - Puits 1
Fermiers nomades

EAU

Nature
Repère/sol
Niv piézométrique
Usage

Aspect
T°C
pH
eV

SOL

Nature
Profondeur prélevée
Usage

Sable
0-25 cm
-

Aspect
Radiométrie

Débris racinaires

PLANTE

Nature
Usage

Poids
Radiométrie

AIR

Distance/infrastructure
Conditions météo.

Temps
Direction

Commentaires

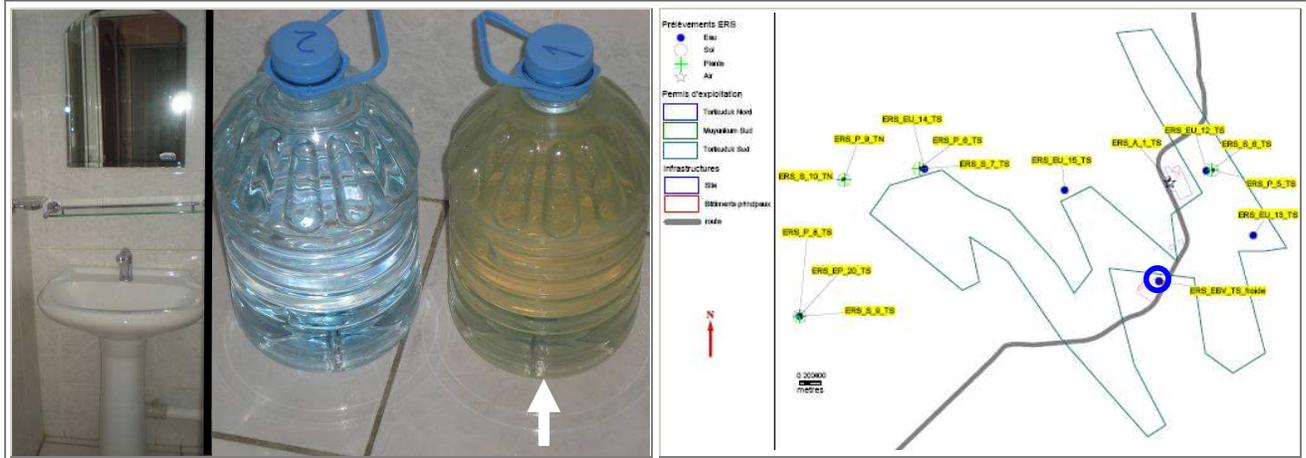
Le niveau piézométrique est très bas (>50m, Nappe du Paléozoïque ?). La ferme est en assez mauvais état et n'a pas servie cette année. Seuls les échantillons de sol et de plante ont été pris.

Evaluation des Risques Sanitaires KATCO

Fiche de prélèvement



N° identifiant ERS	ERS_EBV_21_TS_chaude	
Lieu	Tortkuduk Sud	
Coordonnées	X 138 204,38	Y 150 601,81
Date	24/06/2009	
Compartiment	Eau Base Vie	



Activités environnantes
Population cible

Base Vie, cuisine, toilette, consommation - Tortkuduk BV (chaude)

Personnel Base Vie

EAU

Nature
Repère/sol
Niv piézométrique
Usage

Eau courante Chaude
-
-
Toilette. cuisine

Aspect
T°C
pH
eV

Jaunâtre + odeur

SOL

Nature
Profondeur prélevée
Usage

Aspect
Radiométrie

PLANTE

Nature
Usage

Poids
Radiométrie

AIR

Distance/infrastructure
Conditions météo.

Temps
Direction

Commentaires

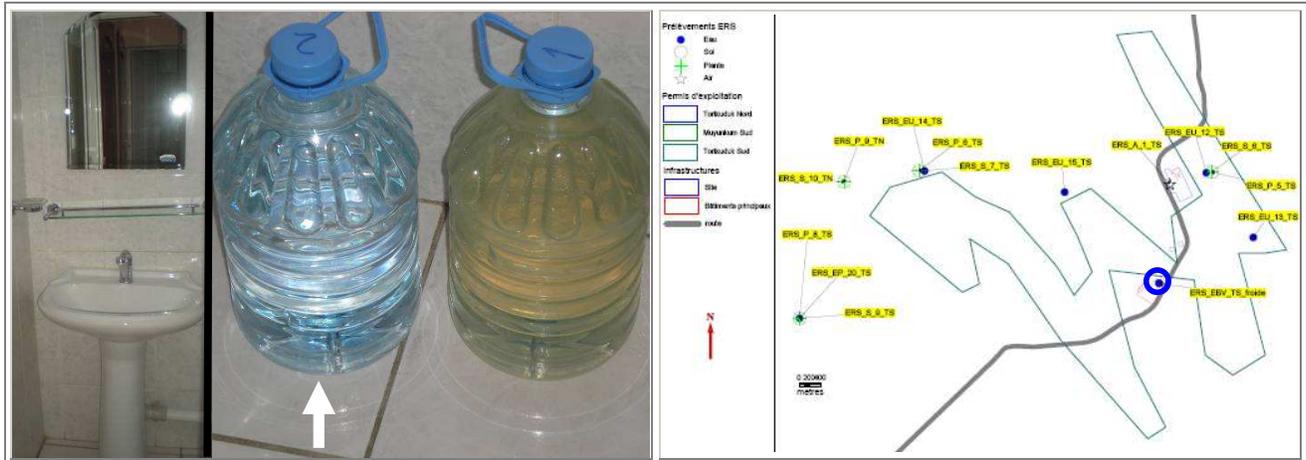
Prélèvement dans la salle de bain de la chambre 224, eau chaude change d'aspect : jaunâtre et odeur

Evaluation des Risques Sanitaires KATCO

Fiche de prélèvement



N° identifiant ERS	ERS_EBV_22_TS_froide	
Lieu	Tortkuduk Sud	
Coordonnées	X 138 204,38	Y 150 601,81
Date	24/06/2009	
Compartiment	Eau Base Vie	



Activités environnantes
Population cible

Base Vie, cuisine, toilette, consommation - Tortkuduk BV (froide)
Personnel Base Vie

EAU	Nature	Eau courante Froide	Aspect	claire	
	Repère/sol	-		T°C	
	Niv piézométrique	-		pH	
	Usage	Toilette. cuisine		eV	

SOL	Nature		Aspect		
	Profondeur prélevée			Radiométrie	
	Usage				

PLANTE	Nature		Poids	
	Usage			Radiométrie

AIR	Distance/infrastructure		Temps	
	Conditions météo.			Direction

Commentaires

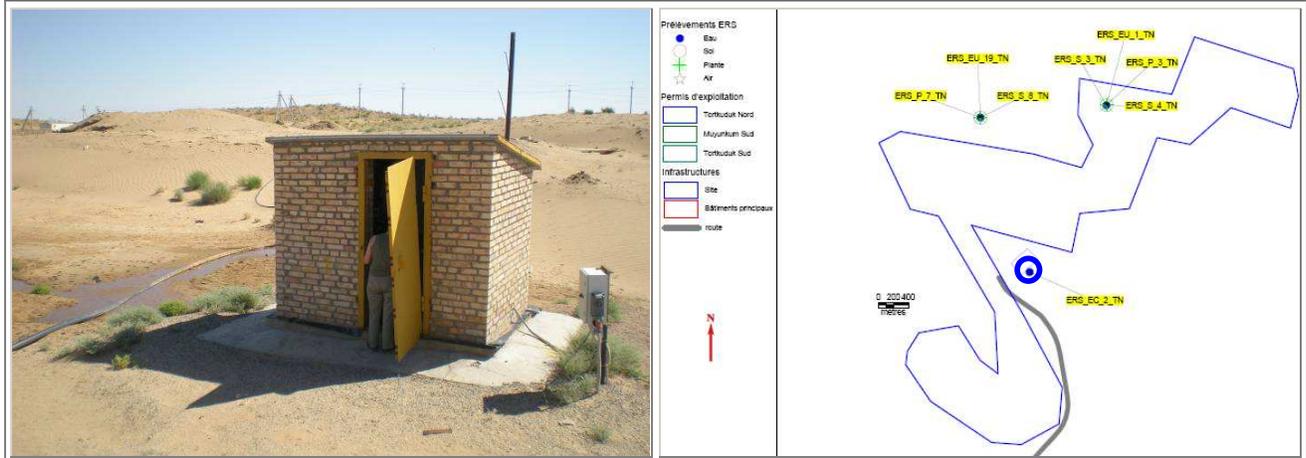
Prélèvement dans la salle de bain de la chambre 224, eau froide claire

Evaluation des Risques Sanitaires KATCO

Fiche de prélèvement



N° identifiant ERS	ERS_EC_2_TN	
Lieu	Muyunkum Sud	
Coordonnées	X 139082,60	Y 158823,70
Date	24/06/2009	
Compartiment	Eau Crétacé	



Activités environnantes
Population cible

Forage proche Station de Pompage de TN, 50m du site - TNC_V_811
Population hypothétique

EAU	Nature	Forage	Aspect	claire	
	Repère/sol	-		T°C	
	Niv piézométrique	-		pH	
	Usage	Alimentation Station		eV	

SOL	Nature		Aspect		
	Profondeur prélevée			Radiométrie	
	Usage				

PLANTE	Nature		Poids	
	Usage			Radiométrie

AIR	Distance/infrastructure		Temps	
	Conditions météo.			Direction

Commentaires

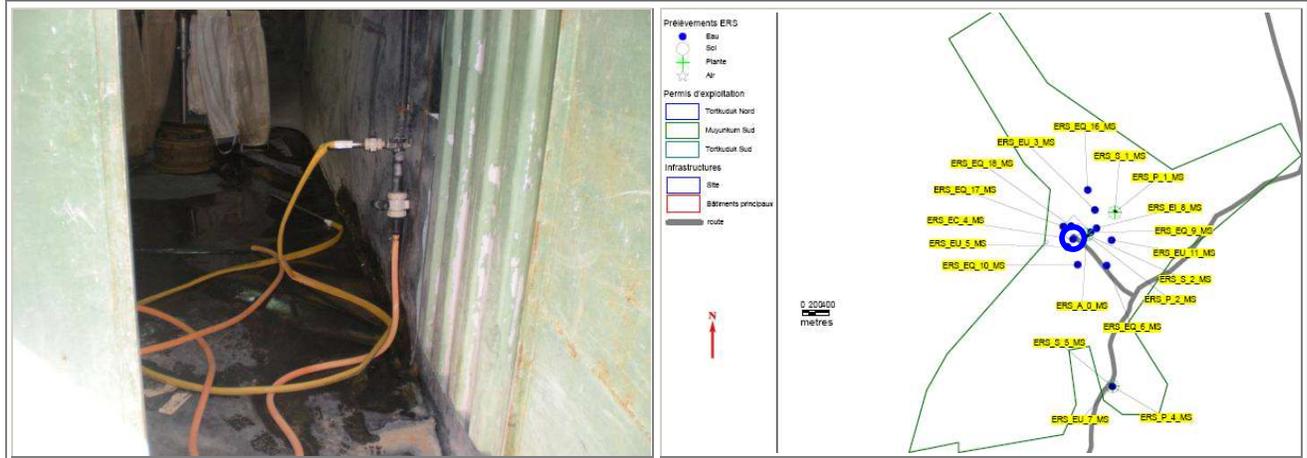
Forage d'alimentation de la Station de Pompage de Tortkuduk nord, process et eau courante des bâtiments

Evaluation des Risques Sanitaires KATCO

Fiche de prélèvement



N° identifiant ERS	ERS_EC_4_MS	
Lieu	Muyunkum Sud	
Coordonnées	X 116439,29	Y 122996,76
Date	25/06/2009	
Compartiment	Eau Crétacé	



Activités environnantes
Population cible

Forage alimentation Usine MS et Base Vie MS, site MS - MS_1C
Personnel Base Vie Muyunkum Sud

EAU	Nature	Forage	Aspect	claire	
	Repère/sol	-		T°C	
	Niv piézométrique	Artésien		pH	
	Usage	Alim. BV et Usine		eV	

SOL	Nature		Aspect		
	Profondeur prélevée			Radiométrie	
	Usage				

PLANTE	Nature		Poids	
	Usage			Radiométrie

AIR	Distance/infrastructure		Temps	
	Conditions météo.			Direction

Commentaires

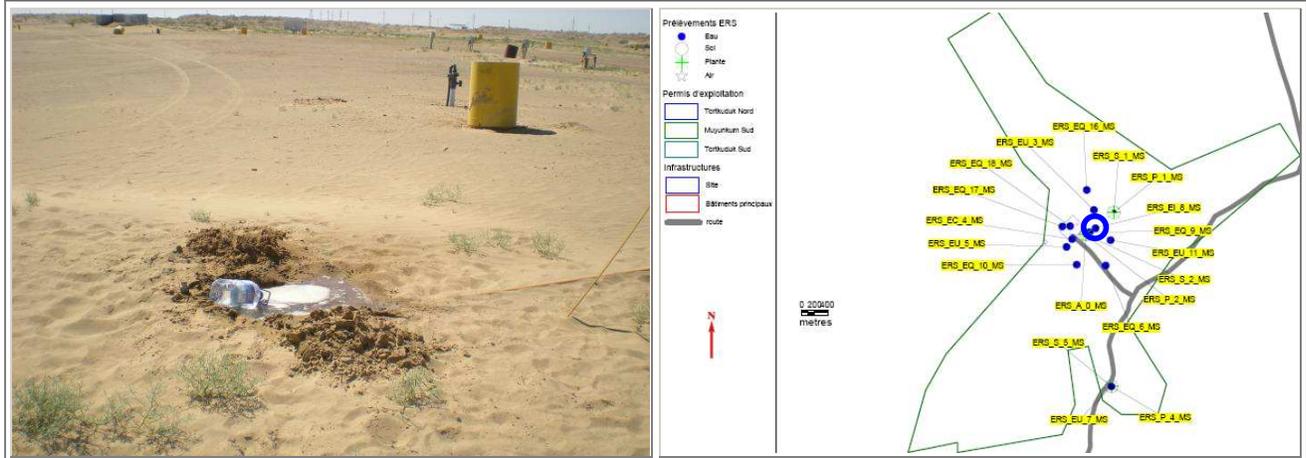
Forage d'alimentation de l'Usine et de l'eau courante du site et de la Base Vie de Muyunkum Sud

Evaluation des Risques Sanitaires KATCO

Fiche de prélèvement



N° identifiant ERS	ERS_EI_8_MS	
Lieu	Muyunkum Sud	
Coordonnées	X 116 795,00	Y 123 163,50
Date	26/06/2009	
Compartiment	Eau Ikansk	



Activités environnantes
Population cible

Piézomètre au sein de contour dans Ikansk, Zone ISR - MSI_N_09
Fermiers nomades

EAU	Nature	Piézomètre	Aspect	claire	
	Repère/sol	-		T°C	
	Niv piézométrique	Artésien		pH	
	Usage	surveillance		eV	

SOL	Nature		Aspect		
	Profondeur prélevée			Radiométrie	
	Usage				

PLANTE	Nature		Poids	
	Usage			Radiométrie

AIR	Distance/infrastructure		Temps	
	Conditions météo.			Direction

Commentaires

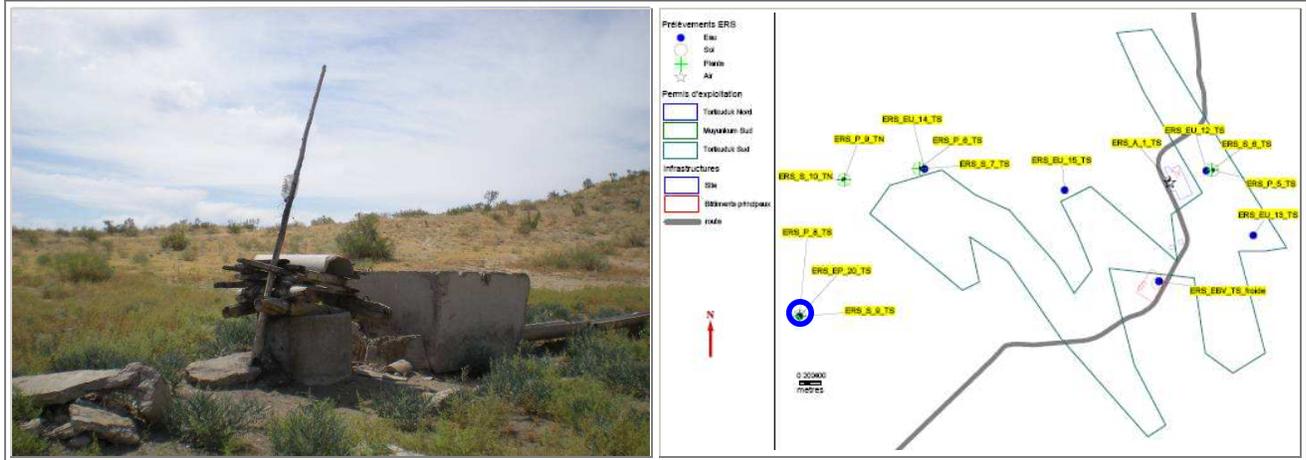
Surveillance de l'Ikansk, nappe située au-dessus de l'Uyuk, la canalisation d'acide passe à 10 cm du piézomètre

Evaluation des Risques Sanitaires KATCO

Fiche de prélèvement



N° identifiant ERS	ERS_EP_20_TS	
Lieu	Tortkuduk Sud	
Coordonnées	X 131 589	Y 149 955
Date	04/07/2009	
Compartiment	Eau Paléozoïque (?)	



Activités environnantes
Population cible

Puits fermier (2), faisant partie d'un hivernage (ferme) - Puits 2 (P2)
Fermiers nomades

EAU

Nature
Repère/sol
Niv piézométrique
Usage

Puits Paléozoïque (?)
0.6 m
30.90 m
Agricole, consommation

Aspect
T°C
pH
eV

claire

SOL

Nature
Profondeur prélevée
Usage

Aspect
Radiométrie

PLANTE

Nature
Usage

Poids
Radiométrie

AIR

Distance/infrastructure
Conditions météo.

Temps
Direction

Commentaires

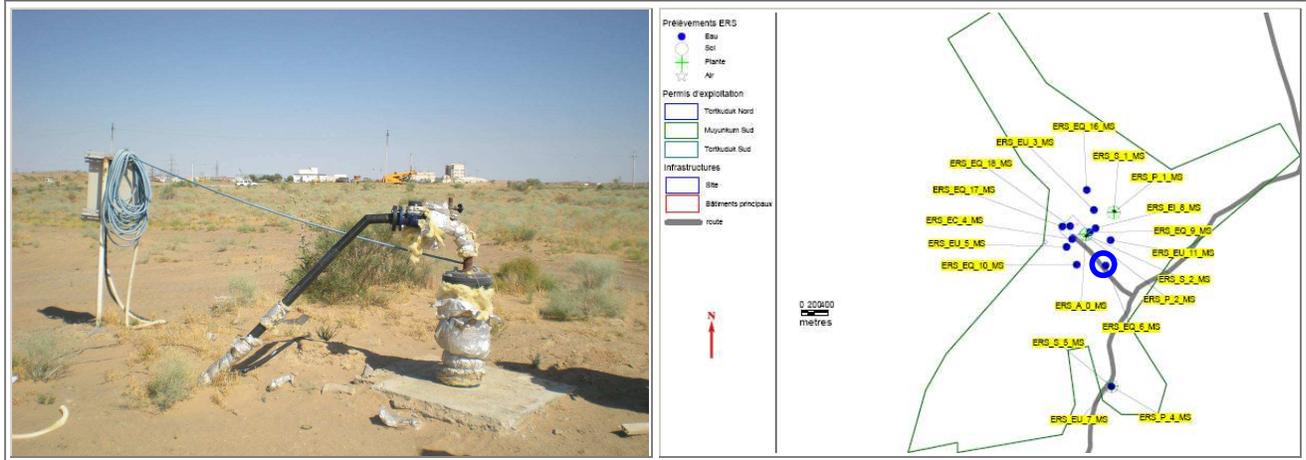
Puits utilisé encore cette année pour les bêtes et la consommation des fermiers, hivernage en très bon état.

Evaluation des Risques Sanitaires KATCO

Fiche de prélèvement



N° identifiant ERS	ERS_EQ_6_MS	
Lieu	Muyunkum Sud	
Coordonnées	X 116950,56	Y 122589,65
Date	25/06/2009	
Compartiment	Eau Quaternaire	



Activités environnantes
Population cible

ISR éloigné de 170 m - MSQ_V_731

Population hypothétique

EAU

Nature
Repère/sol
Niv piézométrique
Usage

Forage

-

-

Alim. Usine

Aspect

T°C

pH

eV

claire

SOL

Nature
Profondeur prélevée
Usage

Aspect

Radiométrie

PLANTE

Nature
Usage

Poids

Radiométrie

AIR

Distance/infrastructure
Conditions météo.

Temps

Direction

Commentaires

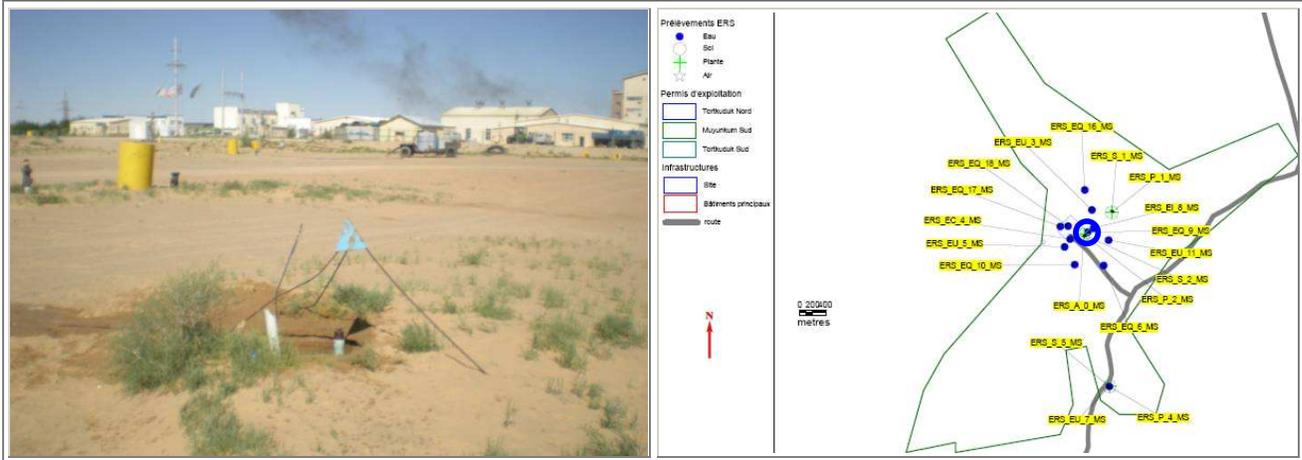
Alimentation de l'Usine à partir de la nappe Quaternaire

Evaluation des Risques Sanitaires KATCO

Fiche de prélèvement



N° identifiant ERS	ERS_EQ_9_MS	
Lieu	Muyunkum Sud	
Coordonnées	X 116 706,42	Y 123 101,42
Date	26/06/2009	
Compartiment	Eau Quaternaire	



Activités environnantes
Population cible

Pz au sein de contour dans Quaternaire, Zone ISR - MSQ_N_06
Fermiers nomades

EAU	Nature	Piézomètre	Aspect	claire	
	Repère/sol	0.1 m		T°C	
	Niv piézométrique	12 m		pH	
	Usage	surveillance		eV	

SOL	Nature		Aspect		
	Profondeur prélevée			Radiométrie	
	Usage				

PLANTE	Nature		Poids	
	Usage			Radiométrie

AIR	Distance/infrastructure		Temps	
	Conditions météo.			Direction

Commentaires

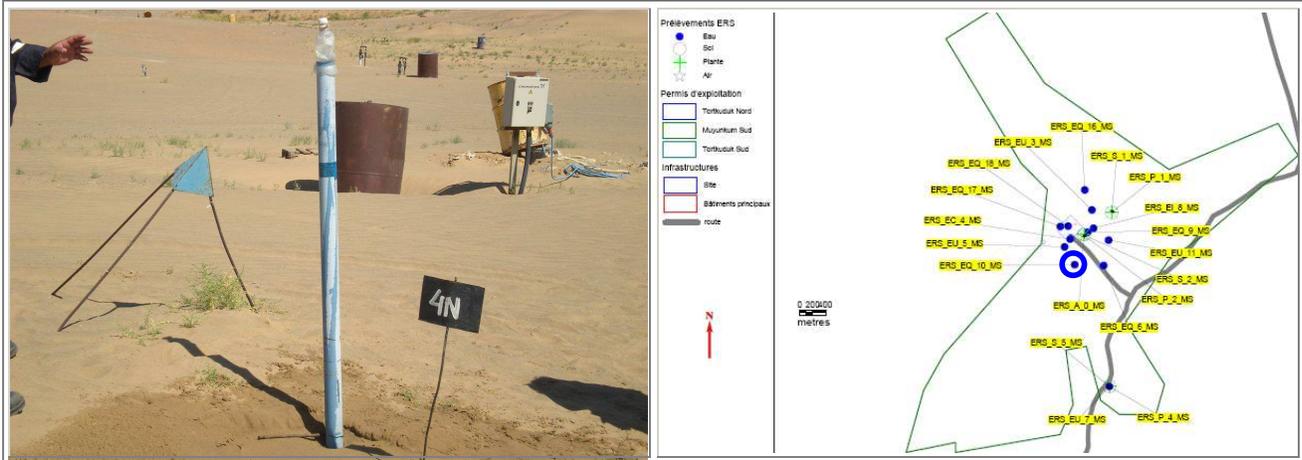
<p>Surveillance du quaternaire, témoin de l'impact de la zone ISR sur la nappe superficielle. Prélèvement pas Air-Lift</p>
--

Evaluation des Risques Sanitaires KATCO

Fiche de prélèvement



N° identifiant ERS	ERS_EQ_10_MS	
Lieu	Muyunkum Sud	
Coordonnées	X 116 508,82	Y 122 602,56
Date	26/06/2009	
Compartiment	Eau Quaternaire	



Activités environnantes
Population cible

Pz au sein de contour dans Quaternaire, Zone ISR - MSQ_N_04
Fermiers nomades

EAU	Nature	Piézomètre	Aspect	claire	
	Repère/sol			T°C	
	Niv piézométrique			pH	
	Usage	surveillance		eV	

SOL	Nature		Aspect		
	Profondeur prélevée			Radiométrie	
	Usage				

PLANTE	Nature		Poids	
	Usage			Radiométrie

AIR	Distance/infrastructure		Temps	
	Conditions météo.			Direction

Commentaires

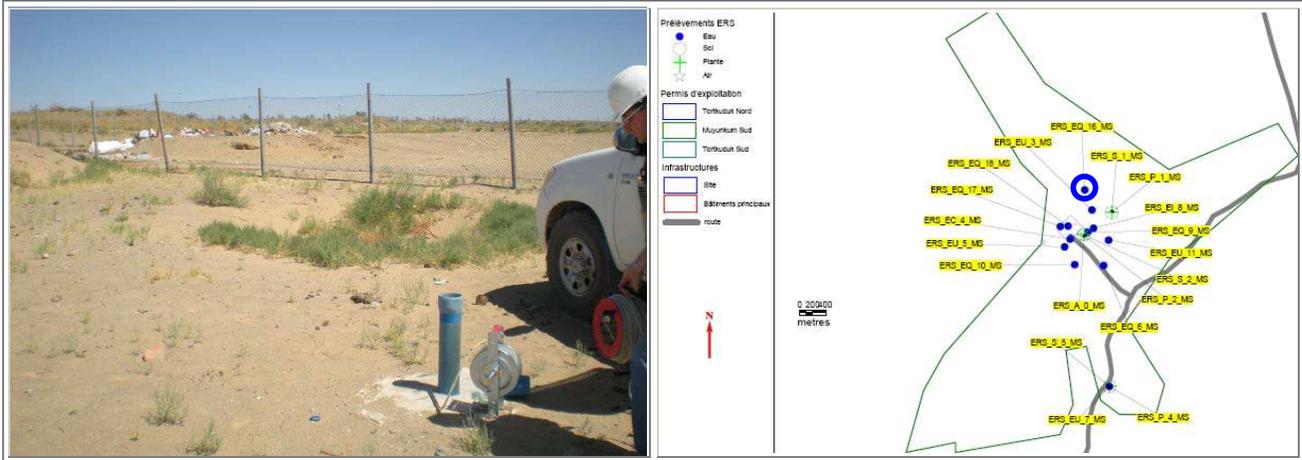
<p>Surveillance du quaternaire, témoin de l'impact de la zone ISR sur la nappe superficielle. Prélèvement pas Air-Lift</p>
--

Evaluation des Risques Sanitaires KATCO

Fiche de prélèvement



N° identifiant ERS	ERS_EQ_16_MS	
Lieu	Muyunkum Sud	
Coordonnées	X 116 661,1	Y 123 751,92
Date	27/06/2009	
Compartiment	Eau Quaternaire	



Activités environnantes
Population cible

Pz spécial, surveillance de la décharge domestique - MSQ_N_25
Fermiers nomades

EAU

Nature
Repère/sol
Niv piézométrique
Usage

Piézomètre
0.7 m
11.78 m
surveillance

Aspect
T°C
pH
eV

trouble

SOL

Nature
Profondeur prélevée
Usage

Aspect
Radiométrie

PLANTE

Nature
Usage

Poids
Radiométrie

AIR

Distance/infrastructure
Conditions météo.

Temps
Direction

Commentaires

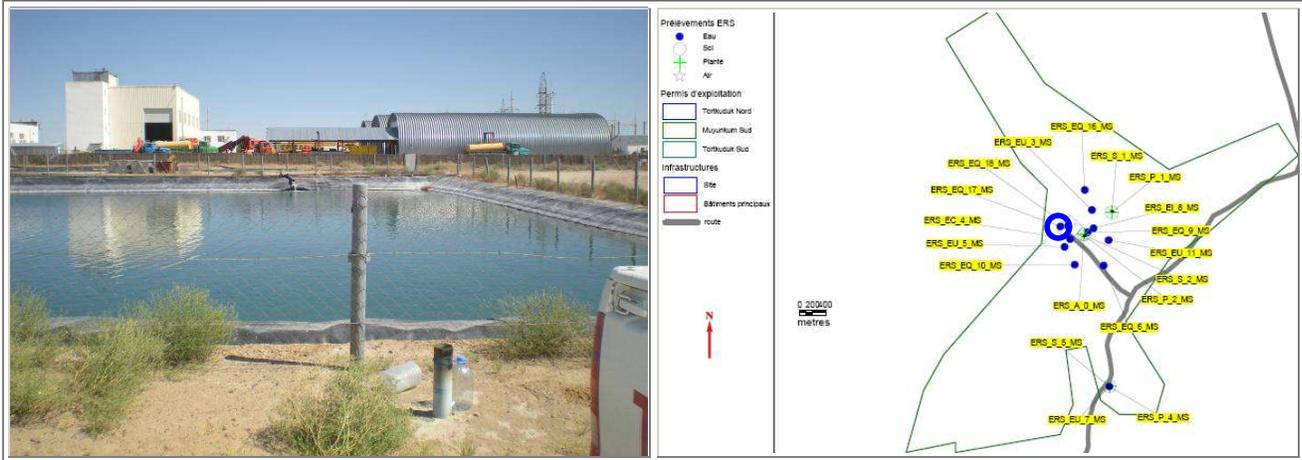
Surveillance de la décharge domestique, prélèvement par sonde car le débit est trop faible.

Evaluation des Risques Sanitaires KATCO

Fiche de prélèvement



N° identifiant ERS	ERS_EQ_17_MS	
Lieu	Muyunkum Sud	
Coordonnées	X 116 287,64	Y 123 189,67
Date	27/06/2009	
Compartiment	Eau Quatenaire	



Activités environnantes
Population cible

Pz spécial, surveillance des bassins de décantation - MSQ_N_B_01
Population hypothétique / fermier nomade

EAU	Nature	Piézomètre	Aspect	trouble	
	Repère/sol	0.5 m		T°C	
	Niv piézométrique	9.99 m		pH	
	Usage	surveillance		eV	

SOL	Nature		Aspect		
	Profondeur prélevée			Radiométrie	
	Usage				

PLANTE	Nature		Poids	
	Usage			Radiométrie

AIR	Distance/infrastructure		Temps	
	Conditions météo.			Direction

Commentaires

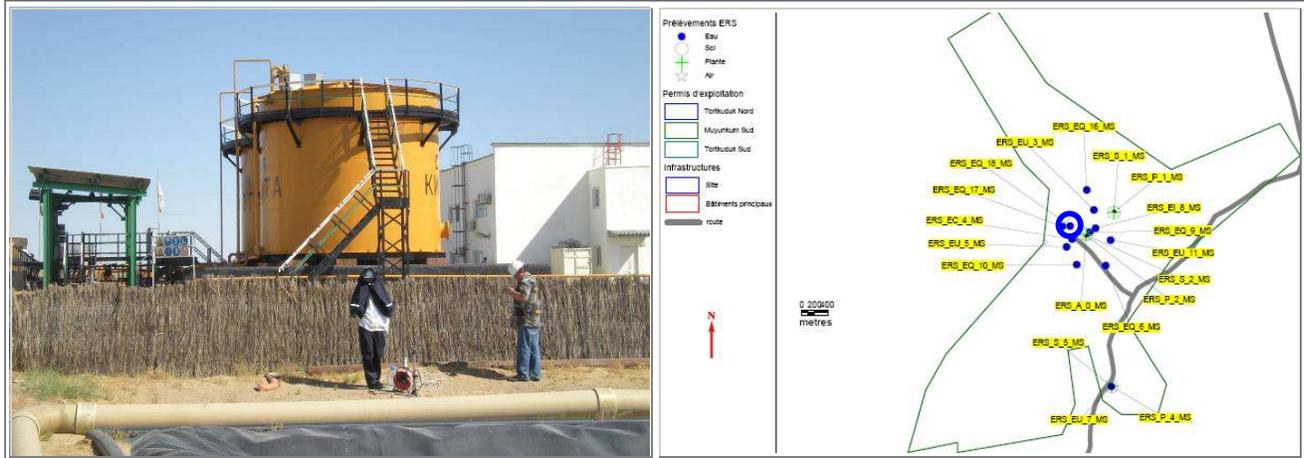
Surveillance du quaternaire, bassin de décantation des jus acides de diverses origines (usine, champs de puits...). Prélèvement à la sonde car débit trop faible.

Evaluation des Risques Sanitaires KATCO

Fiche de prélèvement



N° identifiant ERS	ERS_EQ_18_MS	
Lieu	Muyunkum Sud	
Coordonnées	X 116 405,92	Y 123 195,82
Date	28/06/2009	
Compartiment	Eau Quatenaire	



Activités environnantes
Population cible

Pz spécial, stockage H2SO4 et bassin décantation - MSQ_N_B_03

Population hypothétique / Fermiers nomades

EAU	Nature	Piézomètre	Aspect	trouble	
	Repère/sol	0.4 m		T°C	
	Niv piézométrique	10.64 m		pH	
	Usage	surveillance		eV	

SOL	Nature		Aspect		
	Profondeur prélevée			Radiométrie	
	Usage				

PLANTE	Nature		Poids	
	Usage			Radiométrie

AIR	Distance/infrastructure		Temps	
	Conditions météo.			Direction

Commentaires

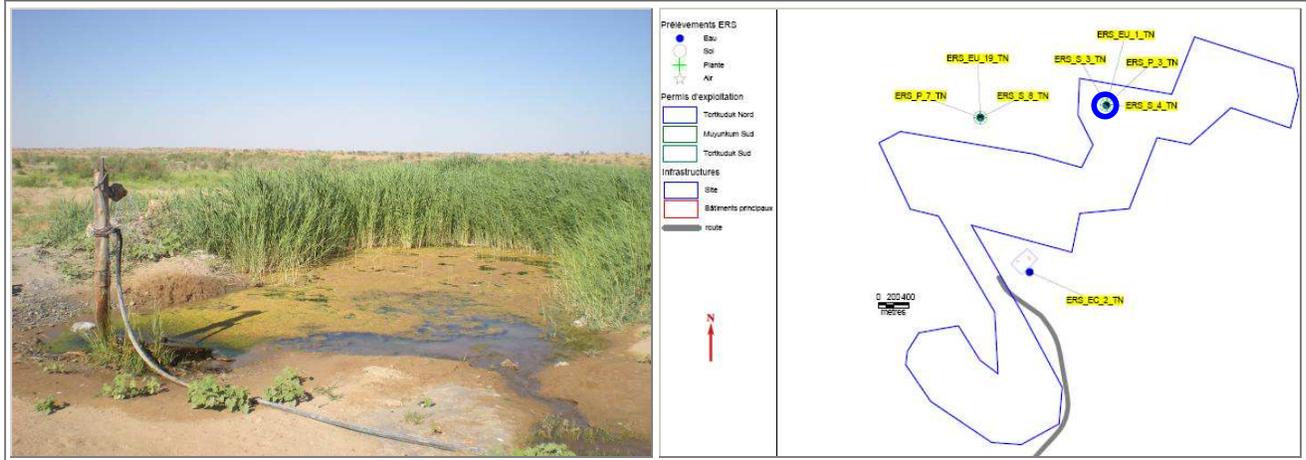
Surveillance du quaternaire, bassin de décantation des jus acides de diverses origines (usine, champs de puits...) et stockage de l'acide sulfurique. Prélèvement à la sonde car débit trop faible.

Evaluation des Risques Sanitaires KATCO

Fiche de prélèvement



N° identifiant ERS	ERS_EU_1_TN	
Lieu	Tortkuduk Nord	
Coordonnées	X 140109,98	Y 161075,31
Date	24/06/2009	
Compartiment	Eau Uyük	



Activités environnantes
Population cible

Milieu naturel, oasis due à l'écoulement du puits - 248 (T15)

Fermiers nomades

EAU

Nature
Repère/sol
Niv piézométrique
Usage

Forage
0
artésien
Abandon

Aspect
T°C
pH
eV

Clair

SOL

Nature
Profondeur prélevée
Usage

Aspect
Radiométrie

PLANTE

Nature
Usage

Poids
Radiométrie

AIR

Distance/infrastructure
Conditions météo.

Temps
Direction

Commentaires

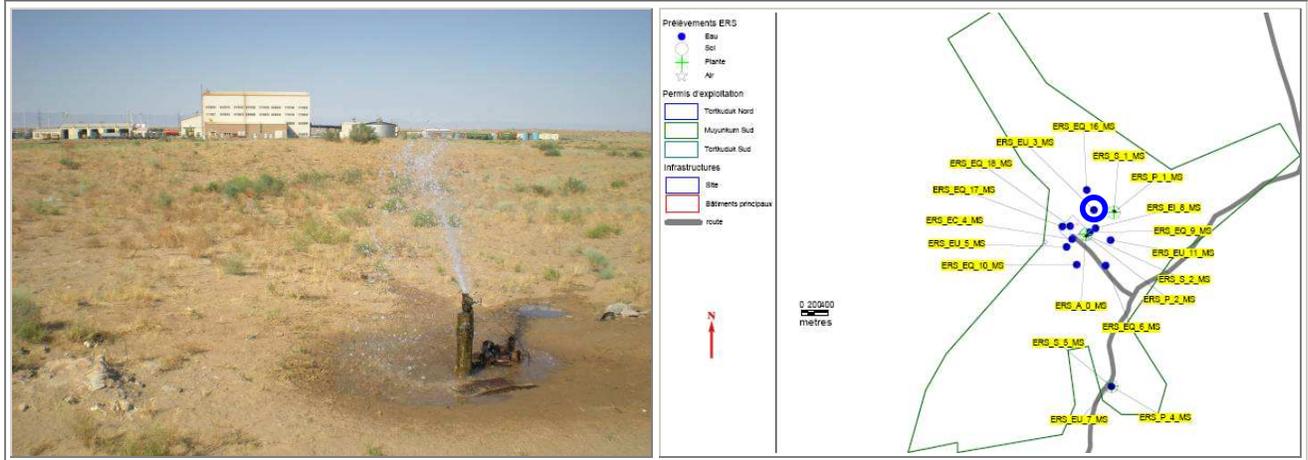
Forage d'exploration abandonné. Non rebouché et artésien il fuit depuis l'Uyük et à créé un oasis autour

Evaluation des Risques Sanitaires KATCO

Fiche de prélèvement



N° identifiant ERS	ERS_EU_3_MS	
Lieu	Muyunkum Sud	
Coordonnées	X 116771,51	Y 123444,88
Date	25/06/2009	
Compartiment	Eau Uyük	



Activités environnantes
Population cible

Piézomètre de contour de Muyunkum - MSU_N15
Population hypothétique / fermiers nomades

EAU	Nature	Piézomètre	Aspect	claire	
	Repère/sol	-		T°C	
	Niv piézométrique	Artésien		pH	
	Usage	Aucun normalement		eV	

SOL	Nature		Aspect		
	Profondeur prélevée			Radiométrie	
	Usage				

PLANTE	Nature		Poids	
	Usage			Radiométrie

AIR	Distance/infrastructure		Temps	
	Conditions météo.			Direction

Commentaires

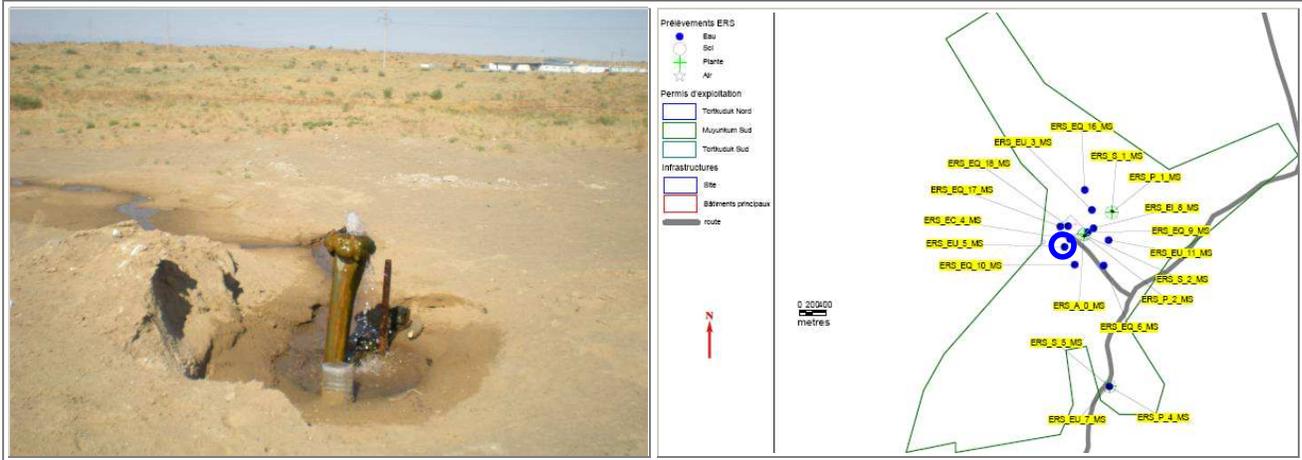
Piézomètre de surveillance dont le robinet à été cassé (fermiers nomades pour consommation ?)

Evaluation des Risques Sanitaires KATCO

Fiche de prélèvement



N° identifiant ERS	ERS_EU_5_MS	
Lieu	Muyunkum Sud	
Coordonnées	X 1166352,26	Y 122875,74
Date	25/06/2009	
Compartiment	Eau Uyük	



Activités environnantes
Population cible

Piézomètre de contour, distance ISR = 120 m - MSU_N_24 aval
Population hypothétique / fermiers nomades

EAU	Nature	Piézomètre	Aspect	claire	
	Repère/sol	-		T°C	
	Niv piézométrique	Artésien		pH	
	Usage	Aucun normalement		eV	

SOL	Nature		Aspect		
	Profondeur prélevée			Radiométrie	
	Usage				

PLANTE	Nature		Poids	
	Usage			Radiométrie

AIR	Distance/infrastructure		Temps	
	Conditions météo.			Direction

Commentaires

Piézomètre de surveillance dont le robinet à été cassé (fermiers nomades pour consommation ?)

Evaluation des Risques Sanitaires KATCO

Fiche de prélèvement



N° identifiant ERS	ERS_EU_7_MS	
Lieu	Muyunkum Sud	
Coordonnées	X 117037,82	Y 120731,82
Date	25/06/2009	
Compartiment	Eau Uyük	



Activités environnantes
Population cible

Milieu naturel, oasis due à l'écoulement du puits - 288 (M7)
Fermiers nomades

EAU

Nature
Repère/sol
Niv piézométrique
Usage

Forage
-
-
Consommation

Aspect
T°C
pH
eV

Jaunâtre

SOL

Nature
Profondeur prélevée
Usage

Aspect
Radiométrie

PLANTE

Nature
Usage

Poids
Radiométrie

AIR

Distance/infrastructure
Conditions météo.

Temps
Direction

Commentaires

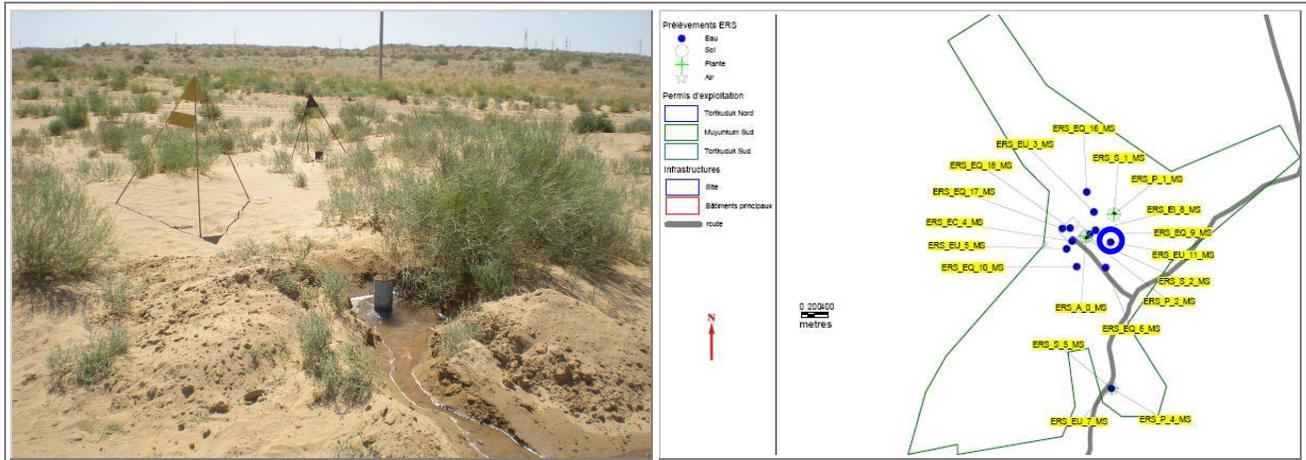
Forage fermier artésien qui créé un oasis.

Evaluation des Risques Sanitaires KATCO

Fiche de prélèvement



N° identifiant ERS	ERS_EU_11_MS	
Lieu	Muyunkum Sud	
Coordonnées	X 117 026,2	Y 122 980,6
Date	26/06/2009	
Compartiment	Eau Uyük	



Activités environnantes
Population cible

Pz de contour dans Uyük, Zone ISR - MSU_N_14_2 amont
Fermiers nomades

EAU	Nature	Piézomètre	Aspect	claire	
	Repère/sol	-		T°C	
	Niv piézométrique	Artésien		pH	
	Usage	surveillance		eV	

SOL	Nature		Aspect		
	Profondeur prélevée			Radiométrie	
	Usage				

PLANTE	Nature		Poids	
	Usage			Radiométrie

AIR	Distance/infrastructure		Temps	
	Conditions météo.			Direction

Commentaires

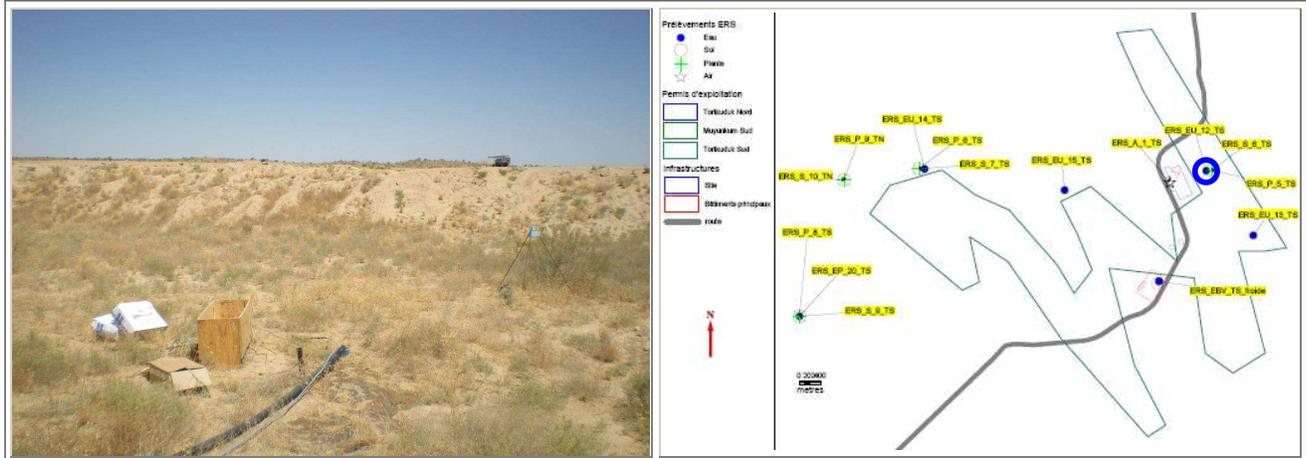
Surveillance de l'Uyük, témoin de l'auréole de pollution de la zone ISR.

Evaluation des Risques Sanitaires KATCO

Fiche de prélèvement



N° identifiant ERS	ERS_EU_12_TS	
Lieu	Tortkuduk Sud	
Coordonnées	X 139 073,73	Y 152 644,25
Date	26/06/2009	
Compartiment	Eau Uyuk	



Activités environnantes
Population cible

Piézomètre de contour dans Uyuk, Zone ISR - TSU_N_27 aval
Fermiers nomades

EAU	Nature	Piézomètre	Aspect	claire	
	Repère/sol	0.1 m		T°C	
	Niv piézométrique	15 m		pH	
	Usage	surveillance		eV	

SOL	Nature		Aspect		
	Profondeur prélevée			Radiométrie	
	Usage				

PLANTE	Nature		Poids	
	Usage			Radiométrie

AIR	Distance/infrastructure		Temps	
	Conditions météo.			Direction

Commentaires

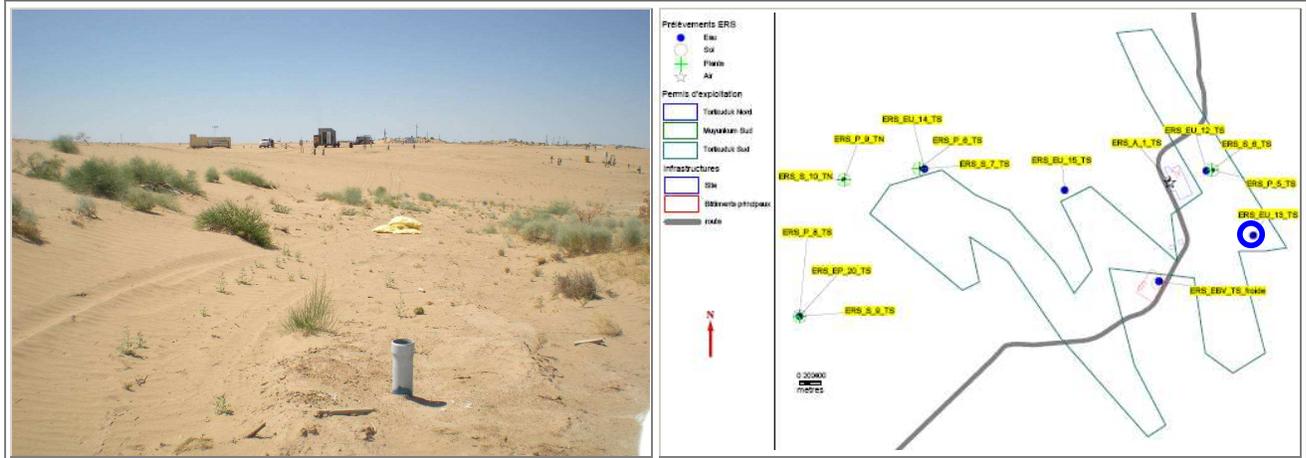
Surveillance de l'Uyuk, témoin de l'auréole de pollution de la zone ISR.

Evaluation des Risques Sanitaires KATCO

Fiche de prélèvement



N° identifiant ERS	ERS_EU_13_TS	
Lieu	Tortkuduk Sud	
Coordonnées	X 139 937,84	Y 151 451,28
Date	26/06/2009	
Compartiment	Eau Uyük	



Activités environnantes
Population cible

Piézomètre de contour dans Uyük, Zone ISR - TSU_N_29 amont
Fermiers nomades

EAU	Nature	Piézomètre	Aspect	claire	
	Repère/sol	0.3 m		T°C	
	Niv piézométrique	22.01 m		pH	
	Usage	surveillance		eV	

SOL	Nature		Aspect		
	Profondeur prélevée			Radiométrie	
	Usage				

PLANTE	Nature		Poids	
	Usage			Radiométrie

AIR	Distance/infrastructure		Temps	
	Conditions météo.			Direction

Commentaires

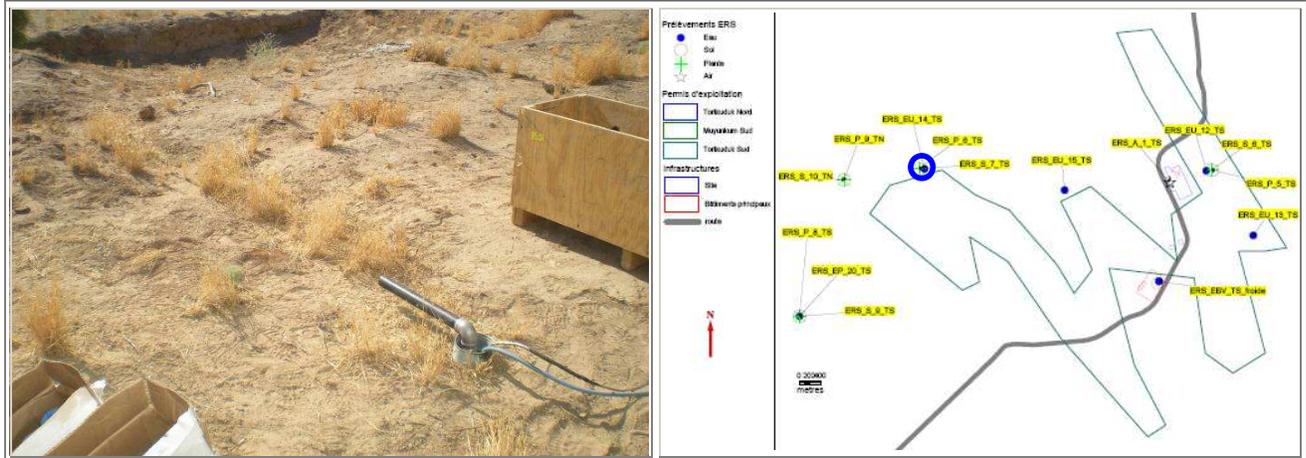
Surveillance de l'Uyük, témoin de l'auréole de pollution de la zone ISR.

Evaluation des Risques Sanitaires KATCO

Fiche de prélèvement



N° identifiant ERS	ERS_EU_14_TS	
Lieu	Tortkuduk Sud	
Coordonnées	X 133 889	Y 152 677
Date	27/06/2009	
Compartiment	Eau Uyük	



Activités environnantes
Population cible

Pz régional, 200 m gîte Uranifère, 5 km ISR actuelle - TSU_N_14
Etat initial

EAU	Nature	Piézomètre	Aspect	trouble	
	Repère/sol	0.1 m		T°C	
	Niv piézométrique	19.19 m		pH	
	Usage	surveillance		eV	

SOL	Nature		Aspect		
	Profondeur prélevée			Radiométrie	
	Usage				

PLANTE	Nature		Poids	
	Usage			Radiométrie

AIR	Distance/infrastructure		Temps	
	Conditions météo.			Direction

Commentaires

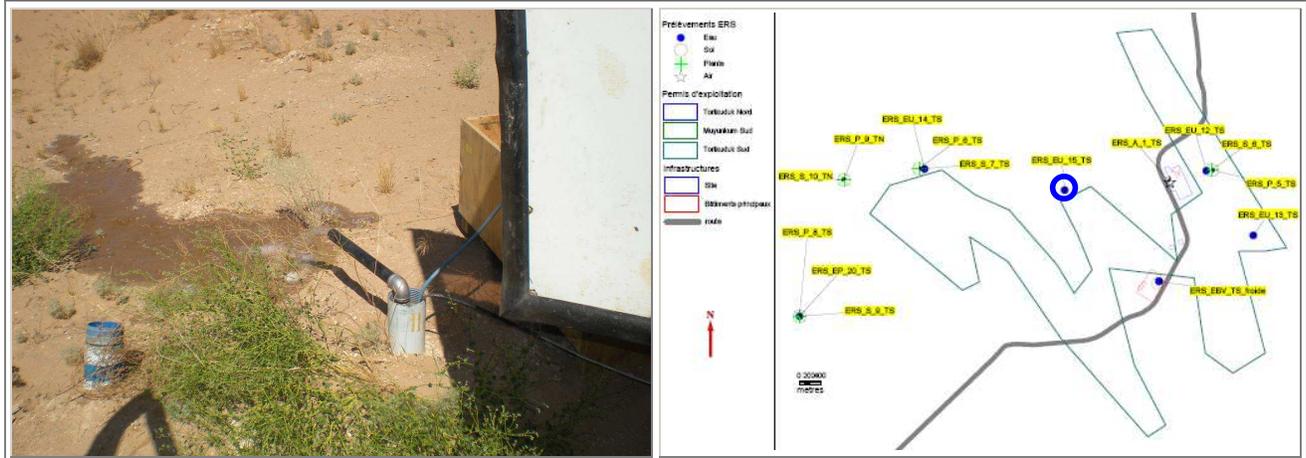
Surveillance de l'Uyük, témoin de l'état initial.

Evaluation des Risques Sanitaires KATCO

Fiche de prélèvement



N° identifiant ERS	ERS_EU_15_TS	
Lieu	Tortkuduk Sud	
Coordonnées	X 136 466,5	Y 152 286,98
Date	27/06/2009	
Compartiment	Eau Uyük	



Activités environnantes
Population cible

Pz régional, 200 m gîte Uranifère, 2,6 km ISR actuel - TSU_N11_2
Etat initial

EAU

Nature
Repère/sol
Niv piézométrique
Usage

Piézomètre
0.2 m
22.34 m
surveillance

Aspect
T°C
pH
eV

claire

SOL

Nature
Profondeur prélevée
Usage

Aspect
Radiométrie

PLANTE

Nature
Usage

Poids
Radiométrie

AIR

Distance/infrastructure
Conditions météo.

Temps
Direction

Commentaires

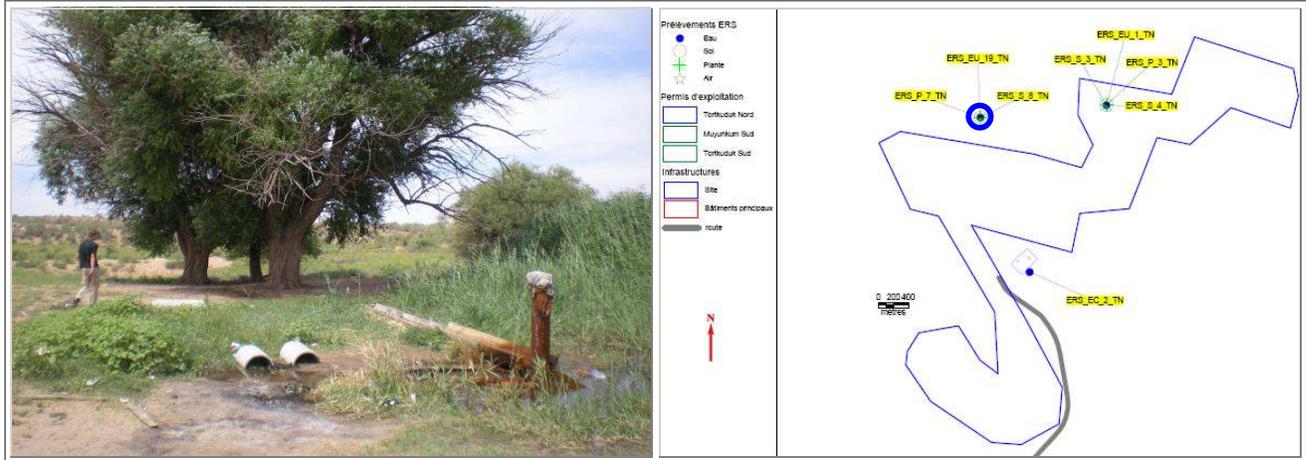
Surveillance de l'Uyük, témoin de l'état initial.

Evaluation des Risques Sanitaires KATCO

Fiche de prélèvement



N° identifiant ERS	ERS_EU_19_TN	
Lieu	Tortkuduk Nord	
Coordonnées	X 138 421,06	Y 160 908,4
Date	03/07/2009	
Compartiment	Eau Uyük	



Activités environnantes
Population cible

Forage artésien, proximité d'un hivernage - 3 arbres (3A-T17)
Fermiers nomades

EAU

Nature
Repère/sol
Niv piézométrique
Usage

Forage artésien
-
-
Agricole, consommation

Aspect
T°C
pH
eV

claire

SOL

Nature
Profondeur prélevée
Usage

Aspect
Radiométrie

PLANTE

Nature
Usage

Poids
Radiométrie

AIR

Distance/infrastructure
Conditions météo.

Temps
Direction

Commentaires

Forage artésien utilisé par les fermiers pour les troupeaux et pour eux, lieu de passage fréquent (bord de la piste Tortkuduk-tasty)

Abstract

Characterization of the different exposure vectors for the Health Hazard Assessment (HHA) – Case of Katco (Kazakhstan).

ISR (In Situ Recovery) technique of uranium extraction offers numerous environmental advantages however we still don't know very well its sanitary impact. This study aims to identify the exposure vectors of the surrounding populations who live near a mine using this process. It is based on the case of AREVA uranium mine in Kazakhstan.

This work goes in front of the future realization of an HRA (Health Risk Assessment) of this site by an independent company. Therefore the study follows the first logical HRA steps which it leads up to the end. It considers all the compartments (water, air, soil and plant) and all exposures (short and long term). It concerns all substances identified as dangerous.

Twenty pollutants were identified and characterized. Forty eight samples, recorded on a GIS, were taken according to the sampling plan, in all the compartments. Sanitary risk calculation doesn't show any real impacts for current exposures. However it exists in well fields which must be survey in the future. The most worrying transfer and exposure vectors are the groundwater for the farmers. The risk bound to the air has to be revalued.

According to this conclusion and to the establishment of the limits and the perspectives of the study, it was possible to propose recommendations for the management of sites and their rehabilitations. Afterwards these observations will be use for the elaboration of the future HRA. Soon, the study of the sample analyses will quantify the sanitary risks and will bring important precision on this mining activity impact.

CHEVÉ	Julien	29/09/2009
<p style="text-align: center;">Ingénieur en Génie Sanitaire Promotion 2009</p>		
<p style="text-align: center;">Caractérisation des vecteurs d'exposition pour la réalisation d'une Évaluation des Risques Sanitaires (ERS) – Cas de Katco (Kazakhstan)</p>		
<p>Résumé :</p> <p>La technique d'extraction d'uranium par ISR (In Situ Recovery) offre de nombreux avantages environnementaux cependant on en connaît encore mal l'impact sanitaire. Ce mémoire a pour but de caractériser les vecteurs d'exposition des populations environnantes d'une exploitation minière utilisant ce procédé. Il est basé sur le cas de la mine d'uranium d'AREVA au Kazakhstan.</p> <p>Ces recherches s'inscrivent dans la réalisation future d'une ERS (Evaluation des Risques Sanitaires) de ce site par un organisme indépendant. C'est pourquoi l'étude suit les premières étapes logiques d'une ERS. Elle considère l'ensemble des compartiments (eau, air, sol et plante) et des expositions (courtes et longues). Elle porte sur le risque de toutes les substances identifiées comme dangereuses.</p> <p>Vingt polluants ont été identifiés et caractérisés. La campagne d'échantillonnage a conduit à effectuer quarante-huit prélèvements, référencés sous SIG, dans tous les compartiments. Le calcul des risques sanitaires n'a pas mis en évidence de réels impacts pour les expositions actuelles. Cependant il en existe au niveau des champs de puits qui seront à surveiller dans le futur. Les vecteurs d'exposition les plus préoccupants sont les transferts de pollution via l'eau souterraine pour les fermiers nomades. Le risque lié à l'air est à réévaluer.</p> <p>Ces conclusions, ainsi que l'établissement des limites et des perspectives de l'étude ont permis de proposer des recommandations quant à la gestion des sites et de leurs réhabilitations. De plus ces observations serviront à l'élaboration d'un cahier des charges pour la future ERS.</p>		
<p>Mots clés : Crystal Ball, Eau, exposition, hydrogéologie, In Situ Recovery, Kazakhstan, métaux lourds, risques sanitaires, roll front, uranium, vecteur.</p>		
<p style="text-align: center;"><i>L'Ecole des Hautes Etudes en Santé Publique n'entend donner aucune approbation ni improbation aux opinions émises dans les mémoires : ces opinions doivent être considérées comme propres à leurs auteurs.</i></p>		