

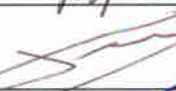

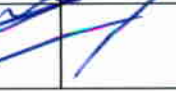


IRSNINSTITUT
DE RADIOPROTECTION
ET DE SÛRETÉ NUCLÉAIRE

Sites miniers d'uranium de SOMAIR et COMINAK (Niger)

Bilan de la mission sur site en mai 2004,
appréciation de l'impact radiologique,
et avis sur le réseau de surveillance de
l'environnement

DIRECTION DE L'ENVIRONNEMENT
ET DE L'INTERVENTION
Service d'analyse des risques liés à la géosphère

Demandeur	COGEMA				
Référence de la demande	Courrier COGEMA Ref CE/U-FG3200/V/04-0014				
Numéro de la fiche programme	C02/I-03F0/03-01				
<p>Sites miniers d'uranium de SOMAIR et COMINAK (Niger)</p> <p>Bilan de la mission sur site de mai 2004, appréciation de l'impact radiologique et avis sur le réseau de surveillance de l'environnement</p> <p>Laboratoire d'étude du radon et d'analyse des risques Laboratoire d'étude des transferts dans les sols et le sous-sol</p> <p>Rapport DEI/SARG n°05-05</p> <p>A.C. Servant, B. Cessac, S. Bassot</p>					
	Réservé à l'unité		Visas pour diffusion		
	Auteur(s)	Vérificateur*	Chef du SARG	Directeur DEI	Directeur Général de l'IRSN
Noms	A.C. SERVANT et al	D. GAY	J.M. PERES	D. CHAMPION	J. REPUSSARD
Dates	22/03/2005	22/03/2005	23/03/05	24/03/05	
Signatures					

* rapport sous assurance de la qualité

SOMMAIRE

1 AVANT PROPOS	8
2 CARACTERISTIQUES DE L'ENVIRONNEMENT DES SITES	8
2.1 Les sites.....	8
2.1.1 SOMAIR	8
2.1.2 COMINAK	8
2.2 Situation géographique et démographique.....	9
2.3 Climatologie.....	9
2.3.1 Température	9
2.3.2 Hydrologie	10
2.3.3 Vents dominants	10
2.3.4 Hydrogéologie	11
3 BILAN DE LA MISSION IRSN DE MAI 2004 SUR LES SITES SOMAIR ET COMINAK.....	11
3.1 Contexte de la mission	11
3.2 Les sources de contamination de l'environnement	12
3.2.1 Les activités minières	12
3.2.2 L'exploitation des ressources en eaux	13
3.3 Description des réseaux de surveillance en place	14
3.4 Bilan des mesures de débits de dose réalisées par l'IRSN	16
3.4.1 Site SOMAIR	16
3.4.1.1 Résultats des mesures	16
3.4.1.2 Commentaires.....	18
3.4.2 Site COMINAK	19
3.4.2.1 Résultats des mesures	19
3.4.2.2 Commentaires.....	20
3.5 Bilan des analyses de sol réalisées par l'IRSN	21
3.5.1 Milieu naturel de référence	21
3.5.2 Site SOMAIR	22
3.5.2.1 Résultats des analyses	22
3.5.2.2 Commentaires.....	22
3.5.3 Site COMINAK	23
3.5.3.1 Résultats des analyses	23
3.5.3.2 Commentaires.....	24
3.5.4 Commentaire général	24
3.6 Bilan des analyses d'eau réalisées par l'IRSN	25
3.6.1 Résultats des analyses	25
3.6.2 Commentaires	25
3.7 Bilan des prélèvements de poussières réalisés par l'IRSN	27
3.7.1 Résultats	27
3.7.2 Commentaires	27

3.8 Les mesures sur les ferrailles du marché d'Arlit	27
4 EVALUATION PAR L'IRSN DE L'IMPACT RADIOLOGIQUE DES SITES	28
4.1 Généralités	28
4.2 Scénarios d'exposition.....	30
4.2.1 Groupes de population et emplois du temps.....	30
4.2.2 Consommation.....	30
4.3 Référence milieu naturel	31
4.4 Dose efficace ajoutée par exposition externe au rayonnement gamma	31
4.4.1 Estimation du débit de dose ajoutée	31
4.4.2 Calcul de la dose efficace ajoutée par exposition externe	32
4.5 Dose efficace ajoutée par inhalation de radon 220 et de radon 222	33
4.5.1 Estimation de l'énergie alpha potentielle ajoutée.....	33
4.5.2 Calcul de la dose efficace ajoutée par inhalation de radon	33
4.6 Dose efficace ajoutée par inhalation de poussières	34
4.6.1 Activité volumique ajoutée dans l'air	34
4.6.2 Calcul de la dose efficace ajoutée par inhalation de poussières radioactives.....	35
4.7 Dose efficace ajoutée par ingestion.....	36
4.7.1 activité massique ajoutée des aliments et de l'eau de boisson	36
4.7.2 Calcul de la dose efficace ajoutée par ingestion.....	37
4.7.2.1 Résultats SOMAIR.....	39
4.7.2.2 Site COMINAK.....	40
4.8 Dose efficace totale ajoutée	42
4.8.1 Calcul des doses	42
4.8.2 Parts des voies d'exposition dans la dose totale	43
4.8.2.1 Site SOMAIR.....	43
4.8.2.2 Site COMINAK.....	44
4.9 Conclusion	45
5 IMPACT DE LA REUTILISATION DES FERRAILLES.....	46
5.1 Problématique du recyclage des ferrailles	46
5.2 Les scénarios de recyclage des ferrailles considérés par l'IRSN	47
5.2.1 Validation des hypothèses de calculs.....	47
5.2.2 Exposition d'un ferrailleur	48
5.2.3 Exposition d'un individu dans un potager.....	49
5.3 Les mesures mises en place par les sociétés minières	49
5.4 Commentaire général.....	50
6 EVALUATION PAR L'IRSN DU RESEAU DE SURVEILLANCE DE L'ENVIRONNEMENT	50
6.1 Les termes sources	50
6.2 Les voies de transfert de radioéléments	51
6.2.1 Vecteur air.....	51

6.2.1.1 Le plan de prélèvement des analyses de sol	51
6.2.1.2 Le prélèvement et l'analyse des poussières	52
6.2.1.3 Les mesures du radon.....	52
6.2.1.4 L'évaluation de l'exposition externe.....	52
6.2.2 Vecteur eau.....	52
6.2.3 Vecteur alimentation	53
6.3 Les groupes de population exposés.....	53
6.4 Le réseau de surveillance du bruit de fond naturel	54
6.5 La dissémination des matériaux contaminés dans l'environnement	54
7 CONCLUSION	56
8 REFERENCES.....	58
ANNEXE A : COURRIER DE COGEMA	60
ANNEXE B : EQUIPES DE SOMAIR ET COMINAK AYANT PARTICIPE A LA MISSION IRSN	63
ANNEXE C : STATIONS DE SURVEILLANCE	64
ANNEXE D : PRELEVEMENTS DE SOL ACTUELS	66
ANNEXE E : PRELEVEMENTS DE SOLS ANTERIEURS A 1999	67
ANNEXE F : LOCALISATION DES ZONES HABITEES ETUDIEES	69
ANNEXE G : COEFFICIENTS DE DOSE APPLIQUES POUR L'INHALATION DE POUSSIERS	70

LISTE DES TABLEAUX

tableau 1 : bilan des mesures de débit de dose - SOMAIR - mission IRSN mai 2004	17
tableau 2 : bilan des mesures de débit de dose au niveau des stations COMINAK - mission IRSN mai 2004	19
tableau 3 : résultats des analyses de sol - activité (Bq.kg ⁻¹) - milieu naturel de référence (Douane) - mission IRSN mai 2004.....	21
tableau 4 : résultats des analyses de sol - activité (Bq.kg ⁻¹) - fraction 50 µm - 2mm - SOMAIR - mission IRSN mai 2004	22
tableau 5 : résultats des analyses de sol - activité (Bq.kg ⁻¹) - fraction <50 µm - SOMAIR - mission IRSN mai 2004	22
tableau 6 : résultats des analyses de sol - activité (Bq.kg ⁻¹) - fraction 50 µm - 2mm - COMINAK - mission IRSN mai 2004	23
tableau 7 : résultats des analyses de sol - activité (Bq.kg ⁻¹) - fraction <50 µm - COMINAK - mission IRSN mai 2004	23
tableau 8 : résultats des analyses d'eau - SOMAIR - mission IRSN mai 2004	25
tableau 9 : résultats des analyses d'eau - COMINAK - mission IRSN mai 2004	25
tableau 10 : résultats des analyses de poussières SOMAIR - COMINAK - mission IRSN mai 2004 ...	27
tableau 11 : résultats des frottis et des mesures de débit de dose sur les ferrailles SOMAIR - COMINAK - mission IRSN mai 2004.....	28
tableau 12 : description des groupes pris en compte par l'IRSN dans ses calculs.....	30
tableau 13 : hypothèses retenues par l'IRSN pour les régimes alimentaires	31
tableau 14 : débit de dose gamma ajoutée en chacune des localisations	32
tableau 15 : dose efficace ajoutée due à l'exposition externe (mSv.an ⁻¹).....	32
tableau 16 : surveillance radiologique autour des sites - Energie alpha potentielle (EAP) due au radon 220 et au radon 222	33
tableau 17 : dose efficace ajoutée due à l'inhalation de radon (mSv.an ⁻¹).....	34
tableau 18 : activité volumique en émetteurs alpha à vie longue des poussières en suspension - mesures COGEMA 2003.....	35
tableau 19 : dose efficace ajoutée due à l'inhalation de poussières (mSv.an ⁻¹)	36
tableau 20 : activité massique ajoutée des aliments produits localement - différence entre valeur mesurée et valeur moyenne milieu naturel*- mesures COGEMA réseau de surveillance.....	36
tableau 21 : concentrations volumiques ajoutées des eaux de boisson.	37
tableau 22 : dose efficace ajoutée due à l'ingestion (mSv.an ⁻¹)- calcul IRSN	38
tableau 23 : dose efficace totale ajoutée (mSv.an ⁻¹)- calcul IRSN	42
tableau 24: Comparaison des débits de dose mesurés et calculés sur un tuyau de collecte des eaux d'exhaure de mines.....	48

LISTE DES FIGURES

figure 1 : situation géographique du Niger et des villes d'Arlit et d'Akokan (source COMINAK)	9
figure 2 : températures extrêmes et amplitudes thermiques à la station d'Arlit (source COMINAK)	9
figure 3 : pluviométrie mesurée à la station d'Arlit (source COMINAK)	10
figure 4 : rose des vents mesurée à la station d'Arlit	10
figure 5 : affleurement de la nappe du Tarat au fond de la mine à ciel ouvert Ariège (SOMAIR)	11
figure 6 : verses de résidus de traitements de minerais d'uranium (respectivement SOMAIR et COMINAK).....	13
figure 7 : potager et élevage de chameaux à Arlit.....	14
figure 8 : instrumentation de la station de suivi environnemental du puits 2002 (SOMAIR).....	15
figure 9 : borne matérialisant l'emplacement d'un point de mesure d'une radiale (SOMAIR)	15
figure 10 : plants de zogalas après la récolte des feuilles.....	16
figure 11 : débits de dose (nSv.h-1) mesurés le long de la radiale XR3 pour le site SOMAIR.....	18
figure 12 : environnement de la station puits 214	18
figure 13 : débits de dose (nSv.h-1) mesurés dans l'environnement du site COMINAK par rapport aux vents dominants.....	20
figure 14 : activités massiques de la fraction inférieure à 50 µm (Bq.Kg-1) mesurées dans l'environnement du site COMINAK par rapport aux vents dominants.....	23
figure 15 : part des différents aliments dans la dose efficace ajoutée par ingestion- SOMAIR.....	39
figure 16 : part des différents radioéléments dans la dose par ingestion- SOMAIR	40
figure 17 : part des différents aliments dans la dose efficace ajoutée par ingestion- COMINAK.....	41
figure 18 : part des différents radioéléments dans la dose par ingestion- COMINAK.....	41
figure 19 : part des diverses voies d'exposition dans le calcul de la dose efficace ajoutée pour les adultes -SOMAIR.....	43
figure 20 : part des diverses voies d'exposition dans le calcul de la dose efficace ajoutée pour les enfants -SOMAIR.....	44
figure 21 : part des diverses voies d'exposition dans le calcul de la dose efficace ajoutée pour les adultes -COMINAK.....	44
figure 22 : part des diverses voies d'exposition dans le calcul de la dose efficace ajoutée pour les enfants -COMINAK.....	45
figure 23 : mesure de débits de dose au marché aux ferrailles d'Arlit	47
figure 24 : ustensiles de cuisine provenant du recyclage d'anciens fûts (marché d'Arlit)	47

1 AVANT PROPOS

Le présent rapport fait suite au courrier CE/U-FG3200/V/04-0014 du 2 mars 2004, par lequel COGEMA demande à l'IRSN de lui transmettre une appréciation indépendante sur le réseau de surveillance et l'impact radiologique associés aux mines d'uranium exploitées par ses filiales SOMAIR et COMINAK, au Nord du Niger (cf. ANNEXE A).

L'analyse effectuée par l'IRSN s'est appuyée sur deux sources d'information principales : les données recueillies à l'occasion de la mission organisée du 10 au 15 mai 2004 sur les deux sites concernés, et le contenu des divers dossiers transmis par COGEMA (un dossier [1] remis en avril 2004 et des documents complémentaires [2] à [7] transmis par la suite).

Le rapport présente successivement :

- le contexte des deux sites miniers (chapitre 2) ;
- le bilan de la mission sur site de mai 2004 (chapitre 3) ;
- une appréciation par l'IRSN de l'impact des sites sur les populations (chapitre 4) ;
- l'évaluation par l'IRSN de l'impact associé à des scénarios génériques de réutilisation de ferrailles issues des sites par les populations alentours (chapitre 5) ;
- l'évaluation par l'IRSN du réseau de surveillance de l'environnement des sites (chapitre 6).

2 CARACTERISTIQUES DE L'ENVIRONNEMENT DES SITES

2.1 LES SITES

2.1.1 SOMAIR

La SOciété des Mines de l'AÏR (SOMAIR) exploite depuis 1969, par mines à ciel ouvert, différents gisements d'uranium situés à 6 kilomètres au Nord-ouest d'Arlit. Le minerai, de teneur en uranium de 3 à 4 ‰, est traité sur place. Le produit issu du traitement se présente sous forme d'uranate de soude contenant 73,5 % d'uranium. Ce produit est expédié par route, puis par voie ferrée jusqu'au Bénin d'où il est envoyé par bateau en France, vers l'usine de COMUHREX Malvésii.

COGEMA est le principal actionnaire de SOMAIR avec 63,4 % des parts.

2.1.2 COMINAK

La COmpagnie Minière d'AKouta (COMINAK) exploite depuis 1976, par mine souterraine (environ 250 m de profondeur), différents gisements d'uranium situés à 10 kilomètres au Sud-ouest d'Arlit. Le minerai, de teneur en uranium de 2 à 6 ‰, est traité sur place. Le produit issu du traitement se présente sous forme d'uranate de magnésie ($Mg_2U_2O_7$) contenant environ 75 % d'uranium.

COGEMA est le principal actionnaire de COMINAK avec 34 % des parts.

2.2 SITUATION GEOGRAPHIQUE ET DEMOGRAPHIQUE

Les deux gisements uranifères, exploités par les sociétés dont COGEMA est actionnaire, se trouvent dans le Nord du Niger, en bordure Sud du Sahara.

Le Niger a une population d'environ 10 millions d'habitants (données de 1999 [2]) ; sa capitale est la ville de Niamey.

Les activités minières ont drainé une forte population et conduit à la création de deux villes : la ville d'Arlit créée en 1969 autour de SOMAIR, et la ville d'Akokan fondée en 1975 en même temps que la deuxième société minière, COMINAK. Les deux villes, distantes d'environ 7 kilomètres, sont situées à 850 kilomètres au Nord-Est de Niamey (cf. figure 1). Selon les chiffres de 1999 [2], l'arrondissement d'Arlit comptait 86 000 habitants et la zone urbaine d'Akokan, environ 39 000.

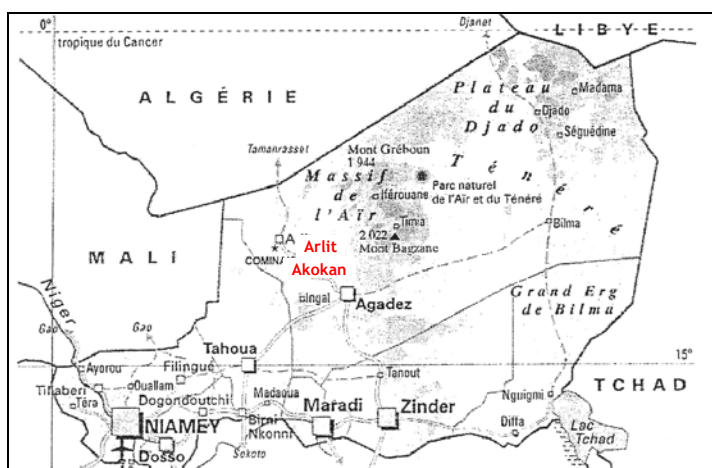


figure 1 : situation géographique du Niger et des villes d'Arlit et d'Akokan (source COMINAK)

2.3 CLIMATOLOGIE

2.3.1 TEMPERATURE

Le climat est celui d'un désert aride chaud caractérisé par une forte température moyenne annuelle (28,7°C), des températures diurnes élevées et une amplitude thermique pouvant atteindre 30°C en milieu exposé (voir la figure 2).

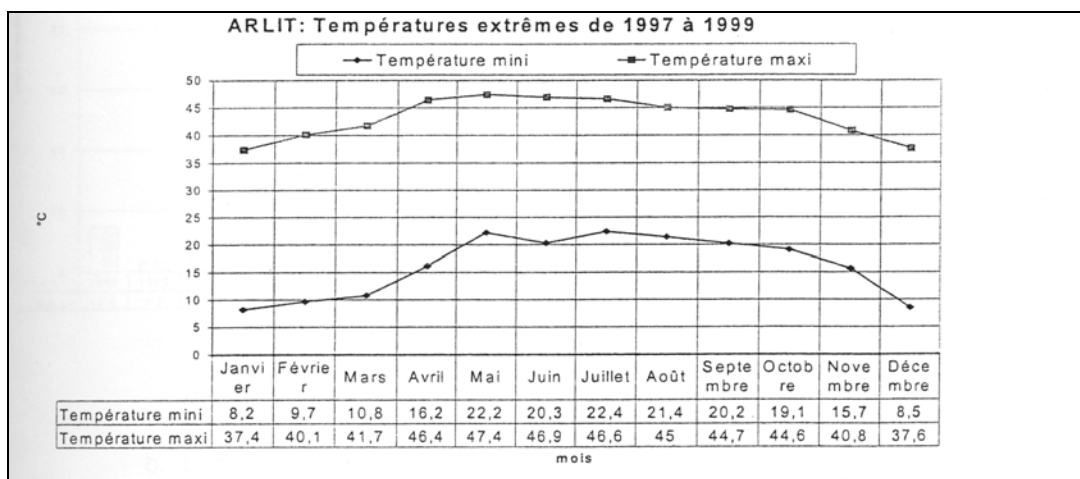


figure 2 : températures extrêmes et amplitudes thermiques à la station d'Arlit (source COMINAK)

2.3.2 HYDROLOGIE

La région est désertique avec des épisodes pluvieux violents et subits, survenant 2 à 3 fois par été. Les précipitations sont en moyenne de 37 mm par an répartis sur 1 à 14 jours de pluie (voir la figure 3, ci-après, d'après [2]). Il n'existe de ce fait aucun cours d'eau permanent local.

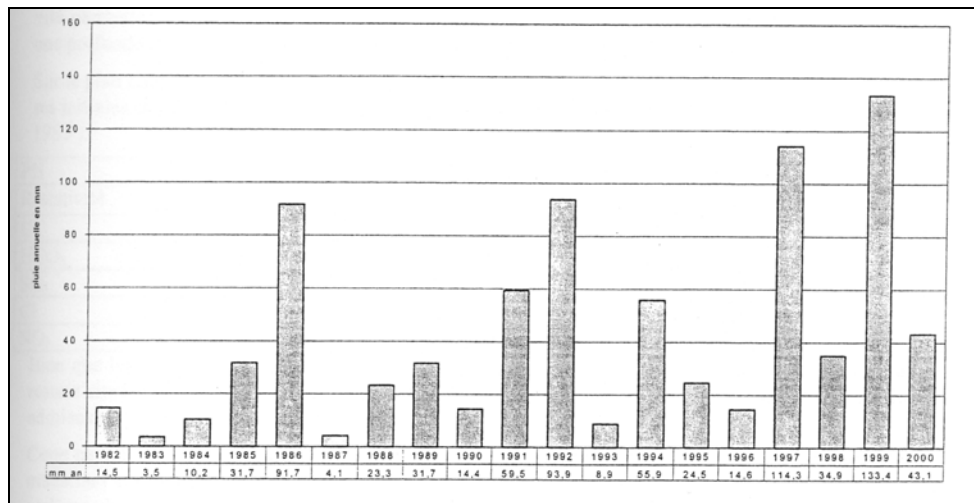


figure 3 : pluviométrie mesurée à la station d'Arlit (source COMINAK)

2.3.3 VENTS DOMINANTS

Les vents associés aux températures élevées sont responsables d'une forte évaporation. Le vent est par ailleurs la principale source de transport des matières érodées. La rose des vents locale fait apparaître une forte prédominance des vents du secteur Nord-Est et dans une moindre mesure des vents du secteur Sud-Est et Sud-Ouest (voir la figure 4, d'après [2]). On observe également des inversions de directions de vent entre la saison sèche et la saison humide.

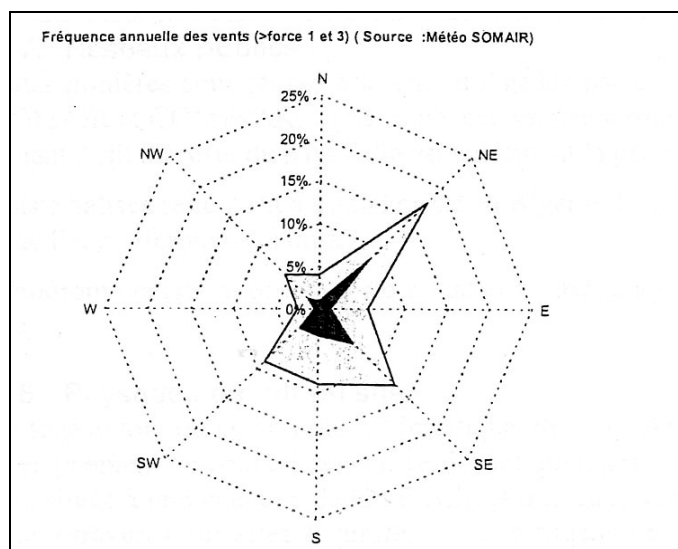


figure 4 : rose des vents mesurée à la station d'Arlit

2.3.4 HYDROGEOLOGIE

La zone d'exploitation des deux sociétés minières SOMAIR et COMINAK est caractérisée par la présence de trois nappes phréatiques, dont l'une sert à la fourniture d'eau potable pour les villes d'Arlit et d'Akokan.

On distingue ainsi [3], de la surface vers le milieu plus profond :

- la nappe phréatique de l'Izégouande, qui s'enracine vers le Sud et est à l'affleurement en zone urbaine. Cette nappe est captive et ne présente pas de bonnes qualités hydrodynamiques ;
- la nappe du Tarat, située à environ 150 mètres de profondeur. Sa particularité est qu'elle baigne dans les formations géologiques uranifères exploitées par SOMAIR (voir la figure 5). Toutefois, les teneurs naturelles en uranium et en radium restent cependant faibles et souvent proches des limites de détection. Cette nappe constitue la réserve d'eau potable des villes d'Arlit et d'Akokan. De ce fait, elle fait l'objet d'une surveillance constante ;



figure 5 : affleurement de la nappe du Tarat au fond de la mine à ciel ouvert Ariège (SOMAIR)

- la nappe du Guézouman, située à environ 250 mètres de profondeur, est abritée par les formations uranifères renfermant les gisements exploités par COMINAK. Cette dernière nappe ne présente pas de bonnes qualités hydrodynamiques. Ses eaux, ainsi que celles du Tarat, sont pompées pour assurer le dénoyage des travaux miniers souterrains et utilisées, après décantation, pour assurer les besoins en eaux industrielles.

3 BILAN DE LA MISSION IRSN DE MAI 2004 SUR LES SITES SOMAIR ET COMINAK

3.1 CONTEXTE DE LA MISSION

Une mission sur site a été organisée du 10 au 15 mai 2004 afin de récolter les informations nécessaires pour répondre à la demande formulée par COGEMA. La mission s'est déroulée en deux fois deux jours, dédiés respectivement aux sites COMINAK et SOMAIR.

La mission sur site avait pour objectif de permettre à l'IRSN de disposer d'une compréhension générale des sites et de leur contexte environnemental, agricole et

humain. Son déroulement a également été l'occasion d'effectuer des mesures de terrain distinctes de celles fournies par le dispositif de surveillance déjà en place. La mission a cependant été conçue comme une mission de reconnaissance légère et ne visait pas à valider les données recueillies par le réseau de mesures actuel des exploitants.

Les mesures qui ont pu être effectuées dans le cadre du déroulement de la mission sont les suivantes :

- mesures systématiques du débit de dose, dans chacune des zones visitées ;
- prélèvements de sols en quelques points représentatifs ;
- prélèvements de poussières sur filtres ;
- frottis et mesures de débit de dose sur des ferrailles potentiellement contaminées issues des activités minières ;
- prélèvements d'eau potable dans plusieurs puits ainsi que prélèvements d'eau d'irrigation dans les bassins d'alimentation des jardins d'Arlit et d'Akokan.

Aucune mesure de radon n'a par contre été réalisée. L'IRSN a en effet considéré que, compte tenu des contraintes de la mission, le caractère ponctuel des mesures envisageables n'aurait permis de tirer aucune conclusion au regard des valeurs moyennes mensuelles issues du réseau de surveillance. De la même manière, pour la chaîne alimentaire, aucun prélèvement autre que l'eau de boisson n'a été fait. Les dates de mission ne correspondaient en effet pas aux périodes de production des jardins.

La mission a été réalisée par M. BASSOT (IRSN/DEI/SARG/LETS) et M. CESSAC (IRSN/DEI/SARG/LERAR), en présence de M. CROCHON de COGEMA, de M. KANDO du Centre National de RadioProtection du Niger (CNRP) et des équipes compétentes de SOMAIR et de COMINAK (voir en ANNEXE B).

3.2 LES SOURCES DE CONTAMINATION DE L'ENVIRONNEMENT

L'un des objectifs de la mission de mai 2004 a consisté pour les équipes de l'IRSN à disposer d'une connaissance minimale de la situation de terrain afin de juger des sources potentielles de contamination de l'environnement et d'exposition des populations. Cette connaissance est évidemment une donnée indispensable pour juger de la pertinence du dispositif de surveillance.

3.2.1 LES ACTIVITES MINIERES

Les activités minières sont des sources de contamination radiologique de l'environnement dans les zones d'Arlit et d'Akokan. On distingue :

- les activités d'extraction elles-mêmes, puis de transport de minerai. Elles constituent une source de dispersion de la radioactivité principalement par l'envol des poussières qu'elles génèrent ;
- les activités de traitement du minerai ;
- les stockages divers (résidus de traitement du minerai, stériles, minerais pauvres - voir la figure 6). L'érosion éolienne des tas de stockage et l'envol de poussières sont une source potentiellement majeure de contamination de l'environnement ;

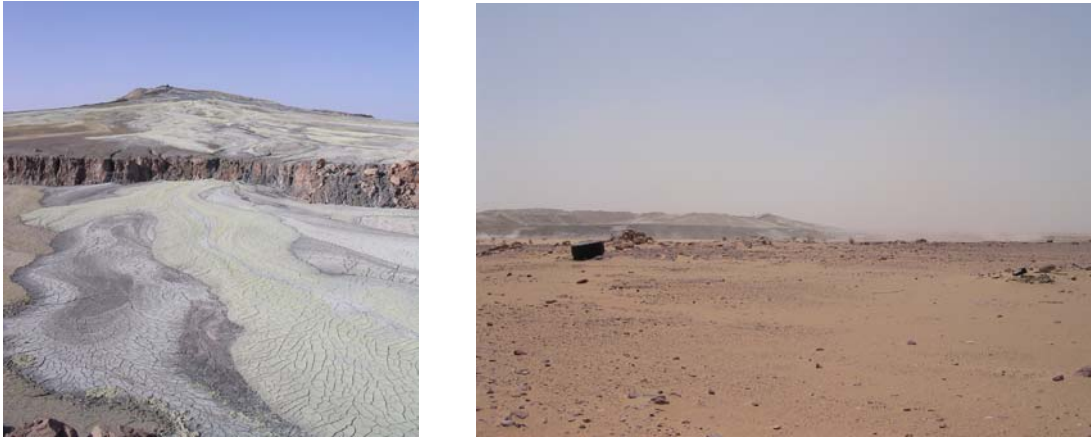


figure 6 : versés de résidus de traitements de minerais d'uranium (respectivement SOMAIR et COMINAK)

- les rejets atmosphériques de radon par les bouches d'aération des travaux miniers souterrains (galeries d'exploitation des gisements d'uranium) ;
- la réutilisation de matériaux issus d'ouvrages miniers ; il est à noter qu'au moins un cas de ce type est avéré. Il a conduit à un marquage de l'environnement dans le cadre de la réalisation de chantiers de travaux publics ;
- l'intrusion sur les sites miniers. Cette problématique se pose essentiellement lorsque des individus ou des animaux peuvent avoir accès à des zones contaminées dans l'emprise des sites miniers ou lorsque les populations alentours exploitent des matériaux (des roseaux par exemple) provenant des sites ;
- le recyclage de ferrailles potentiellement contaminées. Dans le passé, des ferrailles non ou peu décontaminées ont pu sortir des sites miniers et être recyclées pour les besoins des populations locales.

3.2.2 L'EXPLOITATION DES RESSOURCES EN EAUX

Une source d'exposition découlant secondairement de l'activité minière est l'exploitation des ressources en eau que représente la nappe phréatique du Tarat. L'exploitation minière est directement effectuée dans les formations géologiques abritant cette nappe, elle est donc susceptible d'impacter la qualité radiologique des eaux.

La population des villes d'Arlit et d'Akokan est alimentée en eau potable par des forages dans la nappe du Tarat, construits, exploités et contrôlés par les sociétés minières. Les productions agricoles proviennent de jardins dont certains sont irrigués par les eaux usées des villes, préalablement assainies par lagunage.

L'élevage de chameaux et de chèvres pour la production de viande et de lait est également pratiqué sur le secteur. L'abreuvement des troupeaux s'effectue depuis des points d'eau disséminés dans l'environnement des sites. Ces points d'eau sont directement alimentés par des piquages sur des forages profonds exploitant la nappe du Tarat.



figure 7 : potager et élevage de chameaux à Arlit

3.3 DESCRIPTION DES RESEAUX DE SURVEILLANCE EN PLACE

La surveillance de l'environnement des mines d'uranium de SOMAIR et COMINAK est assurée par différents réseaux de mesure implantés autour des installations. Ces réseaux ont pour but de contrôler la contamination de l'environnement et de fournir des données permettant d'évaluer l'impact radiologique sur les populations vivant au voisinage des installations minières.

Lors de la mission sur site, l'IRSN a visité l'ensemble de ces réseaux de surveillance.

Le réseau de stations de suivi radiologique global de l'environnement (cf. ANNEXE C)

Ces stations sont fixes, implantées dans des lieux choisis a priori pour être représentatifs de l'exposition des populations locales, nomades ou sédentaires. Chaque station présente trois types d'instrumentations :

- deux dosimètres thermoluminescents (DTL) fournissant une mesure intégrée du débit de dose gamma. L'un des dosimètres est fourni par les sociétés minières et l'autre, à titre comparatif, provient du Centre National de Radioprotection du Niger. Les dosimètres sont positionnés à environ 1,5 m du sol. Ils sont relevés selon une fréquence trimestrielle ;
- un dosimètre alpha de site, relevé mensuellement, fournissant une mesure intégrée
 - o de l'activité volumique d'énergie alpha potentielle (EAP) due aux descendants à vie courte du radon,
 - o des éléments à vie longues présents dans les poussières en suspension dans l'air ;
- une plaquette de sédimentation permettant d'estimer les retombées de poussières en suspension dans l'air. La plaquette est changée tous les 15 jours.

Au cours de la mission, COGEMA a précisé que l'implantation des stations de suivi de l'environnement ne peut être réalisée dans n'importe quel endroit en raison de risques importants de vandalisme. Les implantations choisies correspondent donc à des lieux sécurisés (voir la figure 8).



figure 8 : instrumentation de la station de suivi environnemental du puits 2002 (SOMAIR)

Le réseau de surveillance de la qualité des sols.

Ce réseau est organisé sous forme d'un plan de prélèvement de sol décrivant un maillage régulier centré sur chacun des deux sites (cf. ANNEXE D). Les axes principaux du maillage (dénommés radiales) sont orientés Nord Est / Sud-Ouest, selon la direction des vents dominants de la région. Les points de prélèvement, au nombre de 8 par radiale, sont répartis sur plusieurs kilomètres autour des sites. Ils sont repérés par leurs coordonnées GPS et matérialisés par des bornes en béton (voir la figure 9).



figure 9 : borne matérialisant l'emplacement d'un point de mesure d'une radiale (SOMAIR)

A chaque point, un prélèvement de sol est pratiqué selon une fréquence annuelle.

Le site SOMAIR est quadrillé par 3 radiales (XR1, XR2 et XR3) alors que le site de COMINAK en compte quatre (XR4, XR5, XR6, XR7).

Ce système de réseau de radiales a été mis en place en 1982 et a été complété depuis. Le réseau ne comptait initialement que deux radiales par site (cf. ANNEXE E). Ce fut le cas jusqu'en 1999 pour SOMAIR et jusqu'en 2002 pour COMINAK.

Le réseau de surveillance des eaux souterraines.

Il consiste en un réseau de points de prélèvement depuis des puits implantés dans la nappe phréatique du Tarat. Ces puits, équipés de pompes, alimentent en eau potable les installations minières et les villes d'Arlit et d'Akokan. Les sociétés minières réalisent des contrôles de la qualité des eaux, notamment de leur radioactivité (mesure de l'uranium et du radium), selon une fréquence semestrielle.

Les points de prélèvements des végétaux cultivés localement.

Des prélèvements de végétaux et d'eaux d'irrigation sont réalisés dans les jardins potagers des villes d'Arlit et Akokan, ainsi que dans les zones cultivées autour de certains puits. Les végétaux (carottes, choux, salades, tomates, zogalas, oignons) sont prélevés et analysés selon une fréquence annuelle.



figure 10 : plants de zogalas après la récolte des feuilles

Le suivi du bruit de fond.

En ce qui concerne l'exposition externe, le radon, les poussières et la qualité du sol, il existe depuis 2002¹ une station dite « de référence », utilisée pour les deux sites. Cette station, implantée à environ 7,5 km au Sud-Est du site SOMAIR et à 10 km au Nord-Ouest du site COMINAK, est située au poste de douane d'Arlit (voir sa localisation en ANNEXE C).

En complément, pour l'estimation de l'impact des sites au travers de la voie « alimentation », des analyses d'eau et de végétaux sont réalisées dans la ville d'Agadez, située à 240 km au Sud-Est d'Arlit.

3.4 BILAN DES MESURES DE DEBITS DE DOSE REALISEES PAR L'IRSN

Les mesures, instantanées, de débit de dose ont été réalisées au moyen d'une sonde à scintillation organique (plastique) de type ADb (Marque SAPHIMO - N° de série 93900). La gamme de mesure (X- γ) de cet appareil est comprise entre 5 nSv.h⁻¹ et 10 mSv.h⁻¹. Les mesures ont été effectuées à une distance de 50 cm du sol.

3.4.1 SITE SOMAIR

3.4.1.1 Résultats des mesures

Les mesures de l'IRSN ont été effectuées au niveau des stations de suivi radiologique du réseau COGEMA, le long de la radiale XR3 ainsi qu'en certains points particuliers qui ont fait l'objet de contrôles lors des déplacements autour du site.

L'ensemble des résultats des mesures sont détaillés dans le tableau 1 ci-après.

Les mesures le long de la radiale XR3 ont été effectuées dans l'optique d'illustrer l'intérêt du suivi environnemental du site SOMAIR au travers de points de prélèvements

¹ une première station de référence a été installée en 1999 à Amidar. Elle a été rapidement vandalisée et finalement démantelée

organisés en radiales orientées suivant les vents dominants. Les résultats sont visualisés à partir d'un fond de carte du secteur sur la figure 11.

tableau 1 : bilan des mesures de débit de dose - SOMAIR - mission IRSN mai 2004

Points de mesure	nSv.h ⁻¹ ***	Commentaires (observation, autre mesure)
Stations SOMAIR *		
Puits 214	160-210	tas de minerais lixiviés à proximité prélèvement de sol (voir 3.5.2.1)
Puits 2002	80-90	prélèvement de sol (voir 3.5.2.1) prélèvement de poussières (voir 3.7.1)
Puits 248	100-110	
Z.U Arlit	120	
Référence milieu naturel : Douane au Sud-Est d'Arlit	110-120	prélèvement de sol (voir 3.5.2.1) prélèvement de poussières (voir 3.7.1)
Radiale SOMAIR **		
1R3	140-150	
2R3	80-90	
3R3	90-100	
4R3	100-110	
5R3	110-130	verses du gisement de Taza Sud à proximité
6R3	100-130	verses du gisement de Taza Sud à proximité
7R3	120-150	
8R3 - affleurement de grès - sable	70-80 100	prélèvement de sol (voir 3.5.2.1)
Jardins d'Arlit		
Chemin d'accès	140	
Parcelle cultivée	110-120	prélèvement de sol (voir 3.5.2.1)
Certains points particuliers		
Amidar (affleurement du Tarat)	250-450	distant de plusieurs kms du site prélèvement de sol (voir 3.5.2.1)
Ecole à l'ouest d'Arlit	70-100	
Marché aux ferrailles d'Arlit : - tuyau - benne de camion	70-120 <i>intérieur : 1800-2500</i> <i>extérieur : 1400</i> <i>320-350</i>	mesures au contact frottis sur tuyau (voir 3.8)
Brique de construction de maison	110	mesure au contact dans une excavation de matériaux de construction à Arlit

* voir la localisation en ANNEXE C

** voir la localisation en ANNEXE D

*** la fourchette indiquée traduit la variabilité mesurée autour de la station dans un rayon de quelques dizaines de mètres

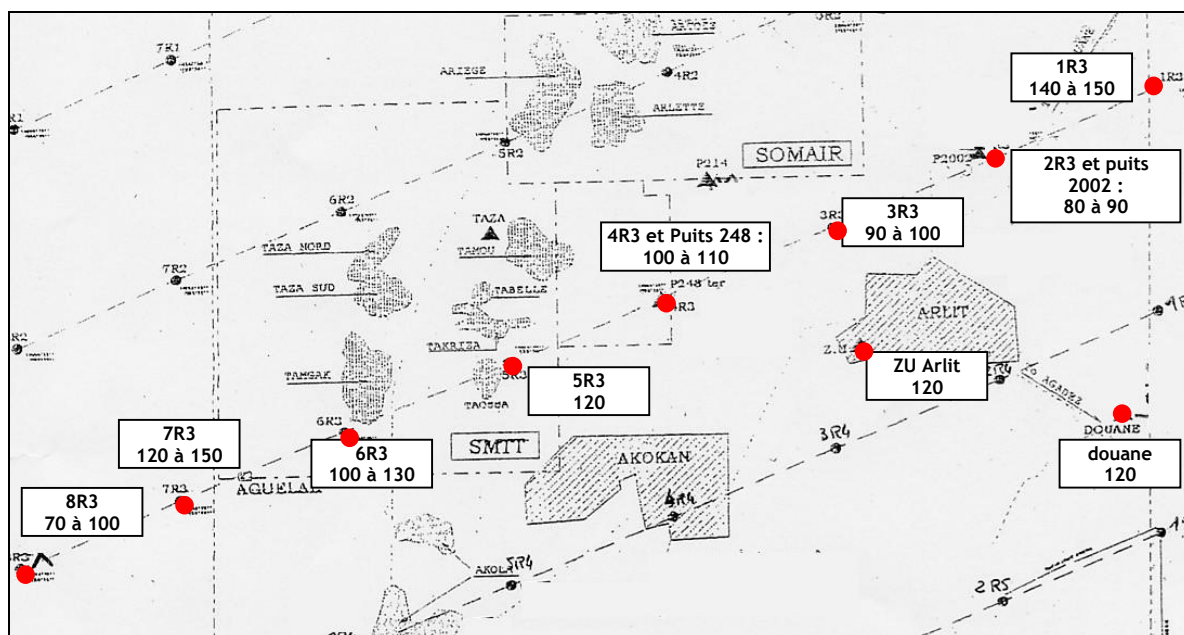


figure 11 : débits de dose (nSv.h^{-1}) mesurés le long de la radiale XR3 pour le site SOMAIR

3.4.1.2 Commentaires

La valeur de débit de dose relevée au niveau de la station de référence (Douane d'Arlit) est, en moyenne, de 115 nSv.h^{-1} .

Les débits de dose mesurés en différents points autour du site SOMAIR présentent une faible variabilité, avec des valeurs comprises entre 70 et 160 nSv.h^{-1} (respectivement $0,6$ et $1,3$ fois le niveau mesuré sur la station de référence). Il n'y a pas de relation avec la distance du site. Les différences de niveaux mesurés traduisent simplement la variabilité naturelle. Seules les mesures faites au marché aux ferrailles d'Arlit et en deux points au niveau de la station puits 214 (210 nSv.h^{-1}) et au lieu-dit Amidar (valeur maximale de 450 nSv.h^{-1}) présentent des valeurs plus élevées.

Dans le cas de la station « puits 214 », la valeur mesurée de 210 nSv.h^{-1} peut être considérée comme indicatrice d'un marquage local associé à l'exploitation minière. Cette station de suivi se situe en effet à quelques mètres seulement d'anciens tas de minerais lixiviés et des traces d'écoulements anciens ayant formés des croûtes à la surface du sol y sont nettement visibles (voir la figure 12).



figure 12 : environnement de la station puits 214

Les débits de dose mesurés à Amidar ont, selon toute vraisemblance, une origine naturelle, correspondant à la signature radiologique plus élevée des roches de la couche géologique du Tarat affleurant à cet endroit.

3.4.2 SITE COMINAK

3.4.2.1 Résultats des mesures

Les mesures de l'IRSN ont été effectuées au niveau des stations de suivi radiologique du réseau COGEMA, le long des radiales XR4 et XR5 ainsi qu'en certains points particuliers qui ont fait l'objet de contrôles lors des déplacements autour du site.

A chaque anomalie radiométrique détectée lors d'un trajet en voiture, un arrêt a été effectué et la source de l'anomalie recherchée afin de réaliser une mesure de débit de dose. Les trois points singuliers visités sont :

- les alentours d'un puits d'aération des galeries souterraines, le « Gros Trou 144 » ou GT144 ;
- le poste de garde à l'entrée du site COMINAK ;
- la maison des militaires assurant la surveillance, située en clôture du site.

Ces deux derniers points sont en vue directe et à une centaine de mètres maximum des tas de minerais concassés extraits de la mine souterraine.

Comme pour le site SOMAIR, les mesures effectuées en différents points des radiales ont pour objectif de mettre en évidence un éventuel impact radiométrique du site. Toutefois, dans le cas du site COMINAK, la méthode choisie a consisté à ceinturer le site par quatre points des radiales XR4 et XR5 et à essayer d'établir une corrélation entre les mesures de débits de dose et la rose des vents locaux (cf. figure 13).

Les résultats des mesures sont détaillés dans les tableaux 2.

tableau 2 : bilan des mesures de débit de dose au niveau des stations COMINAK - mission IRSN mai 2004

Points de mesure	nSv.h ⁻¹ ***	Commentaires (observation, autre mesure)
stations COMINAK*		
ZI extérieure	150-230	station sur dalle béton, en vue directe du site ; prélèvement de sol (voir 3.5.3.1)
Aguelal	75	ensablement important ; station représentative de l'exposition des nomades
Gendarmerie	90-120	prélèvement de sol dans le jardin (voir 3.5.3.1) ; prélèvement de poussières (voir 3.7.1)
Cercle cadre	110-130	station implantée en zone urbaine ; présence d'une dalle béton
Afasto	70-80	station bâtie sur une dalle béton ; ensablement important
Référence milieu naturel : Douane au Sud-Est d'Arlit	110-120	prélèvement de sol (voir 3.5.3.1) ; prélèvement de poussières (voir 3.7.1)
radiale COMINAK**		
5R4	150	
6R4	135-150	prélèvement de sol (voir 3.5.3.1)
5R5	150	
6R5	120	prélèvement de sol (voir 3.5.3.1)
jardins d'Akokan		
Chemin d'accès	140-150	
Parcelle cultivée	120-130	prélèvement de sol (voir 3.5.3.1)
Bassin de lagunage	120-130	zone gardiennée

Points de mesure	nSv.h ⁻¹ ***	Commentaires (observation, autre mesure)
certains points particuliers		
Puits d'aération GT 144 - à 2 m - à 10 m (au contact du puits)	300 - 950 150 (6 000 - 12 000)	prélèvement de poussières (au dessus du puits et à 9 m du puits) (voir 3.7.1)
Route Akokan	140 - 4 000	marquage localisé en tâches dispersées correspondant à une réutilisation ponctuelle de stériles en provenance de la descenderie de la mine
Limite extérieure Ouest du site	1000	Prélèvement de sol (voir 3.5.3.1)
Pieds du bassin de stockage eaux chaudes	5 400 - 6 000	présence d'un résidu fin sableux de couleur verdâtre ; prélèvement de sol (voir 3.5.3.1)
Poste de garde à l'entrée du site	100	
Maison des gardes militaires à côté de l'entrée du site	300	

* voir la localisation ANNEXE C

** voir la localisation en ANNEXE D

*** la fourchette indiquée traduit la variabilité mesurée autour de la station dans un rayon de quelques dizaines de mètres

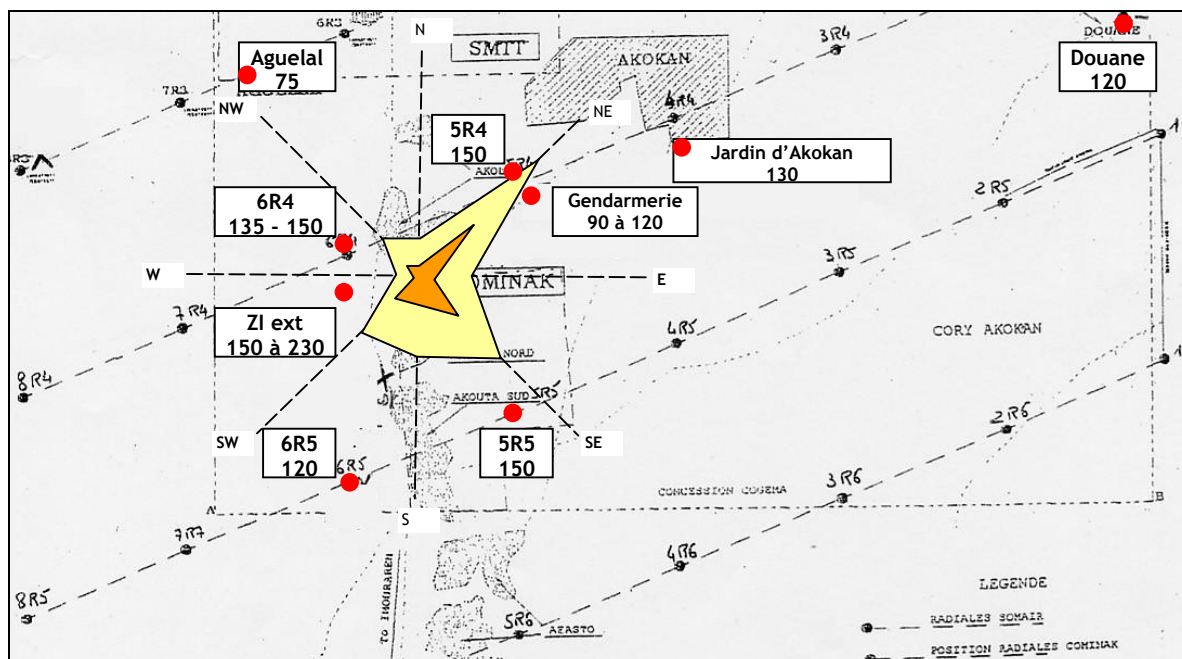


figure 13 : débits de dose (nSv.h⁻¹) mesurés dans l'environnement du site COMINAK par rapport aux vents dominants

3.4.2.2 Commentaires

La station de référence « milieu naturel » retenue pour le site COMINAK est identique à celle de SOMAIR. Elle est située à la douane d'Arlit.

A l'exception des points singuliers où des anomalies ont été mises en évidence, les débits de dose mesurés sont proches du bruit de fond comme, dans le cas de SOMAIR. La variabilité des mesures est par ailleurs faible avec des valeurs comprises entre 70 et 230 nSv.h⁻¹, soit respectivement de 0,6 à 1,9 fois le débit de dose de 115 nSv.h⁻¹ mesuré à la douane d'Arlit.

Il y a lieu de remarquer que certains points (Aguelal, Afasto, ANNEXE C) présentent des débits de dose presque deux fois plus faibles qu'au point pris comme référence. Ceci correspond à des zones fortement ensablées avec apport de matériaux naturels provenant de zones extérieures à la zone minière.

Comme l'indique la figure 13, il n'est pas possible d'établir de corrélation particulière entre les activités minières et les débits de dose mesurés dans l'environnement.

Concernant la station « Z.I. extérieure » (tableau 2), la valeur maximale mesurée (230 nSv.h^{-1}) correspond, selon toute vraisemblance, à un marquage significatif par les activités minières de COMINAK. Cette interprétation est confirmée par les analyses de sols prélevés à cet endroit (cf. paragraphe 3.5.3).

En limite ouest du site, il a été mis en évidence une contamination ($\sim 1000 \text{ nSv.h}^{-1}$) du fait de la dissémination de particules très fines, constitutives des boues de curage des « bassins d'eaux chaudes ». La route allant d'Akokan au site COMINAK présente un marquage localisé en tâches dispersées ($140\text{-}4000 \text{ nSv.h}^{-1}$). Ce marquage correspond probablement à une réutilisation ponctuelle de stériles en provenance de la descenderie de la mine.

Des mesures de débit de dose significativement plus élevées que le bruit de fond local ont également été faites dans l'environnement proche des sorties d'air de la mine de COMINAK (de 150 à 950 nSv.h^{-1} de 10 à 2 m du GT144). Ce marquage correspond probablement à des remontées de matériaux des couches géologiques uranifères lors du creusement des puits d'aérage.

Enfin, à proximité du parc à ferrailles de COMINAK, près de la clôture du site, un débit de dose de l'ordre de $6 \mu\text{Sv.h}^{-1}$ a été mesuré. Ce point correspond à l'emplacement d'un ancien bassin d'eaux chaudes, en cours de curage au moment de la mission.

3.5 BILAN DES ANALYSES DE SOL REALISEES PAR L'IRSN

Le protocole d'analyse des échantillons retenu par l'IRSN est le même que celui adopté par ALGADE pour le suivi de la qualité des sols. Il repose sur la mesure de la radioactivité contenue dans la fraction de granulométrie inférieure à 2 mm . Les échantillons sont divisés par tamisage en deux classes : l'une correspond à la fraction granulométrique inférieure à $50 \mu\text{m}$ et l'autre à la fraction granulométrique comprise entre $50 \mu\text{m}$ et 2 mm .

La fraction grossière (entre 50 et $2000 \mu\text{m}$) représente la majeure partie de l'échantillon en masse (de 80 à 100%). Par ailleurs, les échantillons de sol prélevés présentent un pourcentage d'humidité compris entre $0,2$ et $2,15 \%$ (3 à 12% pour les échantillons de terre de jardin).

Pour chaque sous échantillon la mesure est obtenue à partir d'une analyse par spectrométrie gamma.

3.5.1 MILIEU NATUREL DE REFERENCE

Un prélèvement de sol (sable) a été réalisé au niveau de la station située au poste de douane au Sud-Est d'Arlit. Cette station est considérée par COGEMA comme représentative du milieu naturel de référence. Les résultats des analyses sont détaillés dans le tableau 3.

tableau 3 : résultats des analyses de sol - activité (Bq.kg^{-1}) - milieu naturel de référence (Douane) - mission IRSN mai 2004

	Ra-226	U-238	Pb-210
Fraction $50 \mu\text{m}$ - 2mm	$41 (\pm 9)$	$43 (\pm 9)$	$46 (\pm 10)$
Fraction inférieure à $50 \mu\text{m}$	$114 (\pm 32)$	$170 (\pm 48)$	$105 (\pm 40)$

3.5.2 SITE SOMAIR

3.5.2.1 Résultats des analyses

tableau 4 : résultats des analyses de sol - activité (Bq.kg⁻¹) - fraction 50 µm - 2mm - SOMAIR - mission IRSN mai 2004

Points de mesure	Ra-226	U-238	Pb-210
Puits 214	28 (± 5)	44 (± 9)	38 (± 10)
Jardin Arlit (terre)	30 (± 5)	42 (± 9)	41 (± 10)
Puits 2002	47 (± 9)	44 (± 11)	55 (± 12)
8R3	22 (± 4)	30 (± 7)	33 (± 7)
Corry	42 (± 7)	74 (± 10)	66 (± 11)

tableau 5 : résultats des analyses de sol - activité (Bq.kg⁻¹) - fraction <50 µm - SOMAIR - mission IRSN mai 2004

Points de mesure	Ra-226	U-238	Pb-210
Puits 214	354 (± 56)	454 (± 80)	373 (± 112)
Jardin Arlit (terre)	83 (± 15)	90 (± 19)	77 (± 24)
Puits 2002	138 (± 34)	108 (± 48)	98 (± 39)
8R3	312 (± 51)	306 (± 63)	265 (± 83)
Corry	237 (± 44)	281 (± 59)	213 (± 68)

3.5.2.2 Commentaires

Les activités massiques mesurées dans la fraction comprise entre 2 mm et 50 µm sont faibles (systématiquement inférieures à 80 Bq.kg⁻¹). Elles sont globalement du même ordre de grandeur que les activités massiques de l'échantillon prélevé à la douane d'Arlit.

Les activités massiques mesurées dans la fraction inférieure à 50 µm sont du même ordre de grandeur que celles de l'échantillon de la douane d'Arlit. Elles sont comprises, pour les échantillons de sol, entre 90 et 460 Bq.kg⁻¹. Pour l'échantillon de terre (jardin), les activités massiques sont inférieures à 90 Bq.kg⁻¹.

Pour cette fraction fine, les points puits 214, 8R3 et Corry présentent des activités massiques supérieures à celles mesurées à la douane. Les activités correspondantes restent cependant dans la gamme de variation imputable à la variabilité naturelle.

Etant donné les incertitudes de mesure, il n'apparaît pas d'indice suggérant un déséquilibre entre les activités en uranium, en radium ou en plomb. Aucune contamination de l'environnement du site SOMAIR par des particules de résidus miniers ne peut clairement être mise en évidence, par ce biais.

Il paraît difficile, dans ce cas, de conclure sur l'origine naturelle ou artificielle des activités mesurées. Toutefois, l'activité élevée mesurée au « puits 214 » et le contexte local (tas de minerais lixiviés à proximité) ne permet pas d'écarter la possibilité d'une contamination d'origine industrielle.

Dans le cas de la mesure faite dans le corry, au contraire, il est probable qu'il s'agisse d'un marquage naturel. Les corrys sont en effet des couloirs d'écoulement préférentiels des eaux en cas de fortes pluies. Celles-ci charrient des sédiments pouvant être marqués par la présence d'uranium ou de thorium du fait de l'érosion purement naturelle de la formation du Tarat qui affleure à proximité. L'origine industrielle des sédiments marqués reste également envisageable mais est a priori moins probable compte tenu de la distance plus importante des installations minières.

3.5.3 SITE COMINAK

3.5.3.1 Résultats des analyses

tableau 6 : résultats des analyses de sol - activité ($Bq.kg^{-1}$) - fraction $50 \mu m$ - $2mm$ - COMINAK - mission IRSN mai 2004

Points de mesure	Ra-226	U-238	Pb-210
ZI extérieure	238 (± 50)	139 (± 16)	342 (± 24)
Jardin Akokan (terre)	26 (± 4)	32 (± 8)	43 (± 10)
Jardin gendarmerie d'Akokan (terre)	27 (± 2)	31 (± 9)	35 (± 8)
Limite Ouest du bassin d'eaux chaudes	1822 (± 342)	841 (± 43)	2377 (± 120)
Déchet bassin d'eaux chaudes*	-	-	-
6R4	397 (± 66)	261 (± 20)	486 (± 31)
6R5	24 (± 4)	28 (± 9)	39 (± 10)

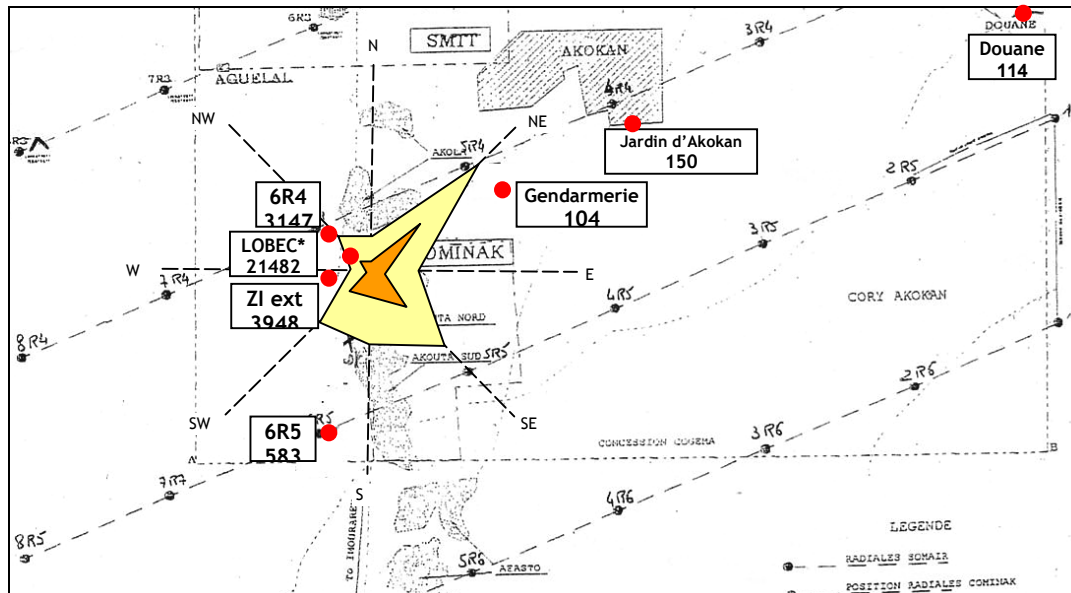
* Déchet bassin d'eaux chaudes : cet échantillon est constitué de particules fines (diamètre moyen = $500 \mu m$) et l'ensemble de l'échantillon a été analysé après broyage

tableau 7 : résultats des analyses de sol - activité ($Bq.kg^{-1}$) - fraction $<50 \mu m$ - COMINAK - mission IRSN mai 2004

Points de mesure	Ra-226	U-238	Pb-210
ZI extérieure	3948 (± 483)	2585 (± 367)	2929 (± 836)
Jardin Akokan (terre)	150 (± 38)	77 (± 39)	135 (± 48)
Jardin gendarmerie d'Akokan (terre)	104 (± 29)	90 (± 41)	92 (± 37)
Limite Ouest du bassin d'eaux chaudes	21482 (± 2694)	6060 (± 930)	15454 (± 4423)
Déchet bassin d'eaux chaudes*	11880 (± 1439)	2696 (± 453)	9760 (± 2796)
6R4	3147 (± 393)	2338 (± 343)	2200 (± 632)
6R5	583 (± 85)	504 (± 89)	464 (± 138)

* Déchet bassin Eaux chaudes : cet échantillon est constitué de particules fines (diamètre moyen = $500 \mu m$) et l'ensemble de l'échantillon a été analysé après broyage

De la même manière que pour les débits de dose, la figure 14, ci-après, présente la répartition des activités massiques de la fraction fine, mesurées dans l'environnement du site COMINAK, par rapport aux directions des vents dominants de la région.



(*) LOBEC = Limite Ouest du Bassin Eaux Chaudes

figure 14 : activités massiques de la fraction inférieure à $50 \mu m$ ($Bq.Kg^{-1}$) mesurées dans l'environnement du site COMINAK par rapport aux vents dominants

3.5.3.2 Commentaires

Sur la base des niveaux d'activité et des rapports U-238 sur Ra-226 des échantillons prélevés et analysés par l'IRSN, il est possible d'identifier autour du site COMINAK :

- des zones non marquées (activités du même ordre de grandeur que le bruit de fond et rapport U-238 sur Ra-226 proche de 1) ; c'est le cas des jardins (échantillons présentant des activités massiques faibles, comprises entre 20 et 50 Bq.kg⁻¹ pour la fraction 2 mm - 50 µm et entre 70 et 150 Bq.kg⁻¹ pour la fraction inférieure à 50 µm) ;
- des zones marquées (activités supérieures au bruit de fond) caractérisées par un rapport U-238 sur Ra-226 proche de 1 ; c'est le cas de la zone « 6R5 » qui présente une activité massique en radium 226 de l'ordre de 600 Bq.kg⁻¹ dans la fraction inférieure à 50 µm ;
- des zones marquées (activités supérieures au bruit de fond) caractérisées par un rapport U-238 sur Ra-226 < 1, c'est à dire relevant d'une contamination d'origine industrielle avérée ; c'est le cas des zones « 6R4 », « ZI extérieure » et « Limite ouest du bassin d'eaux chaudes ».

La figure 14 semble montrer une augmentation des activités massiques des échantillons prélevés du côté Ouest du site COMINAK, sous les vents dominants. Toutefois cette tendance reste à préciser du fait du manque de point à l'Est et au Sud-Est du site autres que ceux situés le long des radiales.

Remarques :

Les mesures de COGEMA et de l'IRSN ont été comparées sur quelques points (Puit 214, Puit 2002, 8R3, 6R4 et 6R5). Seul le point 6R4 présente des différences significatives (pour la fraction inférieure à 50 µm : COGEMA = < 100 Bq.kg⁻¹ en Ra-226 et IRSN ~ 3000 Bq.kg⁻¹ en Ra-226). Il est à noter cependant que les deux mesures n'ont pas été faites à des dates comparables et que ce point a été, entre les deux campagnes de mesures, sous le vent d'un chantier de décontamination.

A titre de référence, les activités massiques en radium 226 mesurées dans les résidus de SOMAIR et COMINAK prélevés par l'IRSN sont comprises entre 25 000 et 56 000 Bq.kg⁻¹.

3.5.4 *COMMENTAIRE GENERAL*

Sur la base des niveaux d'activité et des rapports U-238 sur Ra-226 des échantillons prélevés et analysés par l'IRSN, il est possible de conclure :

- que la majorité des zones visitées au cours de la mission sont non marquées (activités du même ordre de grandeur que le bruit de fond et rapport U-238 sur Ra-226 proche de 1) ou restent dans la gamme de variation qui peut être imputable à la variabilité naturelle ;
- qu'il existe des zones marquées à proximité immédiate des sites, pour lesquelles l'interprétation des analyses montre qu'elles relèvent d'une contamination d'origine industrielle certaine ; c'est le cas des zones « 6R4 », « ZI extérieure » et « Limite ouest du bassin d'eaux chaudes » autour du site COMINAK ;
- qu'il existe des zones marquées dont l'origine est difficilement attribuable. Il n'est en effet possible de discriminer une origine naturelle ou industrielle ni sur la base du rapport U-238 sur Ra-226 (proche de 1), ni sur la base de la connaissance du contexte géologique et historique (impact industriel connu, configuration géologique...).

Il peut-être noté que, à l'exception de ceux prélevés sur les stations « ZI extérieur » et « 6R4 », les échantillons prélevés à l'extérieur des sites présentent des activités massiques globales (ramenées à la masse totale de sol « frais ») inférieures à 100 Bq.kg⁻¹.

La distribution de la radioactivité sous l'effet du vent est avérée mais difficilement interprétable. A l'échelle du secteur étudié, il n'existe en particulier aucune corrélation évidente entre la contamination du sol et la direction des vents dominants. Dans le cas plus particulier du site COMINAK, un marquage des stations situées à l'ouest du site pourrait se dégager mais reste à confirmer.

3.6 BILAN DES ANALYSES D'EAU REALISEES PAR L'IRSN

3.6.1 RESULTATS DES ANALYSES

Les résultats des analyses d'eaux prélevées autour des sites SOMAIR et COMINAK sont présentés dans les tableaux 15 et 16. Les prélèvements ont été réalisés durant la mission IRSN, en mai 2004. Des analyses complémentaires pour la mesure des activités en radium ont été réalisées par la suite, à partir d'échantillons prélevés en septembre 2004 par COGEMA. L'IRSN n'a pas réalisé de prélèvement d'eau à Agadez (lieu où COGEMA effectue les prélèvements pour l'estimation du bruit de fond).

tableau 8 : résultats des analyses d'eau - SOMAIR - mission IRSN mai 2004

Nom de l'échantillon	Activité en radium dissous (Bq.l ⁻¹)		Concentration en uranium total (µg.l ⁻¹)	
	activité	incertitude	concentration	incertitude
Puits 214	0,06	0,01	156	15
Puits 248	0,03	0,02	41	4
Puits 2002	0,12*	0,01	66	6
Jardin d'Arlit	0,02	0,01	8,4	0,8
Zone urbaine	0,04*	0,01	**	**

* mesure à partir d'un échantillon prélevé après la mission

** absence de mesure

tableau 9 : résultats des analyses d'eau - COMINAK - mission IRSN mai 2004

Nom de l'échantillon	Activité en radium dissous (Bq.l ⁻¹)		Concentration en uranium total (µg.l ⁻¹)	
	activité	incertitude	concentration	incertitude
COMI8	0,01	0,004	183	19
Jardin Akokan	0,05	0,01	3,0	0,3
COMI12*	0,14	0,01	**	**
Cercle Cadres*	0,14	0,02	**	**

* mesure à partir d'un échantillon prélevé après la mission

** absence de mesure

3.6.2 COMMENTAIRES

Dans les puits issus des nappes d'eau souterraines

Comme indiqué au paragraphe 2.3.4, le fond géochimique naturel des eaux de l'aquifère du Tarat est caractérisé par de faibles teneurs en uranium et radium (Ra 226 < 0,02 Bq.l⁻¹ et U238 < 10 µg.l⁻¹ [4], [5], [6], [7]).

Le suivi radiologique, effectué semestriellement par COGEMA, ainsi que les analyses faites par l'IRSN en mai 2004, mettent en évidence des concentrations supérieures en certains points de mesure (Puits 214, Puits 2002, COMI8, COMI12). L'activité volumique en radium 226 des eaux analysées par l'IRSN est ainsi comprise entre 0,01 et 0,14 Bq.l⁻¹, et les teneurs en uranium total sont comprises entre 40 et 190 µg.l⁻¹, soit entre 0,5 et 2,3 Bq.l⁻¹ d'uranium 238. Ces constatations peuvent traduire une influence des activités minières ou résulter d'un marquage naturel de la nappe du Tarat associé à des minéralisations localisées. Les informations à la disposition de l'IRSN ne permettent cependant pas d'explorer précisément ces hypothèses dans le cadre du présent rapport.

Dans les eaux prélevées en zones urbaines

L'eau potable distribuée à Arlit et à Akokan provient d'un mélange des eaux issues de différents puits.

L'eau prélevée dans le cadre de la mission IRSN en zone urbaine d'Artil a une teneur en radium 226 de l'ordre de 0,04 Bq.l⁻¹, c'est-à-dire proche du fond géochimique naturel des eaux de l'aquifère du Tarat. La teneur en radium de l'eau prélevée au Cercle Cadres d'Akokan, alimenté à partir du même aquifère, est significativement plus élevée. Elle atteint 0,14 Bq.l⁻¹ et suggère donc l'existence d'un marquage important.

Cette valeur nécessite d'être interprétée avec prudence compte tenu des éléments suivants :

- l'analyse de l'échantillon effectuée dans les laboratoires de l'IRSN conduit à des résultats cohérents avec ceux obtenus par le laboratoire ALGADE à partir du même prélèvement. Sa validité ne fait donc pas a priori de doute ;
- la valeur obtenue par l'IRSN repose sur un unique prélèvement. Celui-ci a été effectué en septembre 2004, c'est-à-dire postérieurement à la mission IRSN, par le personnel COMINAK. Aucun contrôle par l'IRSN des conditions de prise d'échantillonnage n'a de ce fait été possible ;
- la mesure obtenue est en écart significatif avec l'historique des valeurs acquises par COGEMA dans le cadre de la surveillance des sites. Elle constitue une valeur isolée qui peut traduire aussi bien un artefact dû aux conditions de prélèvement, qu'une évolution récente de la qualité radiologique des eaux. A la date de rédaction du présent rapport, les prélèvements effectués semestriellement dans le cadre du dispositif de surveillance ne permettent pas de disposer de résultats postérieurs à la date du prélèvement incriminé.

En l'absence d'information permettant de lever les incertitudes précédentes, l'IRSN a choisi de conserver cette valeur. La valeur est ainsi retenue dans les jeux de données utilisés pour les besoins des calculs de dose présentés au chapitre 4. La question de sa représentativité mériterait d'être cependant reconsidérée sur la base des résultats de mesures acquis dans le cadre de la surveillance régulière des sites dès que ces résultats seront disponibles.

Dans les eaux destinées à l'arrosage des jardins

Les eaux d'irrigation des jardins sont les eaux usées des villes traitées par lagunage. L'activité volumique en radium 226 est comprise entre 0,02 et 0,05 Bq.l⁻¹. Les teneurs en uranium total varient entre 3 et 9 µg.l⁻¹, soit entre 0,03 et 0,12 Bq.l⁻¹ d'uranium 238. Les analyses effectuées montrent que les concentrations reflètent celles des eaux distribuées en ville (pas d'augmentation des concentrations dans les eaux du fait de leur usage en ville ou efficacité du procédé de lagunage).

3.7 BILAN DES PRELEVEMENTS DE POUSSIÈRES RÉALISÉS PAR L'IRSN

3.7.1 RESULTATS

Les analyses, par spectrométrie gamma sur une durée de 72 h, des filtres mis en place au cours de la mission autour des sites SOMAIR et COMINAK, n'ont pas permis de mettre en évidence une activité supérieure à la limite de détection.

Des mesures complémentaires d'activité alpha global et bêta global ont donc été effectuées sur ces filtres. Les résultats sont présentés dans le tableau 10. Les seules mesures qu'il a été possible d'obtenir avec les moyens disponibles sont exprimées en équivalent Pu-239, pour les activités alpha global, et Sr-90 et Y-90, pour les activités bêta global.

tableau 10 : résultats des analyses de poussières SOMAIR - COMINAK - mission IRSN mai 2004

Nom du filtre	Site concerné	Informations sur l'échantillon	Activité alpha global (en équivalent Pu-239)	Activité bêta global (en équivalent Sr-90 et Y-90)
			(mBq.m ⁻³)	(mBq.m ⁻³)
Douane		prélevé du 11 au 12/05/02 - 24 h (38,49 m ³)	1,9 ± 1	3 ± 2
Puit 2002	SOMAIR	prélevé le 11/05/02 - 6 min. (2,4 m ³)	< 13,6	< 52
Gendarmerie	COMINAK	prélevé du 13 au 14/05/02 - 24 h (31,60 m ³)	1,7 ± 1	< 3,96
Puits d'aération GT144	COMINAK	prélevé le 14/05/02 - 5 min. (- 2 m ³)	45 ± 22	168 ± 47
9m - GT144	COMINAK	prélevé le 14/05/02 - 5 min. (- 2 m ³)	< 16,35	< 62,5

3.7.2 COMMENTAIRES

Le radon (222 et 220) est un gaz et n'est pas fixé sur les filtres de prélèvement de poussières. Les activités mesurées sont donc essentiellement dues aux poussières contenant de l'uranium et du radium ainsi qu'aux descendants solides du radon 222 (Pb-210, Bi-210 et Po-210) uniquement car, les mesures étant réalisées 7 à 10 jours après les prélèvements, cela exclut les émetteurs alpha et bêta à vie courte, Po-218 et Po-214).

Etant donné le dispositif de prélèvement et de mesure mis en œuvre, les résultats, exprimés en équivalent Pu-239, n'ont pu être exploités pour les calculs de dose ultérieurs.

3.8 LES MESURES SUR LES FERRAILLES DU MARCHÉ D'ARLIT

Les analyses, par spectrométrie gamma sur une durée de 72 h, des frottis réalisés au marché au ferrailles (sur une surface d'environ 10 cm x 10 cm), n'ont pas permis de mettre en évidence une activité supérieure à la limite de détection.

Des mesures complémentaires d'activité alpha global et bêta global ont donc été effectuées sur ces filtres. Les résultats sont présentés dans le tableau 11. Les seules mesures qu'il a été possible d'obtenir avec les moyens disponibles sont exprimées en équivalent Pu-239, pour les activités alpha global, et Sr-90 et Y-90, pour les activités bêta global.

tableau 11 : résultats des frottis et des mesures de débit de dose sur les ferrailles SOMAIR - COMINAK - mission IRSN mai 2004

Nom du frottis	Informations sur l'échantillon	Activité alpha global (en équivalent Pu-239) (Bq/filtre)	Activité bêta global (en équivalent Sr-90 et Y-90) (Bq/filtre)
Frottis 1	prélevé le 11/05/02 Intérieur tuyau	0,222 ± 0,091	< 0,121
Frottis 2	prélevé le 11/05/02 Intérieur tuyau	0,177 ± 0,076	0,270 ± 0,084
Frottis 3	prélevé le 11/05/02 extérieur tuyau	0,746 ± 0,283	0,101 ± 0,019
Frottis ferraille	prélevé le 12/05/02 Intérieur tuyau citerne	0,891 ± 0,339	1,180 ± 0,224

Rappel :(cf. paragraphe 3.4.1.1)

Débit de dose Marché aux ferrailles d'Arlit	70-120 nSv.h ⁻¹ Mesure sur tuyau : 1800-2500 nSv.h ⁻¹ à l'int. et 1400 nSv.h ⁻¹ à l'ext. Mesure sur benne de camion : 320-350 nSv.h ⁻¹
---	--

Remarque : les activités surfaciques mesurées sur les frottis suggèrent une contamination par des particules de minerais d'uranium ou de résidus miniers d'uranium.

4 EVALUATION PAR L'IRSN DE L'IMPACT RADIOLOGIQUE DES SITES

4.1 GENERALITES

L'évaluation par l'IRSN de l'impact radiologique des sites COMINAK et SOMAIR, présentée ci-après, est fondée sur l'exploitation des données disponibles au moment de la réalisation de l'étude en privilégiant les plus récentes. Les données utilisées sont ainsi issues, d'une part, des résultats, pour l'année 2003, de la surveillance des sites par les sociétés minières (« données COGEMA ») et d'autre part, des quelques analyses réalisées par l'IRSN dans le cadre de la mission de mai 2004.

L'évaluation de l'impact radiologique a consisté à déterminer la dose efficace ajoutée résultant de l'exposition de groupes représentatifs des populations vivant de manière temporaire ou permanente sur le secteur.

La méthode employée s'appuie sur la méthodologie d'évaluation de l'impact des sites de stockage de résidus de traitement de minerais d'uranium [8], définie par l'IRSN à la demande du Ministère de l'Ecologie et du Développement Durable en 2001.

L'évaluation prend en compte les voies d'exposition suivantes :

- l'exposition externe due au rayonnement gamma ;
- l'exposition interne par inhalation des descendants à vie courte du radon 222 et du radon 220 ainsi que par inhalation de poussières en suspension dans l'air ;
- l'exposition interne par ingestion de produits alimentaires issus de jardins proches des sites et ingestion d'eau d'origine locale.

Les coefficients de dose employés pour la réalisation des calculs sont issus de l'arrêté ministériel du 1^{er} septembre 2003, définissant les modalités de calcul des doses efficaces et des doses équivalentes résultant de l'exposition des personnes aux rayonnements ionisants [9].

Pour ce qui concerne la radioactivité dans l'environnement, les calculs de dose efficace ajoutée ont été effectués pour deux jeux de données :

- calcul 1 : évaluation de la dose efficace ajoutée à partir des seules mesures effectuées dans l'environnement des sites par COGEMA ;
- calcul 2 : estimation de la dose efficace ajoutée à partir de l'exploitation des mesures et analyses ponctuelles réalisées dans le cadre de la mission effectuée par l'IRSN, complétées en tant que de besoin par les données COGEMA pour les voies d'exposition pour lesquelles la mission IRSN ne permet pas de disposer des données nécessaires.

Le premier calcul (calcul 1) s'apparente aux calculs effectués par COGEMA pour évaluer annuellement l'impact de ses activités sur les populations avoisinantes. Il donne une photographie des expositions reçues par des groupes de population sur une période donnée (en l'occurrence en 2003 pour le calcul 1). Les expositions correspondantes sont des estimations (et non des mesures) de l'impact radiologique. Elles sont dérivées, moyennant certaines hypothèses de calcul, des données de surveillance de l'environnement. Sur la période considérée, les différences entre les doses calculées par l'IRSN et celles calculées par COGEMA traduisent les différences d'hypothèses retenues pour passer des mesures d'activité dans les divers compartiments aux expositions reçues selon les diverses voies envisageables.

Le second calcul (calcul 2) est d'interprétation moins immédiate. Il s'appuie en effet sur des données acquises sur plusieurs périodes distinctes (2003 pour les données COGEMA, 2004 pour les mesures IRSN). En pratique, cette particularité n'a cependant pas d'incidence importante dans la mesure où l'activité des différents compartiments évolue peu d'une année sur l'autre. Le calcul reste finalement un indicateur pertinent pour apprécier l'impact radiologique sur les populations de la même manière que le calcul 1. Il complète le calcul 1 en permettant d'apprécier la robustesse d'une estimation effectuée à partir d'un dispositif de surveillance fixe lorsque l'on y intègre des mesures complémentaires de terrain.

Il est à noter que les évaluations effectués dans le présent chapitre n'ont pas pris en compte l'exposition spécifique liée à la dissémination et à l'utilisation de matériaux contaminés. Celle-ci fait l'objet d'une analyse séparée dont les principaux résultats sont indiqués au chapitre 5 ci-après.

Principales différences entre les hypothèses retenues par l'IRSN et celles utilisées par COGEMA pour ses évaluations annuelles :

- groupes critiques : l'IRSN a effectué un calcul pour chacun des groupes identifiés sans en écarter aucun a priori et en tenant compte de façon spécifique de l'exposition des enfants ; COGEMA tient compte de sa connaissance de la fréquentation des différents points d'eau pour écarter des situations jugées irréalistes et n'estime que les doses reçues par les adultes ;
- mesures inférieures aux seuils de détection : l'IRSN retient une valeur égale à la moitié de la limite de détection pour la mesure concernée ;
- espèces végétales au sein d'une même famille : l'IRSN calcule l'activité ingérée du fait de la consommation des végétaux pour chaque espèce séparément (trois types de légumes feuilles par exemple) ;
- prise en compte des descendants : les calculs de dose par ingestion effectués par l'IRSN tiennent compte de l'ensemble des descendants des chaînes naturelles, soit directement lorsqu'une mesure est disponible, soit au travers d'une hypothèse d'équilibre séculaire lorsque le radionucléide n'a pas été mesuré.

4.2 SCENARIOS D'EXPOSITION

4.2.1 GROUPES DE POPULATION ET EMPLOIS DU TEMPS

Quatre groupes de population ont fait l'objet de calculs de doses par l'IRSN. Ces groupes sont dérivés de ceux retenus par COGEMA dans le cadre de son dispositif de surveillance. Ils correspondent aux seuls groupes de population pour lesquels il est possible de disposer de jeux de données complets nécessaires au calcul de dose.

Ces groupes de populations sont représentatifs

- de deux modes de vie identifiés autour des sites :
 - o le mode de vie sédentaire qui concerne les populations résidant de façon permanente dans les villes,
 - o le mode de vie nomade qui concerne les populations transitant aux abords des sites et amenées à s'installer quelques mois autour des points d'eau ;
- de deux classes d'âge : les adultes et les enfants de 2 à 7 ans.

Les quatre groupes et les principales caractéristiques de leur mode de vie prises en compte dans les calculs sont détaillés dans le tableau 12.

tableau 12 : description des groupes pris en compte par l'IRSN dans ses calculs

Numéro du groupe	Classe d'âge	Détail	Temps passé hors influence du site (h.an ⁻¹)	Temps passé sous influence du site (h.an ⁻¹)	
				A l'intérieur de l'habitation	A l'extérieur de l'habitation
GR1	Adulte	résidant permanent de la zone urbaine sous influence du site	0	2760	6000
GR1 bis	Enfant (2-7 ans)	résidant permanent de la zone urbaine sous influence du site	0	2760	6000
GR2	Adulte	nomade séjournant épisodiquement sous influence du site	5760	0	3000
GR2 bis	Enfant (2-7 ans)	nomade séjournant épisodiquement sous influence du site	5760	0	3000

En ce qui concerne la localisation des groupes de population, l'IRSN a pris en compte :

- trois lieux pour les populations sédentaires :
 - o Arlit pour le site SOMAIR,
 - o le cercle cadre (Akokan 1) et la gendarmerie (Akokan 2) de la ville d'Akokan pour COMINAK ;
- cinq localisations pour les populations nomades :
 - o les puits 214, 248 et 2002 pour le site SOMAIR,
 - o la Zone Industrielle extérieure et Aguelal pour le site COMINAK.

Ces huit lieux correspondent aux zones pour lesquelles il est possible de disposer des jeux de données complets nécessaires au calcul de dose. Ils peuvent être localisés sur la carte présentée en ANNEXE F.

Seize calculs ont donc été réalisés au total par l'IRSN.

4.2.2 CONSOMMATION

Le tableau 13, ci-après, présente les régimes alimentaires pris en compte par l'IRSN pour les quatre groupes de population. Ces régimes alimentaires, pour les adultes, sont

calqués sur ceux utilisés par COGEMA pour la réalisation de ses calculs d'impact. Les consommations des enfants ont été dérivées de celles des adultes en divisant les quantités par deux.

La consommation annuelle des populations nomades est estimée de manière majorante puisqu'elle représente 6 mois de consommation des populations sédentaires alors que les nomades ne demeurent en moyenne que 4 mois sous l'influence du site.

tableau 13 : hypothèses retenues par l'IRSN pour les régimes alimentaires

	GR1 Adulte sédentarisé (kg.an ⁻¹)	GR1 bis Enfant sédentarisé (kg.an ⁻¹)	GR2 Adulte nomade (kg.an ⁻¹)	GR2 bis Enfant nomade (kg.an ⁻¹)
Légumes feuilles	30	15	15	7,5
Légumes racinaires	30	15	15	7,5
Légumes fruits	20	10	10	5
Eau	730	365	365	183

4.3 REFERENCE MILIEU NATUREL

Le niveau de radioactivité imputable au milieu naturel, utilisé par l'IRSN, résulte

- pour le calcul 1, des résultats de mesures réalisées par COGEMA à la station de référence dite « milieu naturel », située à la douane d'Arlit (voir sa localisation en ANNEXE F) et à Agadez pour l'eau et les végétaux ;
- pour le calcul 2, des résultats de mesures réalisées
 - o par l'IRSN, en 2004, à la station de référence dite « milieu naturel », située à la douane d'Arlit pour l'exposition externe,
 - o par COGEMA, en 2003, à la station de référence dite « milieu naturel », située à la douane d'Arlit pour le radon, et à Agadez pour les eaux et les végétaux. Ces données n'ont pas fait l'objet de mesures par l'IRSN dans le cadre de sa mission sur site.

4.4 DOSE EFFICACE AJOUTEE PAR EXPOSITION EXTERNE AU RAYONNEMENT GAMMA

4.4.1 ESTIMATION DU DEBIT DE DOSE AJOUTEE

Le tableau 14, ci-après, présente les résultats de mesures retenus pour le calcul de l'exposition externe ajoutée.

tableau 14 : débit de dose gamma ajoutée en chacune des localisations

Station de mesure	Mesures COGEMA réseau de surveillance		Mesures ponctuelles IRSN	
	Débit de dose gamma	Débit de dose gamma ajoutée*	Débit de dose gamma	Débit de dose gamma ajoutée*
	nGy.h ⁻¹	nGy.h ⁻¹	nGy.h ⁻¹	nGy.h ⁻¹
SOMAIR				
Arlit	150	10	120	5
Puits 214	240	100	175	60
Puits 248	120	0	105	0
Puits 2002	150	10	85	0
COMINAK				
Akokan 1	130	0	120	5
Akokan 2	140	0	105	0
Z.I. Extérieure	180	40	190	75
Aguelal	120	0	75	0
Milieu naturel de référence				
Douane Arlit	140**		115	

* Différence entre le débit de dose gamma de la station de mesure et le débit de dose gamma du milieu naturel de référence

** Moyenne annuelle de 2003

4.4.2 CALCUL DE LA DOSE EFFICACE AJOUTEE PAR EXPOSITION EXTERNE

Le tableau 15, ci-après, présente les résultats des calculs de dose efficace ajoutée due à l'exposition externe pour les quatre scénarios étudiés.

La dose ajoutée est obtenue en multipliant les valeurs de débit de dose ajouté du tableau 14 par les temps de séjour du tableau 12.

tableau 15 : dose efficace ajoutée due à l'exposition externe (mSv.an⁻¹)

Numéro du groupe	Classe d'âge	Calcul	Résidence							
			SOMAIR				COMINAK			
			Arlit	Puits 214	Puits 248	Puits 2002	Akokan 1	Akokan 2	ZI extérieure	Aguelal
GR1	Adulte	Calcul 1	0,06				0,00	0,00		
		Calcul 2	0,03				0,03	0,00		
GR1 bis	Enfant	Calcul 1	0,06				0,00	0,00		
		Calcul 2	0,03				0,03	0,00		
GR2	Adulte	Calcul 1		0,30	0,00	0,03			0,12	0,00
		Calcul 2		0,18	0,00	0,00			0,23	0,11
GR2 bis	Enfant	Calcul 1		0,30	0,00	0,03			0,12	0,00
		Calcul 2		0,18	0,00	0,00			0,23	0,11

La dose ajoutée maximale due à l'exposition externe (0,3 mSv.an⁻¹) est calculée pour les populations nomades ayant séjourné épisodiquement (quatre mois) autour du puits 214 (calcul 1). Il s'agit du puits le plus proche du site SOMAIR.

Il est à noter que compte tenu de sa situation particulière (à proximité immédiate de tas de stériles), COGEMA considère que ce puits est peu attractif pour les groupes de nomades et que sa fréquentation est de ce fait épisodique et limitée à des durées courtes. Faute d'information précise sur le sujet, l'IRSN a malgré tout choisi de retenir en première approche les mêmes hypothèses de fréquentation que pour les autres zones potentiellement fréquentées par les nomades.

En ce qui concerne le site COMINAK, ce sont les populations nomades ayant séjourné quatre mois au niveau de la ZI extérieure, située à l'ouest du site, qui ont reçu la dose ajoutée maximale (0,23 mSv.an⁻¹) (calcul 2).

Les personnes résidant dans les villes d'Arlit et Akokan reçoivent une dose efficace ajoutée par exposition externe inférieure à 0,06 mSv.an⁻¹.

4.5 DOSE EFFICACE AJOUTEE PAR INHALATION DE RADON 220 ET DE RADON 222

4.5.1 ESTIMATION DE L'ENERGIE ALPHA POTENTIELLE AJOUTEE

Le tableau 16, ci-après, présente les valeurs d'Energie Alpha Potentielle (EAP) retenues par l'IRSN pour le calcul de l'exposition interne ajoutée due à l'inhalation de radon 220 et de radon 222. L'Energie Alpha Potentielle correspond à l'énergie alpha totale émise par les descendants successifs du radon 222 (jusqu'au Pb210 non compris) et du radon 220 (jusqu'au Pb208 stable).

L'IRSN n'a réalisé aucune mesure de radon, lors de sa mission sur site, celles-ci devant être effectuées sur des durées incompatibles avec le déroulement de la mission. Les valeurs proviennent donc des dossiers mis à disposition de l'IRSN par COGEMA [1], [4], [5], [6] et [7]. L'ensemble des calculs a donc été réalisé, à partir des valeurs COGEMA de 2003. Celles-ci sont issues de mesures réalisées à l'extérieur des habitations.

tableau 16 : surveillance radiologique autour des sites - Energie alpha potentielle (EAP) due au radon 220 et au radon 222

Station de mesure	Mesures COGEMA réseau de surveillance			
	Energie Alpha Potentielle		Energie Alpha Potentielle ajoutée*	
	due au radon 220	due au radon 222	due au radon 220	due au radon 222
	nJ.m ⁻³	nJ.m ⁻³	nJ.m ⁻³	nJ.m ⁻³
SOMAIR				
Arlit	29	76	0	0
Puits 214	40	151	0	56
Puits 248	45	129	0	34
Puits 2002	35	86	0	0
COMINAK				
Akokan 1	36	96	0	1
Akokan 2	62	184	15	89
Z.I. Extérieure	43	257	0	162
Aguelal	30	110	0	15
<i>Milieu naturel de référence</i>				
Douane Arlit	47**	95**		

* Différence entre l'EAP de la station de mesure et l'EAP du milieu naturel de référence

** Moyenne annuelles de 2003

4.5.2 CALCUL DE LA DOSE EFFICACE AJOUTEE PAR INHALATION DE RADON

Le tableau 17, ci-après, présente les résultats des calculs de dose efficace ajoutée due à l'inhalation de radon pour les quatre groupes étudiés.

Ces résultats sont obtenus en multipliant les EAP du tableau 16 par le temps passé sous influence du site (tableau 12) et par le coefficient de conversion (nJ.h.m⁻³ en mSv) associé à l'EAP de chaque isotope du radon.

En l'absence de résultats de mesures à l'intérieur des habitations, l'hypothèse d'une égalité entre les EAP à l'extérieur et à l'intérieur des habitations a été retenue. Cette hypothèse est a priori raisonnable compte tenu des caractéristiques de l'habitat local (taux de renouvellement de l'air important en l'absence de fenêtres).

Les coefficients de conversion de l'EAP en dose efficace, utilisés pour les besoins du calcul, sont dérivées des valeurs mentionnés dans l'arrêté ministériel du 1^{er} septembre 2003, définissant les modalités de calcul des doses efficaces et des doses équivalentes résultant de l'exposition des personnes aux rayonnements ionisants [9]. Ils sont de 1,1 mSv/mJ.m⁻³.h pour l'EAP du radon 222 et 0,39 mSv/mJ.m⁻³.h pour l'EAP du radon 220, dans les habitations.

Il est à noter que ces coefficients sont usuellement applicables au cas d'exposition domestique à l'intérieur des habitations. Les hypothèses qui les sous-tendent reposent sur un facteur d'équilibre de 0,4 entre les descendants effectivement présents dans l'air et ceux qui sont attendus dans un mélange où le radon est en équilibre avec ses descendants et sur une durée de résidence de 7000 h par an. Ils ne sont donc pas rigoureusement adaptés aux expositions considérées dans le cadre de cette étude. Faute de données plus précises sur les concentrations dans l'air des différents descendants du radon, ces coefficients ont été cependant considérés comme les plus pertinents à retenir.

tableau 17 : dose efficace ajoutée due à l'inhalation de radon (mSv.an⁻¹)

Numéro du groupe	Classe d'âge	Calcul	Résidence								
			SOMAIR				COMINAK				
			Arlit	Puits 214	Puits 248	Puits 2002	Akokan 1	Akokan 2	ZI extérieure	Aguelal	
GR1	Adulte	Calcul 1	0,00					0,01	0,91		
GR1 bis	Enfant	Calcul 1	0,00					0,01	0,91		
GR2	Adulte	Calcul 1		0,18	0,11	0,00				0,53	0,05
GR2 bis	Enfant	Calcul 1		0,18	0,11	0,00				0,53	0,05

Les personnes vivant dans la zone Akokan 2 (gendarmerie) sont soumises à une dose ajoutée par inhalation de radon de l'ordre de 0,9 mSv.an⁻¹. Cette zone, située à proximité du site COMINAK, est située à proximité (2 km) des puits d'aération des travaux miniers. La proximité de ces puits n'est évidemment pas la seule hypothèse à envisager pour expliquer la mesure élevée en EAP obtenue. Elle mérite cependant d'être prise en considération pour comprendre et essayer de réduire le niveau d'exposition au radon constaté sur ce secteur.

La dose, pour les populations nomades séjournant quatre mois dans la ZI extérieure est de 0,5 mSv.an⁻¹. Cette zone, située à proximité des zones d'activité minières, est fortement sous influence du site.

4.6 DOSE EFFICACE AJOUTEE PAR INHALATION DE POUSSIÈRES

4.6.1 ACTIVITE VOLUMIQUE AJOUTEE DANS L'AIR

Le tableau 18, ci-après, présente les valeurs retenues par l'IRSN pour le calcul de l'exposition interne ajoutée due à l'inhalation de poussières. Elles sont issues des mesures effectuées par COGEMA en 2003 sur ses stations de suivi environnemental. Il est à noter que les valeurs mesurées par l'IRSN lors de la mission de mai 2004 - exprimées en équivalent Pu239 - n'ont pas pu être exploitées car difficilement adaptables aux besoins du calcul de dose. L'ensemble des calculs a donc été réalisé à partir des seules valeurs COGEMA de 2003.

tableau 18 : activité volumique en émetteurs alpha à vie longue des poussières en suspension - mesures COGEMA 2003

Station de mesure	Mesures COGEMA réseau de surveillance	
	activité volumique en émetteurs alpha à vie longue	activité volumique en émetteurs alpha à vie longue ajoutée*
	mBq.m ⁻³	mBq.m ⁻³
SOMAIR		
Arlit	1,41	0,89
Puits 214	0,54	0,02
Puits 248	2,02	1,50
Puits 2002	0,44	0
Milieu naturel de référence**	0,52	

* Différence entre l'activité volumique en émetteurs alpha à vie longue des poussières de la station de mesure et l'activité volumique en émetteurs alpha à vie longue des poussières du milieu naturel de référence

** Valeur moyenne des données annuelles de 2003

Les documents remis ne comportent pas d'informations sur l'activité volumique en émetteurs alpha à vie longue des poussières en suspension autour du site COMINAK. Le calcul de dose ajoutée par inhalation de poussières n'a donc été effectué que pour les groupes de population associés au site SOMAIR.

4.6.2 CALCUL DE LA DOSE EFFICACE AJOUTEE PAR INHALATION DE POUSSIÈRES RADIOACTIVES

Le tableau 19, ci-après, présente les résultats des calculs de dose efficace ajoutée due à l'inhalation de poussières radioactives pour les quatre groupes de population aux différentes localisations envisagées. Ces résultats sont obtenus en multipliant les activités volumiques du tableau 18 par le volume inhalé (temps passé à l'extérieur des habitation -tableau 12- multiplié par le débit respiratoire) et par le coefficient de dose associé aux poussières.

Les hypothèses suivantes ont été appliquées :

- le taux d'empoussièrement à l'intérieur est considéré comme faible et est négligé pour les besoins du calcul ;
- les poussières considérées sont des poussières de résidus de traitement. Cette hypothèse conduit à une estimation majorante de l'exposition par rapport à l'hypothèse d'une inhalation de poussières de minerai en raison des coefficients de dose respectifs associés à chacun des deux matériaux. Elle se justifie par ailleurs par la présence de tas de résidus de traitement de minerais non recouverts (même si, en pratique, la croûte de surface semble limiter très fortement l'érosion éolienne) et de bassins de traitement des eaux de lavage du minerai potentiellement à l'origine d'envol de poussières de résidus.

Les coefficients de dose retenus sont de $1,9 \cdot 10^{-2} \text{ mSv.Bq}^{-1}$ alpha total pour les adultes et $2,6 \cdot 10^{-2} \text{ mSv.Bq}^{-1}$ alpha total pour les enfants (voir le détail des calculs de coefficients de dose en ANNEXE G).

Les débits respiratoires utilisés sont issus de la CIPR 66 [10]. Ils correspondent aux débits recommandés pour le public, pour les périodes de temps passées à l'extérieur. Pour les enfants, le débit est de $0,49 \text{ m}^3.\text{h}^{-1}$. Il repose sur l'hypothèse d'une station en position assise sur la moitié du temps considéré et d'un exercice léger sur l'autre

moitié. Pour les adultes, le débit respiratoire retenu est de $1,21 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$. Il correspond à une station en position assise sur la moitié du temps considéré, un exercice léger sur 3/8 de ce temps et un exercice important sur le dernier 1/8.

L'absence d'informations concernant l'activité volumique en émetteurs alpha à vie longue des poussières pour le site COMINAK n'a pas permis d'effectuer, pour les groupes de référence associés à ce site, un calcul de dose ajoutée.

tableau 19 : dose efficace ajoutée due à l'inhalation de poussières ($\text{mSv} \cdot \text{an}^{-1}$)

Numéro du groupe	Classe d'âge	Calcul	Résidence										
			SOMAIR				COMINAK						
			Arlit	Puits 214	Puits 248	Puits 2002	Akokan 1	Akokan 2	ZI extérieure	Aguelal			
GR1	Adulte	Calcul 1	0,12										
GR1 bis	Enfant	Calcul 1	0,07										
GR2	Adulte	Calcul 1		0,00	0,10	0,00							
GR2 bis	Enfant	Calcul 1		0,00	0,06	0,00							

4.7 DOSE EFFICACE AJOUTEE PAR INGESTION

4.7.1 ACTIVITE MASSIQUE AJOUTEE DES ALIMENTS ET DE L'EAU DE BOISSON

Les tableaux 27 et 28, ci-après, présentent les valeurs retenues pour le calcul de l'exposition interne ajoutée due à l'ingestion de produits locaux. Les valeurs sont issues des mesures effectuées par COGEMA en 2003 et contenues dans les documents remis à l'IRSN ainsi que des mesures ponctuelles réalisées lors de la mission IRSN sur site en mai 2004, en ce qui concerne l'eau de boisson.

Lorsque les mesures ont donné un résultat inférieur à la limite de détection, la valeur retenue est égale à la moitié de la limite annoncée. Les valeurs correspondantes apparaissent en grisé dans le tableau ci-après.

En ce qui concerne les légumes, les résultats de mesures portent sur l'uranium 238, le radium 226, le plomb 210 et le thorium 230. Les eaux n'ont fait l'objet que d'analyses d'uranium et de radium.

tableau 20 : activité massique ajoutée des aliments produits localement - différence entre valeur mesurée et valeur moyenne milieu naturel*- mesures COGEMA réseau de surveillance

Station de mesure	Carotte				Choux				Salade				Tomates				Zogala				Oignons			
	U ²³⁸	Ra ²²⁶	Pb ²¹⁰	Th ²³⁰	U ²³⁸	Ra ²²⁶	Pb ²¹⁰	Th ²³⁰	U ²³⁸	Ra ²²⁶	Pb ²¹⁰	Th ²³⁰	U ²³⁸	Ra ²²⁶	Pb ²¹⁰	Th ²³⁰	U ²³⁸	Ra ²²⁶	Pb ²¹⁰	Th ²³⁰	U ²³⁸	Ra ²²⁶	Pb ²¹⁰	Th ²³⁰
	Bq.kg ⁻¹				Bq.kg ⁻¹				Bq.kg ⁻¹				Bq.kg ⁻¹				Bq.kg ⁻¹				Bq.kg ⁻¹			
Arlit	0,00	0,00	0,00	0,00	0,30	0,00	0,00	0,00	0,00	0,10	0,00	1,05	0,05	0,15	0,20	0,40	0,2	0,10	1,60	1,90	0,95	0,50	0,65	1,45
Puits Arlit	0,65	0,40	0,05	0,15	0,025	0,00	0,00	0,00	0,025	0,00	0,00	0,00	0,05	0,15	0,10	0,75	1,05	0,60	0,00	1,85	0,65	0,40	0,05	0,15
Akokan	0,30	0,40	0,15	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,00	0,50	0,00	0,15	0,15	0,20	0,00	6,95	1,60	3,50	0,00	0,15	0,20	0,15	0,00

* lorsque la valeur mesurée est inférieure à la limite de détection, la valeur retenue est égale à la moitié de la limite de détection

tableau 21 : concentrations volumiques ajoutées des eaux de boisson.

Station de mesure	Origine de la mesure	Eau	
		U238	Ra226
		$\mu\text{g.l}^{-1}$	Bq.l^{-1}
Eau de distribution Arlit***	mesure COGEMA réseau de surveillance	8,7	0,01
	prélèvement ponctuel mission IRSN	25*	0,02* 0,04**
Puits 214	mesure COGEMA réseau de surveillance	140	0,04
	prélèvement ponctuel mission IRSN	151	0,05
Puits 248	mesure COGEMA réseau de surveillance	12,5	0,02
	prélèvement ponctuel mission IRSN	36	0,02
Puits 2002	mesure COGEMA réseau de surveillance	55	0,20
	prélèvement ponctuel mission IRSN	61	0,11
Eau de distribution Akokan	mesure COGEMA réseau de surveillance	15	0,00
	prélèvement ponctuel mission IRSN	58*	0,14* 0,13**
Aguelal	mesure COGEMA réseau de surveillance	15	0,00
		-	-
Milieu naturel de référence	mesure COGEMA réseau de surveillance	5	0,01

* mesure COGEMA

** mesure IRSN

*** moyenne des deux surpresseurs

4.7.2 CALCUL DE LA DOSE EFFICACE AJOUTEE PAR INGESTION

Les résultats, obtenus en multipliant les quantités ingérées (définies au tableau 13) par les concentrations mesurées (tableaux 27 et 28) et par les coefficients de doses associés à chaque radioélément, sont présentés dans le tableau 22 ci-après.

Les coefficients de doses appliqués, sont dérivés des coefficients de dose issus de l'arrêté ministériel du 1^{er} septembre 2003, définissant les modalités de calcul des doses efficaces et des doses équivalentes résultant de l'exposition des personnes aux rayonnements ionisants [9].

Les hypothèses suivantes ont été adoptées :

- faute d'informations plus précises sur les habitudes alimentaires des populations concernées, l'hypothèse d'une répartition égale entre les types d'aliments au sein d'une même famille d'aliments a été retenue. Par exemple, les 30 kg de légumes feuilles définis au paragraphe 4.2.2 ont été répartis entre 10 kg de salades, 10 kg de zogalas et 10 kg de choux ;
- les végétaux n'ayant pas fait l'objet d'analyses lors de la mission IRSN de mai 2004, la dose due à l'ingestion de végétaux est donc calculée sur la base des seules données COGEMA ;
- prise en compte des descendants par filiation radioactive :
 - o dans le cas des eaux, et en l'absence de données précises sur les concentrations respectives de chacun des descendants, deux hypothèses ont été appliquées : une hypothèse basse consistant à ne prendre en compte que l'uranium et le radium dans le calcul des doses, et une hypothèse haute consistant à considérer que l'uranium et le radium sont à l'équilibre avec l'ensemble de leurs descendants. Dans le cas de

l'hypothèse haute, le coefficient de dose appliqué pour le calcul de l'impact associé à chaque radionucléide, pour lequel on dispose d'une mesure, est donc la somme du coefficient associé à ce radionucléide et des coefficients de dose de ses descendants, jusqu'au radionucléide mesuré suivant.

Il peut être noté que l'hypothèse basse fournit une valeur minorante de la dose dans la mesure où elle conduit à négliger la contribution de l'ensemble des descendants du radium, y compris le Pb-210 et le Po-210 dont on sait qu'ils peuvent contribuer de façon significative à la dose par ingestion. Il est par contre plus difficile de se prononcer sur le caractère majorant de l'hypothèse haute. En fonction des mécanismes de mise en solution des différents éléments et de la reconstitution des équilibres isotopiques compte tenu du temps de séjour des eaux, la concentration en Ra-226 peut en effet être inférieure ou supérieure à celle du Pb-210 et du Po-210 ;

- dans le cas des végétaux, les radioéléments mesurés ont été considérés à l'équilibre avec leurs descendants. Ainsi, pour chaque radionucléide pour lequel une mesure est disponible, le coefficient de dose utilisé est la somme des coefficients de dose du radionucléide en question et des coefficients de dose de ses descendants non mesurés. Ainsi, le coefficient de dose par ingestion utilisé pour l'U-238 est la somme des coefficients de dose par ingestion de l'U-238, du Th-232, du Pa-234 et de l'U-234. Les descendants suivants sont pris en compte au travers de la contribution de Th-230 et du Ra-226 pour lesquels des mesures dans les végétaux sont disponibles.

L'hypothèse retenue s'apparente à l'hypothèse haute définie pour l'ingestion d'eau. Dans le cas des végétaux, l'utilisation d'une hypothèse basse n'a pas été jugée utile compte tenu du plus grand nombre de radionucléides mesurés.

tableau 22 : dose efficace ajoutée due à l'ingestion (mSv.an⁻¹)- calcul IRSN

Numéro du groupe	Classe d'âge	Calcul		Résidence					
				SOMAIR				COMINAK	
				Arlit	Puits 214	Puits 248	Puits 2002	Akokan	Aguelal
GR1	Adulte	Calcul 1	hypothèse haute	0,20				0,15	
			hypothèse basse	0,18				0,12	
		Calcul 2	hypothèse haute	0,28				0,48	
			hypothèse basse	0,20				0,16	
GR1 bis	Enfants	Calcul 1	hypothèse haute	0,32				0,21	
			hypothèse basse	0,30				0,18	
		Calcul 2	hypothèse haute	0,41				0,66	
			hypothèse basse	0,31				0,23	
GR2	Adulte	Calcul 1	hypothèse haute		0,32	0,12	0,33		0,08
			hypothèse basse		0,13	0,10	0,16		0,06
		Calcul 2	hypothèse haute		0,35	0,17	0,27		-
			hypothèse basse		0,13	0,11	0,14		-
GR2 bis	Enfants	Calcul 1	hypothèse haute		0,37	0,19	0,48		0,11
			hypothèse basse		0,20	0,17	0,20		0,09
		Calcul 2	hypothèse haute		0,40	0,23	0,38		-
			hypothèse basse		0,20	0,18	0,19		-

4.7.2.1 Résultats SOMAIR

Pour le site SOMAIR, les doses ajoutées les plus élevées sont:

- Pour les adultes :
 - o de 0,28 mSv.an⁻¹ pour le groupe résidant à Arlit ;
 - o de 0,35 mSv.an⁻¹ pour les nomades installés 4 mois autour du Puits 214 et consommant l'eau de ce puits et les produits cultivés localement ;
- Pour les enfants :
 - o de 0,41 mSv.an⁻¹ pour le groupe résidant à Arlit ;
 - o de 0,48 mSv.an⁻¹ pour les nomades installés 4 mois au Puits 2002 et consommant l'eau de ce puits et les produits cultivés localement.

Pour les populations nomades, l'eau de boisson représente, selon les lieux de séjour, de 35 à 80 % de la dose reçue par ingestion. Elle ne représente que de 10 à 40 % de la dose reçue par ingestion pour les populations urbaines. La contribution relative de l'eau de boisson est très nettement renforcée dans le cas de l'hypothèse haute.

La figure 15, ci-après, détaille la part des différents aliments dans la dose efficace ajoutée due à l'ingestion, pour les enfants résidant à Arlit pour le calcul 2, à partir des deux hypothèses. La dose due à l'ingestion d'eau représente, dans le cas de l'hypothèse haute, 27 % de la dose ajoutée par ingestion.

Dans le cas de l'hypothèse basse, la dose due à l'ingestion d'eau est très nettement réduite (elle ne représente plus que 4% de la dose par ingestion) du fait de la non prise en compte de la contribution du thorium 230 et des descendants du radium 226 dont le plomb 210. L'ingestion de zogalas et d'oignons contribuent dans ce cas respectivement à 38 % et 34 % de la dose par ingestion.

L'hypothèse concernant la prise en compte des descendants du radium et de l'uranium par filiation radioactive dans les eaux joue donc un rôle majeur pour l'estimation des doses efficaces ajoutées dans le cadre de cette étude et traduit une incertitude importante.

Des analyses plus poussées sur les eaux (analyse du plomb 210 ou même de l'activité alpha globale) pourraient permettre de lever les incertitudes mentionnées précédemment et de mieux apprécier l'importance réelle des doses par ingestion (voir le paragraphe 6.2.2).

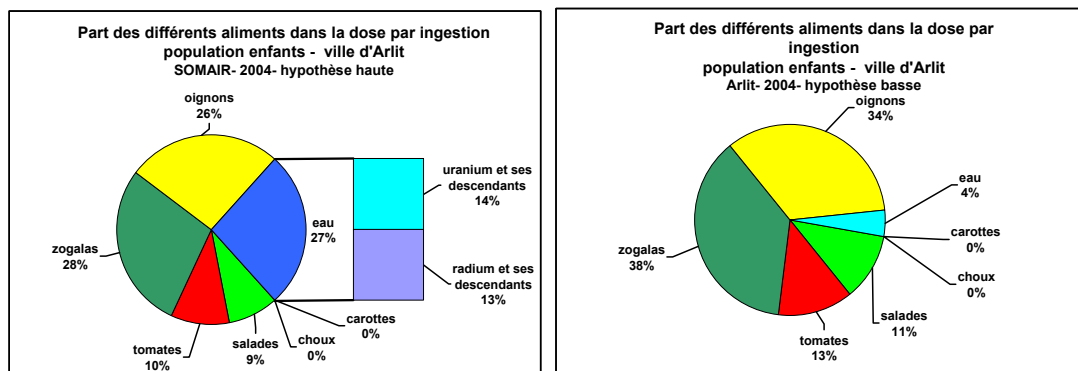


figure 15 : part des différents aliments dans la dose efficace ajoutée par ingestion- SOMAIR

Une analyse plus détaillée de la dose efficace ajoutée par ingestion de végétaux, pour les enfants résidant à Arlit (voir la figure 16), montre que c'est le thorium 230 qui contribue à créer l'essentiel de la dose par ingestion de végétaux. Dans ce cas, le thorium 230 contenu dans les zogalas et les oignons est responsable de 55 % de la dose.

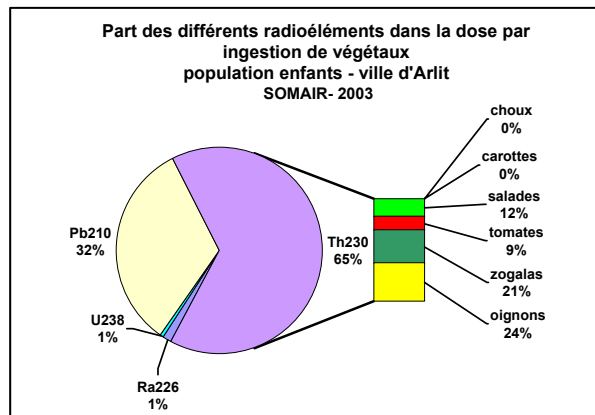


figure 16 : part des différents radioéléments dans la dose par ingestion- SOMAIR

4.7.2.2 Site COMINAK

Pour le site COMINAK, les doses ajoutées obtenues pour le groupe de nomades d'Aguelal sont faibles (inférieures à $0,1 \text{ mSv.an}^{-1}$). Les doses ajoutées calculées pour les populations urbaines résidant à Akokan sont significativement plus élevées et présentent une variabilité importante selon les hypothèses considérées :

- elles sont au maximum de $0,21 \text{ mSv.an}^{-1}$ pour les enfants et $0,15 \text{ mSv.an}^{-1}$ pour les adultes dans le cas du calcul 1,
- elles sont de $0,66 \text{ mSv.an}^{-1}$ pour les enfants et $0,48 \text{ mSv.an}^{-1}$ pour les adultes dans le cas du calcul 2 et de l'hypothèse haute.

Importance respective des différents aliments et des différents radionucléides

La figure 17, ci-après, détaille la part des différents aliments dans la dose efficace ajoutée due à l'ingestion, pour les enfants résidant à Akokan, pour chacune des deux hypothèses.

La dose due à l'ingestion d'eau représente, dans le cas de l'hypothèse haute, 74 % de la dose ajoutée par ingestion. Plus précisément, la dose associée à l'ingestion du radium, contenu dans l'eau (valeur élevée obtenue à partir du prélèvement ponctuel discutée au paragraphe 3.6.2 et ci-après) à hauteur de $0,15 \text{ Bq.l}^{-1}$, et de ses descendants, supposés à l'équilibre, représente 55 % de la dose par ingestion.

Dans le cas de l'hypothèse basse, la dose due à l'ingestion d'eau ne représente que 22 % de la dose ajoutée. L'ingestion de zogalas contribue dans ce cas à 55 % de la dose.

L'hypothèse concernant les équilibres dans les eaux joue donc un rôle majeur pour l'estimation des doses efficaces ajoutées dans le cadre de cette étude.

Des analyses plus poussées sur les eaux (analyse du plomb 210 ou même de l'activité alpha globale) pourraient permettre de lever les incertitudes mentionnées précédemment et de mieux apprécier l'importance réelle des doses par ingestion (voir le paragraphe 6.2.2).

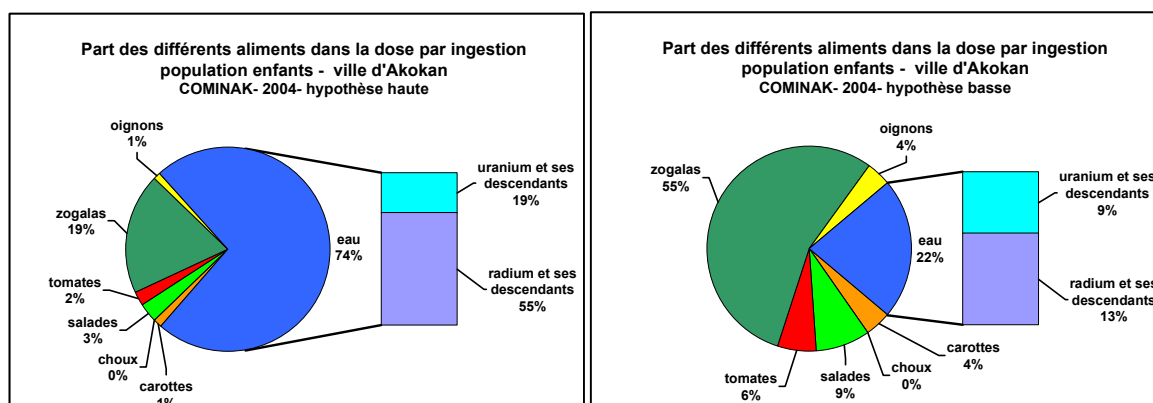


figure 17 : part des différents aliments dans la dose efficace ajoutée par ingestion - COMINAK

Une analyse plus détaillée de la dose efficace ajoutée par ingestion de végétaux, pour les enfants résidant à Akokan (voir la figure 18), montre que c'est le plomb 210, en équilibre avec son descendant le polonium 210, qui contribue à créer l'essentiel de la dose par ingestion de végétaux. Dans ce cas, le plomb 210, supposé en équilibre avec son descendant le polonium 210, contenu dans les zogalas est responsable de 65 % de la dose.

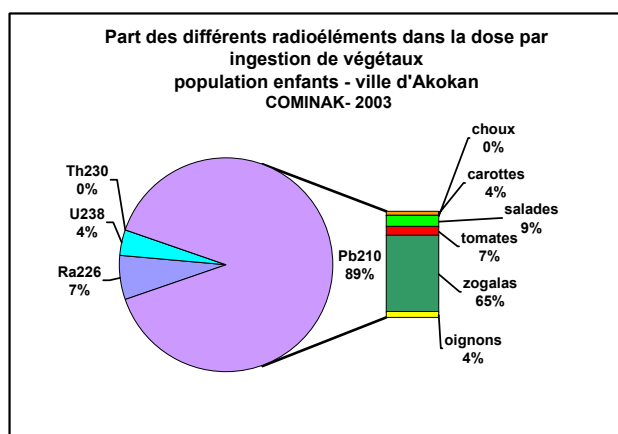


figure 18 : part des différents radioéléments dans la dose par ingestion- COMINAK

Eaux de boisson à Akokan : artéfact de prélèvement ou évolution réelle de la qualité radiologique ?

Les résultats précédents mettent en évidence la variabilité importante des résultats obtenus pour le groupe d'Akokan lorsque le calcul prend en compte de manière simultanée les mesures effectuées sur les eaux dans le cadre de la mission IRSN et une hypothèse d'équilibre entre l'U-238 et le Ra-226 et leur descendants respectifs.

Le cas particulier correspondant doit être considéré avec précautions compte-tenu des diverses remarques déjà indiquées au paragraphe 3.6.2. En effet, les doses élevées sont essentiellement dues (à hauteur de 80 % environ) à l'ingestion d'eau de boisson. Elles reposent donc directement sur l'analyse du prélèvement ponctuel effectué dans le cadre de la mission IRSN et dont la validité suscite des interrogations et reste à ce jour à confirmer. En particulier, il peut-être rappelé que :

- le prélèvement a été effectué postérieurement à la mission IRSN de mai 2004 sans qu'il soit possible aux équipes de l'institut de maîtriser les conditions de collecte de l'eau analysée ;

- les résultats obtenus sont en désaccord avec les mesures réalisées jusqu'à ce jour dans le cadre de la surveillance mise en place par les sociétés minières.

La mesure mériterait donc d'être discutée en regard des prochains résultats des mesures de surveillance afin de savoir s'il s'agit d'une valeur traduisant un artefact attribuable aux conditions de prélèvement ou une évolution réelle de la qualité radiologique des eaux.

4.8 DOSE EFFICACE TOTALE AJOUTEE

4.8.1 CALCUL DES DOSES

Le tableau 23, ci-après, détaille les doses efficaces totales ajoutées pour les quatre groupes de population définis au paragraphe 4.2.

Plusieurs hypothèses ont été appliquées lors de la réalisation de ces calculs pour palier certains manques de données :

- autour du site COMINAK, la voie d'exposition liée à l'inhalation de poussières n'a pas été prise en compte étant donné l'absence de résultats de mesure ;
- les valeurs concernant l'ingestion, pour les nomades séjournant dans la ZI extérieure (COMINAK), sont celles de la zone d'Aguelal.

tableau 23 : dose efficace totale ajoutée (mSv.an⁻¹)- calcul IRSN

Numéro du groupe	Classe d'âge	Calcul		Résidence							
				COMINAK*				SOMAIR			
				Akokan 1	Akokan 2	Z.I. Ext	Aguelal	Arlit	Puits 214	Puits 248	Puits 2002
GR1	Adulte	Calcul 1	hypothèse haute	0,17	1,07			0,38			
			hypothèse basse	0,13	1,03			0,36			
		Calcul 2	hypothèse haute	0,52	1,39			0,42			
			hypothèse basse	0,20	1,07			0,35			
GR1 bis	Enfant	Calcul 1	hypothèse haute	0,22	1,12			0,45			
			hypothèse basse	0,19	1,09			0,43			
		Calcul 2	hypothèse haute	0,70	1,57			0,51			
			hypothèse basse	0,27	1,14			0,41			
GR2	Adulte	Calcul 1	hypothèse haute			0,75	0,15		0,81	0,34	0,36
			hypothèse basse			0,71	0,11		0,62	0,32	0,19
		Calcul 2	hypothèse haute			0,84	0,13		0,70	0,27	0,27
			hypothèse basse			0,82	0,11		0,49	0,22	0,14
GR2 bis	Enfant	Calcul 1	hypothèse haute			0,76	0,15		0,86	0,36	0,49
			hypothèse basse			0,74	0,14		0,69	0,34	0,20
		Calcul 2	hypothèse haute			0,86	0,15		0,76	0,41	0,38
			hypothèse basse			0,85	0,14		0,56	0,35	0,19

* sans prise en compte de la voie d'exposition liée à l'inhalation de poussières, qui est au plus de 0,12 mSv.an⁻¹ pour le site SOMAIR

D'une manière générale, les doses calculées sont inférieures à 1 mSv.an⁻¹ à l'exception des doses calculées pour le groupe résidant à la gendarmerie d'Akokan (groupe dit « Akokan 2 »).

En ce qui concerne SOMAIR, les doses efficaces ajoutées les plus élevées (0,81 et 0,86 mSv.an⁻¹) sont calculées respectivement pour les enfants et les adultes du groupe de nomades supposé séjourner épisodiquement (quatre mois) autour du Puits 214. Ces

valeurs sont obtenues pour l'hypothèse haute. Les doses sont inférieures à 0,7 mSv.an⁻¹ lorsque l'on ne tient pas compte des descendants de l'U-238 et du Ra-226 pour l'ingestion d'eau (hypothèse basse).

En ce qui concerne le site COMINAK, les doses efficaces ajoutées sont :

- faibles quel que soit le calcul pour le groupe Aguelal (valeurs de l'ordre de 0,1 mSv.an⁻¹) ;
- comprises entre 0,1 et 0,8 mSv.an⁻¹ avec une variabilité importante selon les hypothèses de calcul retenues, pour le groupe d'Akokan 1 ;
- de l'ordre de 0,8 mSv.an⁻¹ quel que soit le calcul pour le groupe de nomades séjournant sur la zone industrielle extérieure ;
- légèrement supérieures à 1 mSv.an⁻¹ quel que soit le calcul pour le groupe résidant à la gendarmerie d'Akokan. Les valeurs restent comprises entre 1 et 1,1 mSv.an⁻¹ si l'on exclut le cas où sont simultanément pris en compte les résultats de la mesure singulière discutée au 3.6.2 et la prise en compte des descendants de l'U-238 et du Ra-226 dans l'eau selon l'hypothèse basse. Dans ce dernier cas, les valeurs atteignent 1,39 et 1,57 mSv.an⁻¹ pour les adultes et les enfants respectivement.

4.8.2 PARTS DES VOIES D'EXPOSITION DANS LA DOSE TOTALE

Les figures 19 à 22, ci-après, détaillent la part des diverses voies d'exposition dans la dose efficace totale calculée.

Les résultats relatifs aux deux hypothèses concernant l'ingestion (voir le paragraphe 4.7) sont représentés visuellement sur les figures par l'ajout d'une série intitulée « ingestion supplémentaire si hypothèse haute » permettant d'apprécier l'augmentation des doses calculées si l'on applique l'hypothèse haute.

4.8.2.1 Site SOMAIR

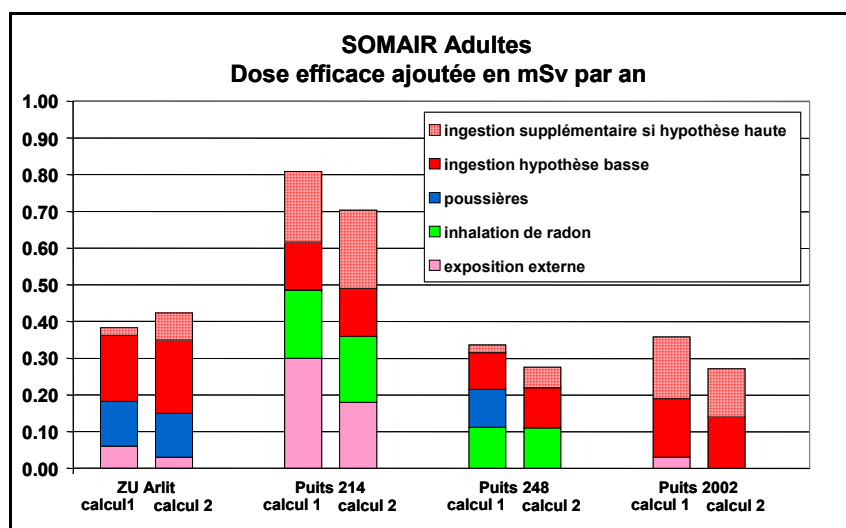


figure 19 : part des diverses voies d'exposition dans le calcul de la dose efficace ajoutée pour les adultes -SOMAIR

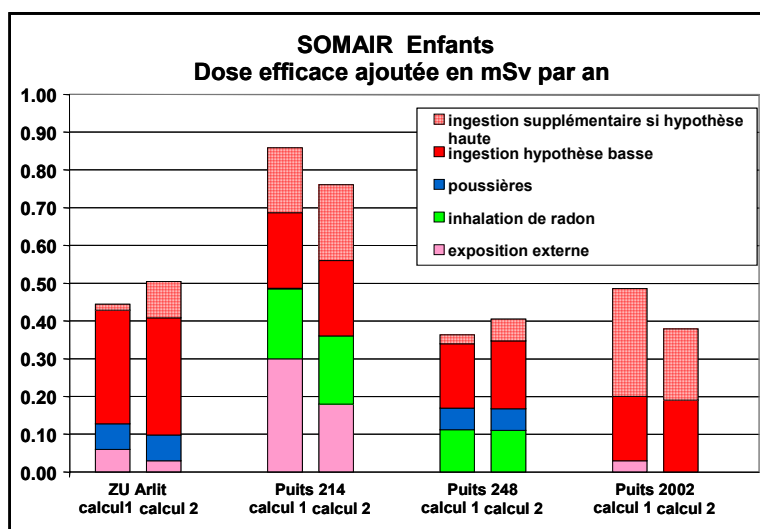


figure 20 : part des diverses voies d'exposition dans le calcul de la dose efficace ajoutée pour les enfants -SOMAIR

Dans le cas du calcul 2, quel que soit le groupe considéré, si l'on applique l'hypothèse haute, l'exposition interne par ingestion représente plus de 50 % de la dose ajoutée due au site SOMAIR.

Elle est également prépondérante pour le calcul 1, sauf pour les puits 214 et 248.

4.8.2.2 Site COMINAK

Rappelons que, pour les calculs autour du site COMINAK, la voie d'exposition liée à l'inhalation de poussières n'a pas pu être prise en compte étant donné l'absence de résultats de mesure.

Par ailleurs, dans le cas du calcul 2 à Akokan, les doses par ingestion sont largement influencées par l'analyse ponctuelle effectuée au Cercle Cadre en 2004. Il a donc été choisi de représenter sur les graphiques la part de dose ajoutée due à cette analyse, calculée sur la base de l'hypothèse haute.

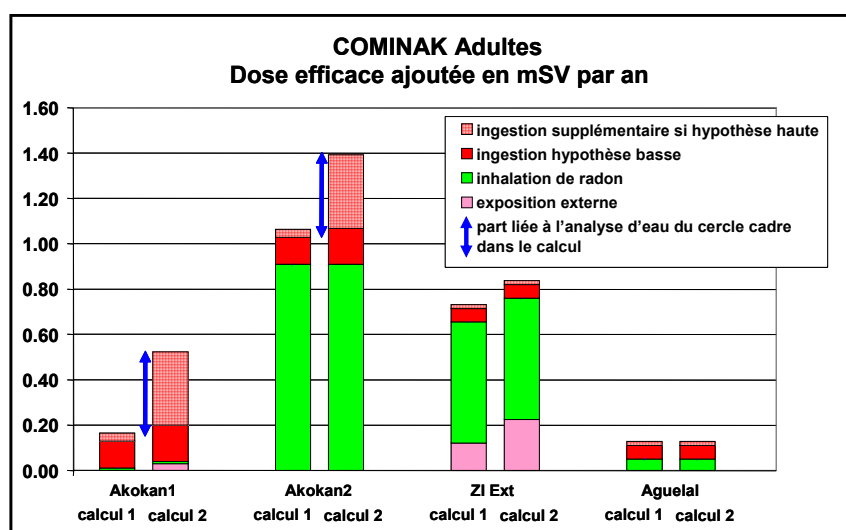


figure 21 : part des diverses voies d'exposition dans le calcul de la dose efficace ajoutée pour les adultes -COMINAK

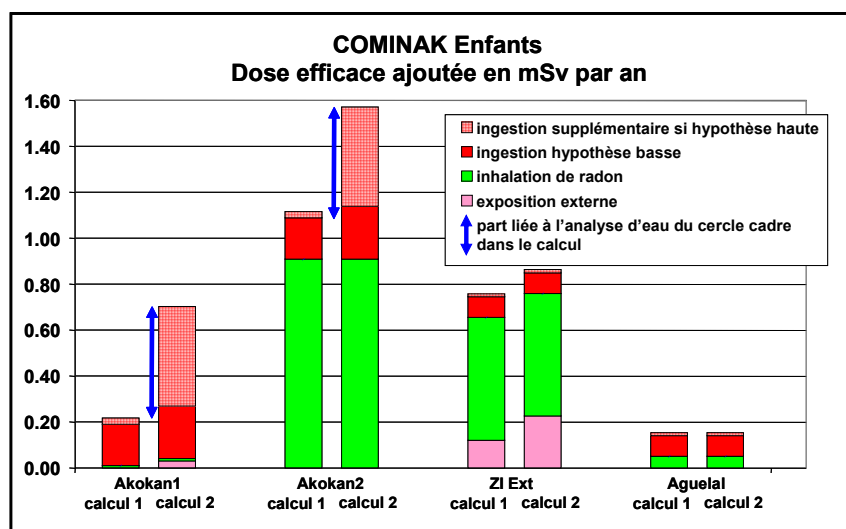


figure 22 : part des diverses voies d'exposition dans le calcul de la dose efficace ajoutée pour les enfants -COMINAK

Pour le calcul 2, l'exposition interne par inhalation de radon représente, pour les adultes et les enfants résidant à la gendarmerie (Akokan 2) ou séjournant épisodiquement au niveau de la ZI extérieure, plus de 60 % de la dose efficace ajoutée due au site COMINAK.

Les populations résidant dans la zone Akokan 1 ou séjournant épisodiquement à Aguelal, sont soumises à des doses plus faibles, essentiellement dues à l'ingestion.

4.9 CONCLUSION

Les résultats des calculs récapitulés ci-avant mettent en évidence des différences d'exposition notables d'un groupe de population à l'autre mais aussi en fonction des mesures et des hypothèses de modélisation retenues. Tous les résultats n'ont de ce point de vue pas le même degré de réalisme. Certains s'apparentent aux évaluations annuelles effectuées par COGEMA, d'autres ont une valeur plus indicative. C'est le cas des résultats des calculs effectués à partir des données recueillies dans le cadre de la mission IRSN (calcul 2) qui ont pour principal objectif de tester la robustesse de l'estimation de dose lorsque les données de surveillance périodique sont complétées par des mesures ponctuelles de terrain.

Les expositions, exprimées en dose efficace ajoutée, sont inférieures à $0,5 \text{ mSv}\cdot\text{an}^{-1}$, dans quasiment tous les cas étudiés, pour 5 des 8 groupes étudiés (Akokan 1, Aguelal, Arlit, Puits 214, Puits 248 et Puits 2002). Elles sont de l'ordre de $0,5$ à $0,8 \text{ mSv}\cdot\text{an}^{-1}$ selon les hypothèses considérées pour deux autres groupes (Z.I. Extérieure et Puits 214). Enfin, elles dépassent $1 \text{ mSv}\cdot\text{an}^{-1}$ quel que soit le cas considéré pour le groupe Akokan 2 (gendarmerie).

L'ingestion d'eau et de produits alimentaires constitue la voie d'exposition prépondérante pour la plupart des groupes. Une part importante des doses calculées pour cette voie est attribuable d'une part à la consommation de zogas, d'autre part à la concentration de l'eau et des aliments en Po-210 et Pb-210 retenue dans les calculs. Pour certains groupes, une incertitude importante est associée à la dose totale calculée du fait de l'absence de mesures pour ces deux radionucléides. Elle explique une part importante de la variabilité des résultats pour l'exposition associée à l'ingestion d'eau (hypothèses haute et basse). Dans le cas des groupes résidant à Akokan, il convient de préciser qu'une variabilité supplémentaire est imputable à la prise en compte des résultats d'analyse d'un échantillon d'eau prélevé dans le cadre de la mission de 2004. Une interrogation subsiste quant à la validité des valeurs correspondantes. Celles-ci se

présentent en effet comme des valeurs singulières et une incertitude existe quant aux conditions de prélèvement.

Pour ce qui concerne les zogalas les mesures disponibles (voir le tableau 20 page 36) révèlent des teneurs en radionucléides significativement supérieures à celles des autres végétaux. Ces végétaux participent pour 60 % à la dose reçue par ingestion de végétaux pour les habitants d'Akokan (COMINAK) et pour 30 % pour les habitants d'Arlit (SOMAIR). Il conviendrait d'une part d'affiner les données sur la consommation de cette plante, et d'autre part de valider les résultats de mesures par une campagne plus complète et, le cas échéant, d'évaluer les voies de transfert des radioéléments vers ces végétaux.

L'inhalation de radon prédomine cependant pour les populations sédentaires établies près de la gendarmerie d'Akokan et pour les populations nomades fréquentant la « zone industrielle extérieure ». Cette spécificité est selon toute vraisemblance liée à la localisation de ces deux groupes dans une zone sous l'influence directe des installations minières COMINAK (proximité d'un puits d'aérage dans le cas de la gendarmerie, en particulier).

Etant donné la part essentielle que représente l'inhalation de radon dans l'exposition de ces populations, il paraît essentiel :

- de valider les résultats de mesures par une campagne de mesures plus complète ;
- de pratiquer en parallèle une modélisation du transfert de radon depuis les différentes sources environnantes.

Dans l'hypothèse où les vérifications effectuées viendraient confirmer les estimations de dose précédentes, il conviendrait d'envisager des mesures visant à limiter l'exposition des personnes concernées au niveau de la gendarmerie.

Pour les populations nomades qui pourraient fréquenter le puits le plus proche du site SOMAIR (puits 214), bien que celui-ci soit gardienné, les résultats de calcul mettent également en évidence une contribution significative de l'exposition externe.

Il convient de noter que les calculs effectués vise à évaluer une dose efficace « ajoutée ». Les résultats dépendent donc étroitement de la référence choisi pour estimer l'exposition naturelle préexistant à l'activité minière. Pour les deux sites considérés, il n'existe pas de point zéro radiologique complet réalisé avant exploitation. Il est donc impossible d'assurer que les écarts mesurés entre les stations de surveillance du site et celles retenues pour servir de référence « milieu naturel », sont réellement attribuables à l'exploitation de minerai.

5 IMPACT DE LA REUTILISATION DES FERRAILLES

5.1 PROBLEMATIQUE DU RECYCLAGE DES FERRAILLES

Des déchets métalliques sont produits lors du remplacement de pièces ou de ferrailles usagées et lors de la réforme d'engins ou d'installations. Ces déchets ou « ferrailles », peuvent être cédées à des tiers (population d'Arlit ou d'Akokan) après nettoyage et contrôle radiologique, pour différentes utilisations : outillage, pièces de rechange de véhicules, fabrication d'ustensiles de cuisine, construction de maisons,....). Il est à noter que les ustensiles de cuisines sont fabriqués à partir de pièces d'aluminium issues de fûts recyclés. Selon les informations communiquées par COGEMA, ces fûts n'ont aucun contact avec des substances radioactives, mais uniquement des réactifs servant au

traitement du minerai d'uranium. Il n'en découle donc aucune exposition radiologique. Se pose, toutefois, la présence de traces de ces réactifs et de leur potentielle nocivité chimique.

La contamination de certaines ferrailles relevée sur le marché d'Arlit amène à considérer différents scénarios d'exposition qui pourraient découler de l'utilisation de ces ferrailles.



figure 23 : mesure de débits de dose au marché aux ferrailles d'Arlit



figure 24 : ustensiles de cuisine provenant du recyclage d'anciens fûts (marché d'Arlit)

5.2 LES SCENARIOS DE RECYCLAGE DES FERRAILLES CONSIDERES PAR L'IRSN

Lors de la visite du marché aux ferrailles de la ville d'Arlit, aucun exemple de recyclage des pièces métalliques contaminées n'a pu être identifié. L'IRSN s'est donc basé sur des scénarios d'exposition génériques pour tenter d'estimer l'impact radiologique associé au recyclage de certaines de ces pièces.

5.2.1 VALIDATION DES HYPOTHESES DE CALCULS

Les évaluations ont été réalisées à partir du cas d'un tuyau de collecte des eaux d'exhaure de mines. Il a été supposé que la contamination de ce type de pièce

provenait d'un dépôt de minerais sur la paroi intérieure du tuyau. Afin de valider cette hypothèse, les calculs ont été basés sur l'exemple du tuyau repéré chez un ferrailleur du marché d'Arlit.

Afin de valider les hypothèses de contamination un calcul d'exposition a été réalisé à l'aide du code Microshield [11]. Il constitue une base de comparaison avec la mesure de débit de dose effectuée chez le ferrailleur.

Les hypothèses retenues pour le calcul sont les suivantes :

- un tuyau en acier (1 cm d'épaisseur) de 20 cm de rayon, 5 mètres de long ;
- 2 cm de particules de minerais encroûtées dans le tuyau ;
- un enrichissement du minerais à 3 ‰, en supposant les chaînes de l'U-238 et de l'U-235 à l'équilibre.

Les résultats du calcul sont présentés dans le tableau 24, ci-dessous.

tableau 24: Comparaison des débits de dose mesurés et calculés sur un tuyau de collecte des eaux d'exhaure de mines

	Débit de dose mesuré ($\mu\text{Sv.h}^{-1}$)	Débit de dose calculé ($\mu\text{Sv.h}^{-1}$)
Au contact	1,4	1,3
A 50 cm	-	0,9
A 1 m	-	0,5

Sur la base des hypothèses prises en compte, le calcul d'exposition fournit le même ordre de grandeur que la mesure. Dans la suite des évaluations, les valeurs de débit de dose calculés seront retenues.

5.2.2 EXPOSITION D'UN FERRAILLEUR

La seule situation d'exposition avérée concernant la dissémination de ferrailles contaminées provenant des installations minières correspond au cas d'un ferrailleur sur le marché d'Arlit. Cette situation correspond à un cas a priori pénalisant puisque cette personne est exposée à un stock important de ferrailles auprès duquel il est amené à séjourner longtemps.

Deux situations sont considérées pour l'évaluation de l'impact radiologique :

- scénario n° 1 : on suppose que la présence d'un tuyau du type de celui décrit au paragraphe 5.2.1 dans le stock d'un forgeron est un événement ponctuel et que cette pièce est détenue depuis une longue période de temps. L'exposition de ce ferrailleur est évaluée sur la base des hypothèses suivantes :
 - o séjour de 4 heures par jour à 1 mètre du tas de ferrailles ;
 - o marché ouvert tous les jours de l'année ;
 - o exposition estimée sur la base du débit de dose à 1 mètre calculé précédemment.
- scénario n° 2 : un forgeron est amené à manipulé fréquemment des tuyauteries du type de celle décrite au paragraphe 5.2.1. à des fins de recyclage ou de transformation. L'exposition du ferrailleur dans cette seconde situation est évaluée sur la base des hypothèses pénalisantes suivantes :
 - o travail de 1 heure par jour au contact de matériaux contaminés ;
 - o séjour de 4 heures par jour à 1 mètre du tas de ferraille ;
 - o marché ouvert tous les jours de l'année ;

- exposition estimée sur la base du débit de dose mesuré sur le marché d'Arlit pour la manipulation et du débit de dose calculé à 1 m pour la proximité.

Les doses efficaces totales correspondant aux scénarios n°01 et n°2 sont évaluées respectivement à 0,7 et de 1,2 mSv, sans compter les autres voies d'exposition potentiellement liées à la présence des sites miniers dans l'environnement.

5.2.3 EXPOSITION D'UN INDIVIDU DANS UN POTAGER

A proximité des bassins de lagunage des eaux usées utilisées pour l'irrigation des jardins potager sont postés des gardiens pour la surveillance du matériel de pompage.

En supposant le recyclage d'un tuyau de conduite des eaux d'exhaure de mine pour l'adduction d'eau dans un potager, on peut estimer, à partir des débits de dose calculés au paragraphe 5.2.1, l'exposition d'un tel gardien. L'hypothèse est faite d'une distance de 1 mètre entre le gardien et le tuyau.

Pour une heure par jour, chaque jour de l'année, la dose reçue est estimée à 0,2 mSv, sans compter les autres voies d'exposition potentiellement liées à la présence des sites miniers dans l'environnement.

5.3 LES MESURES MISES EN PLACE PAR LES SOCIÉTÉS MINIERES

Les deux sociétés minières ont depuis quelques années mis en place des procédures pour le contrôle des ferrailles issues des activités minières avant leur éventuel recyclage dans le domaine public.

Ces procédures reposent sur des contrôles radiologiques pratiqués sur toutes les ferrailles destinées à être éliminées.

Ces contrôles sont relatifs :

- à l'activité surfacique alpha résiduelle (Bq.cm^{-2}) ;
- au débit de dose en exposition externe (en $\mu\text{Gy.h}^{-1}$) mesuré au contact et à proximité de la pièce à contrôler.

Ils sont pratiqués après lavage systématique des ferrailles dans une zone dédiée avec récupération des effluents liquides.

Dans la mesure du possible, les pièces sont transportées sur des aires spécifiques choisies pour leur bas bruit de fond en exposition externe, afin d'y être contrôlées.

Les valeurs guide retenues par COGEMA sont :

- pour l'activité surfacique alpha résiduelle, de $1,85 \text{ Bq.cm}^{-2}$, en moyenne sur 1 m^2 , sans dépasser ponctuellement $18,5 \text{ Bq.cm}^{-2}$;
- pour le débit de dose gamma à 50 cm environ, $1 \mu\text{Gy.h}^{-1}$.

Les valeurs à prendre en compte sont les valeurs moyennes et maximales obtenues sur 10 points de mesure environ.

Pour chaque matériel, une fiche de suivi du matériel est ensuite remplie pour assurer une traçabilité des ferrailles sorties du site.

Dans le cas où les ferrailles ne sont pas banalisables, c'est-à-dire ne respectent pas les valeurs guides précédentes, elles sont gérées comme déchets sur sites, dans des zones contrôlées, spécialement affectées à l'entreposage des déchets.

5.4 COMMENTAIRE GENERAL

L'IRSN a pu constater la présence, sur le marché aux ferrailles d'Arlit, de différentes pièces présentant des débits de dose significativement supérieurs au bruit de fond local, malgré les procédures de contrôle des ferrailles sur les sites miniers. Ces anomalies sont localisées sur certains tas de ferrailles et ne marquent pas le niveau de rayonnement gamma ambiant du marché.

Une estimation de l'impact associé à la réutilisation des ferrailles contaminées a été effectuée sur la base des mesures de débits de dose réalisées sur des tuyaux chez un ferrailleur du marché d'Arlit et au travers d'un calcul théorique d'exposition. Pour le scénario d'exposition le plus pénalisant, les résultats obtenus peuvent conduire à des niveaux de $1,2 \text{ mSv.an}^{-1}$. Ce cas correspond à l'exposition sur une année d'un ferrailleur qui, du fait de son activité, reste quotidiennement 1 heure au contact et 4 heures à 1 mètre d'un tas de ferrailles.

6 EVALUATION PAR L'IRSN DU RESEAU DE SURVEILLANCE DE L'ENVIRONNEMENT

La description du réseau de surveillance en place actuellement est détaillée au paragraphe 3.3 page 14.

L'IRSN a effectué son analyse selon le référentiel défini dans la méthode d'évaluation de l'impact des sites de stockage de résidus de traitement de minerais d'uranium [8], élaborée par l'institut à la demande du ministère de l'écologie et du développement durable. Selon ce référentiel, la mise en place d'un réseau de surveillance autour d'un site minier repose sur la connaissance des termes source, sur la prise en compte des voies de transfert de radioéléments et sur l'identification des groupes de population exposés.

Par ailleurs, la mise en place d'un tel réseau doit être associée à la mise en place d'un réseau de surveillance du bruit de fond naturel, élément essentiel de l'appréciation de l'impact des activités minières.

6.1 LES TERMES SOURCES

L'ensemble des termes sources identifiés par l'IRSN est détaillé au paragraphe 3.2 page 12.

Dans le cas des deux sites miniers considérés, les sources d'exposition sont évidemment associées, en premier lieu, aux ouvrages miniers et aux stocks de matériaux (minerais, stériles, résidus) gérés sur les sites au cours ou à l'issue des opérations d'extraction et de traitement de minerais d'uranium. Ils sont à l'origine de nuisances potentielles par envol de poussières, émission de rayonnement gamma, rejet atmosphérique de radon ou rejet d'eaux contaminées (exhaure des mines et rejets des usines de traitement). Deux sources secondaires sont également à prendre en compte :

- l'exploitation des nappes aquifères directement impactées par les exploitations minières (la formation du Tarat abrite à la fois la principale ressource en eau du secteur et une partie des gisements d'uranium exploités) et donc potentiellement contaminées ;
- le recyclage ou la dissémination non contrôlée de matériaux issus des activités minières passées (ferrailles, stériles issus de descenderies de mines...).

6.2 LES VOIES DE TRANSFERT DE RADIOELEMENTS

A partir des sources précédentes, deux principaux vecteurs gouvernent la distribution de la radioactivité dans l'environnement : le vent qui, compte tenu du régime climatique de la région, joue un rôle fondamental, et l'eau souterraine qui, via l'irrigation, participe à la contamination des jardins et des denrées alimentaires. Le résultat de cette redistribution peut être apprécié au travers des mesures de surveillance effectuées par COGEMA et des observations faites par l'IRSN au cours de la mission de mai 2004 (voir le chapitre 3).

L'IRSN note en premier lieu que le dispositif de surveillance établi par COGEMA permet d'appréhender l'ensemble de ces vecteurs d'exposition.

Les deux éléments d'appréciation conduisent cependant aux constats et recommandations exprimés ci-après pour chacun des vecteurs considérés.

6.2.1 VECTEUR AIR

6.2.1.1 Le plan de prélèvement des analyses de sol

La distribution de la radioactivité sous l'effet du vent est avérée mais difficilement interprétable. A l'échelle du secteur étudié, l'analyse effectuée par l'IRSN n'a pas permis de mettre en évidence de corrélation évidente entre la contamination du sol et la direction des vents dominants. Dans le cas plus particulier du site COMINAK, un marquage des stations situées à l'ouest du site semble se dégager mais reste à confirmer.

Hormis en certains points significativement contaminés, il n'existe pas non plus de corrélation entre la contamination du sol (et en particulier des particules fines qui le composent) et les débits de dose mesurés en surface. Il est donc impossible d'établir a priori une relation simple entre l'exposition externe et l'inhalation de poussières radioactives.

La fraction fine des sols ne représente en effet que moins de 6 % de la masse des échantillons prélevés. Cette fraction concentre par contre l'essentiel de la radioactivité et contribue a priori de façon essentielle à l'exposition par inhalation. Compte tenu de sa faible proportion en masse, elle a par contre une influence limitée sur le rayonnement gamma total émis par les sols.

Le double constat précédent amène à s'interroger sur la justification des mesures systématiques effectuées suivant le maillage régulier défini par les radiales du réseau de surveillance. Pour préciser les zones sous influence directe du site, le système de suivi par radiale actuellement en place représente des moyens importants sans fournir d'enseignements réellement exploitables. Il apparaît ainsi surdimensionné en nombre de points de mesure alors que la fréquence annuelle des prélèvements de sols ne permet pas de mettre clairement en évidence les mécanismes concourant aux marquages qui ont pu être observés sur les sites.

Recommandations IRSN :

L'IRSN recommande dans un premier temps d'exploiter les résultats de mesures déjà disponibles en remplaçant ceux-ci par rapport à la rose des vents.

En complément, il semblerait utile d'envisager une évolution du dispositif de suivi de la dispersion de la radioactivité depuis les sites sous l'effet du vent, par certaines mesures ponctuelles adéquatement choisies. Il conviendrait, en particulier, d'adapter la fréquence des mesures à l'étude des divers régimes de vent et de choisir l'emplacement des stations en fonction de la position des sources potentielles (par exemple, les stockages de résidus qui, à défaut d'être recouverts, constituent a priori une source de

poussières radioactives) et des lieux fréquentés par les populations nomades ou sédentaires.

6.2.1.2 Le prélèvement et l'analyse des poussières

Recommandations IRSN :

En complément des recommandations précédentes, il conviendrait de s'assurer de l'efficacité des dispositifs de mesure des poussières dans l'environnement des sites. En effet, le document [1] synthétise les résultats des mesures par la phrase « les niveaux en émetteurs alpha à vie longue [restent] inférieurs aux limites de détection » alors que les analyses montrent, en certains endroits, une contamination des sols qui ne peut provenir que de la remise en suspension puis du dépôt de poussières à partir des sites.

La technique de mesure employée, que cela soit par plaquette de sédimentation ou par analyse de filtres après prélèvement d'air, doit être adaptée aux conditions météorologiques locales et doit permettre la capture des particules fines en suspension dans l'air avant leur dépôt sur le sol.

Il serait par ailleurs indispensable de compléter le suivi environnemental du site COMINAK de manière à disposer de mesures d'empoussièrement.

6.2.1.3 Les mesures du radon

L'inhalation de radon représente une voie d'exposition importante des populations sédentaires établies près de la gendarmerie d'Akoka et des populations nomades fréquentant la « zone industrielle extérieure ». Cette spécificité est, selon toute vraisemblance, liée à la localisation de ces deux groupes dans des zones sous l'influence directe des installations minières de COMINAK (proximité d'un puits d'aération dans le cas de la gendarmerie, en particulier).

Recommandations IRSN :

Etant donné la part essentielle que représente l'inhalation de radon dans l'exposition de ces populations, il paraît essentiel :

- de valider les résultats de mesures par une campagne de mesures complète ;
- de rechercher l'origine des concentrations en radon dans l'air en pratiquant une modélisation du transfert de radon depuis les différentes sources environnantes.

6.2.1.4 L'évaluation de l'exposition externe

Recommandation IRSN :

L'IRSN considère qu'il y aurait lieu d'uniformiser les conditions de mesure sur chacune des stations. Il conviendrait en particulier de s'assurer que les phénomènes d'ensablement ne faussent pas les mesures en modifiant la hauteur relative entre le sol et les détecteurs. Par ailleurs, il ne devrait pas y avoir de dalle de béton au sol.

6.2.2 VECTEUR EAU

Le fond géochimique naturel des eaux de l'aquifère du Tarat est caractérisé par des faibles teneurs en uranium et radium (inférieures aux limites de détection). Le suivi radiologique, effectué semestriellement par COGEMA, ainsi que les analyses faites par l'IRSN en mai 2004, mettent en évidence des concentrations nettement supérieures en certains points de mesure (jusqu'à 0,15 Bq.l⁻¹ pour le radium 226 et 0,16 mg.l⁻¹ en uranium), traduisant une influence probable des activités minières.

Les niveaux mesurés sont significatifs mais a priori acceptables au vu des estimations de dose. Ils justifient, cependant, une vigilance soutenue compte tenu de l'importance primordiale de la ressource souterraine pour les populations de la région.

Par ailleurs, les évaluations de doses réalisées par l'IRSN ont montré l'importance de l'influence des teneurs en descendants du radium 226 dans les eaux de boisson sur la dose efficace calculée. Or, les analyses réalisées dans le cadre de la surveillance actuelle ne concernent actuellement que l'uranium 238 et le radium 226.

Recommandation IRSN :

Il serait utile de mettre en place des contrôles selon une fréquence adaptée aux variations des conditions hydrodynamiques de la nappe, en particulier en cas de modification des débits de pompage lors de la mise en activité ou de l'arrêt d'exploitation sur certaines zones.

De plus, l'IRSN recommande de compléter les analyses des eaux de manière à apprécier la contribution réelle de l'ensemble des radionucléides sur la dose efficace par ingestion. Une mesure de l'activité alpha globale et au besoin des activités en Po-210 et du Pb-210 pourrait particulièrement utile pour réduire les incertitudes actuelles.

6.2.3 VECTEUR ALIMENTATION

L'analyse des documents remis à l'IRSN a montré que les zogalas, végétaux cultivés localement, présentent des teneurs en radioéléments très nettement supérieures à celles observées dans les autres végétaux. Les teneurs en uranium 238 « ajouté » de ces végétaux peuvent ainsi atteindre 7 Bq.kg^{-1} à Akokan, alors que, dans les autres végétaux analysés, elles ne dépassent pas $0,3 \text{ Bq.kg}^{-1}$ (voir le tableau 20). Il est à noter que ces niveaux de contamination sont constatés alors même que les analyses des sols des jardins et des eaux d'irrigation n'ont pas révélé de contamination significative. Ces informations suggèrent donc un transfert particulièrement efficace vers ces végétaux.

Recommandations IRSN :

Il conviendrait d'étudier les voies de contamination possible des zogalas en cherchant à distinguer la part de contamination due éventuellement au dépôt de poussières sur les feuilles et celle apportée par la voie racinaire via le sol et les eaux d'irrigation.

Par ailleurs, les observations sur site ont montré la présence de troupeaux de chèvres et de nombreux troupeaux de chameaux. L'IRSN considère qu'il faudrait introduire le lait et la viande de chèvre et de chamelle dans le réseau de prélèvement de denrées alimentaires.

6.3 LES GROUPES DE POPULATION EXPOSES

Sur la base des observations effectuées à l'occasion de la mission de mai 2004 et des éléments descriptifs mentionnés dans les différents rapports transmis, les populations potentiellement soumises aux impacts des sites miniers sont, d'une part, les habitants des implantations urbaines créées dans le sillage de l'activité minière et, d'autre part, les nomades transitant par la région.

Chacune de ces deux catégories de personnes est prise en compte dans le dispositif de surveillance actuel, au travers du suivi des principales voies d'exposition auxquelles sont soumis une série de groupes de référence.

Recommandations IRSN :

Dans le détail, il conviendrait de s'interroger sur l'exposition de deux groupes supplémentaires établis ou travaillant à proximité immédiate des installations minières :

- les gardes en poste à l'entrée du site COMINAK ainsi que les autres gardiens en bordure du site. Il conviendrait de vérifier qu'ils sont effectivement considérés comme personnels exposés et correctement suivis à ce titre ;
- les militaires en faction à l'entrée du site COMINAK, en vue directe et à proximité (quelques dizaines de mètres) de tas de minerais broyés.

Par ailleurs, il faudrait également s'interroger sur l'exposition du gardien de la station de guidage de l'aéroport, près du site SOMAIR.

Il peut-être également noté que le réseau de surveillance (choix des produits prélevés, des habitudes alimentaires et des modes de vie...) est orienté vers le suivi des expositions des adultes.

Toutefois, la classe d'âge « enfant » mériterait de faire l'objet d'un suivi plus spécifique.

Pour cela, l'IRSN considère qu'il faudrait :

- effectuer une série de mesures des produits consommés préférentiellement par les enfants (lait de chamelle et de chèvre) et, au besoin, de compléter le dispositif de surveillance des aliments afin d'y ajouter les produits jugés les plus sensibles ;
- envisager la possibilité de déplacer la station de mesure d'Arlit, actuellement implantée au niveau du château d'eau, afin de créer une station dédiée à l'exposition des enfants dans l'école d'Arlit.

Enfin, la question de la fréquentation des sites eux-mêmes et de leurs installations périphériques (bassins de décantation ou, de façon plus générale, toute zone réceptrice des eaux issues des installations minières) par certaines populations mériterait une attention particulière. Celle-ci peut justifier la mise en place de mesures de surveillance et d'évaluation des expositions, ou conduire à renforcer les mesures d'interdiction ou de contrôle d'accès déjà en vigueur.

6.4 LE RESEAU DE SURVEILLANCE DU BRUIT DE FOND NATUREL

Il n'existe qu'un seul point de mesures utilisé pour estimer le bruit de fond naturel. Sa localisation (douane d'Arlit) a été principalement choisie pour son éloignement par rapport aux deux sites miniers et sa position en dehors des secteurs de vents dominants. La présence de militaires au poste de douane contribue par ailleurs à minimiser toute difficulté liée à la dégradation ou au vol des dispositifs de mesure. Ce paramètre a également fortement contribué au choix de la localisation actuelle.

Recommandations IRSN :

Etant donné la variabilité des débits de dose dans la région, l'IRSN s'interroge sur la représentativité de cette station et considère qu'il serait utile d'envisager la mise en place de stations de référence « milieu naturel » complémentaires autour des sites.

6.5 LA DISSEMINATION DES MATERIAUX CONTAMINES DANS L'ENVIRONNEMENT

Les informations recueillies au cours de la mission de l'IRSN de 2004 ont montré la présence d'un marquage de la route menant du site COMINAK à la ville d'Akogan. Celui-ci est probablement dû à l'utilisation de matériaux issus du creusement de la descenderie des travaux miniers souterrains.

Recommandations IRSN :

Dans la mesure où cette réutilisation se traduit par des débits de dose ponctuels très nettement au dessus du bruit de fond local, il apparaît nécessaire de prévoir l'enlèvement de ces matériaux.

En ce qui concerne les ferrailles, les observations réalisées par l'IRSN au cours de la mission de mai 2004 conduisent à considérer que, pour certains scénarios particuliers (ferrailleur, par exemple), le recyclage des ferrailles peut entraîner un impact significatif sur les individus amenés à manipuler ou à transformer ces matériaux.

Toutefois, il convient de considérer les doses calculées avec précaution, du fait de la méconnaissance des paramètres d'exposition réels des individus concernés (quantités de ferrailles contaminées réellement manipulées, temps de séjour des ferrailles chez un ferrailleur,...).

Les observations faites par l'IRSN lors de la mission de mai 2004 n'ont pas permis d'examiner dans le détail l'efficacité des procédures de contrôles et de décontamination mises en œuvre par COMINAK et SOMAIR avant libération de matériels dans le domaine public.

Certains points restent en particulier à préciser :

- quelles sont les modalités de mesurage et de traitement de la contamination fixée à l'intérieur de certaines pièces métalliques telles que des tuyauteries (dépôts de tartres par exemple) ?
- y a t il un risque de remobilisation de cette contamination ?

Par ailleurs, les valeurs seuil retenues dans les procédures de libération mises en œuvre ne permettent pas de garantir que la limite d'exposition de 1 mSv.an^{-1} sera respectée pour tous les scénarios d'exposition envisageables. Ainsi, la valeur de $1 \mu\text{Gy.h}^{-1}$ pourrait conduire à dépasser cette valeur limite pour le cas d'un ferrailleur en appliquant certains scénarios, a priori pénalisants, mais dont il est difficile d'évaluer la vraisemblance sans connaissance précise des circuits locaux de réutilisation et de transformation.

Recommandations IRSN :

Du point de vue de l'IRSN, la démarche mise en œuvre en préalable à la remise éventuelle de matériels dans le domaine public devrait a minima consister en une décontamination systématique des matériels présentant une contamination (mesures supérieures aux valeurs de bruit de fond). Cette décontamination devrait viser à abaisser aussi bas que possible l'activité résiduelle et tenir compte de la répartition de l'activité sur l'ensemble du volume des matériels considérés (dépôts à l'intérieur des cuves, tartres à l'intérieur des conduites...). L'utilisation de seuils ne devrait intervenir qu'ensuite, dans une démarche d'ultime vérification.

Les valeurs à retenir devraient être établies en tenant compte des usages potentiels qui peuvent être faits des ferrailles dans le contexte d'un recyclage. Une approche possible pourrait se fonder sur les éléments suivants :

- recensement des usages réels les plus courants ;

- évaluation d'impact radiologique pour les scénarios de réutilisation mis en évidence et pour les activités résiduelles envisageables à l'issue des opérations de décontamination.

En complément du dispositif de décontamination et de contrôle précédent, il apparaît nécessaire de réaliser une cartographie exhaustive des marchés des villes d'Arlit et d'Akokan afin d'accompagner l'application stricte des règles de libération, par des actions de rachat des ferrailles contaminées déjà dans le domaine public.

7 CONCLUSION

En réponse à la demande de COGEMA, l'IRSN a effectué l'analyse du réseau de surveillance et de l'impact radiologique associés aux mines d'uranium de SOMAIR et COMINAK, au Niger.

L'analyse a été effectuée sur la base de deux sources d'information principales : les données recueillies à l'occasion de la mission organisée du 10 au 15 mai 2004 sur les deux sites concernés et le contenu des divers dossiers transmis.

La mission sur site avait pour objectif de permettre à l'IRSN de disposer d'une compréhension générale des sites et de leur contexte environnemental, agricole et humain. Son déroulement a également été l'occasion d'effectuer des mesures de terrains distinctes de celles fournies par le dispositif de surveillance déjà en place. Il apparaît cependant important de préciser que la mission a été conçue comme une mission de reconnaissance légère et ne visait pas à valider les données recueillies par le réseau de mesures actuel.

De cette analyse, l'IRSN retient particulièrement les points suivants :

- le réseau de surveillance mis en place autour des deux sites miniers est globalement cohérent avec les standards appliqués en France pour la surveillance de l'impact radiologique de stockages de résidus de traitement de minerai d'uranium. Il permet, en particulier, un suivi régulier des voies d'exposition majeures auxquelles sont soumis les principaux groupes de populations nomades et sédentaires fréquentant les environs des sites ;
- quelques voies d'amélioration mériteraient cependant d'être explorées de façon à évaluer l'impact reçu par certains groupes particuliers (gardes à l'entrée de l'aéroport, gardiens et militaires près du site COMINAK), à mieux prendre en compte l'exposition des enfants ou à comprendre plus finement les mécanismes de redistribution de la radioactivité sous l'effet du vent ;
- l'impact radiologique des sites a été évalué par l'IRSN, sur la base des données disponibles et des hypothèses d'exposition retenues par COGEMA. Les calculs conduisent à des doses efficaces ajoutées généralement inférieures à 1 mSv.an^{-1} .

Cette valeur est toutefois dépassée dans le cas des populations établies à la gendarmerie d'Akokan, du fait d'une concentration élevée en radon, peut-être imputable à la proximité d'un puits d'aéragage de mine. Ce constat nécessite que COGEMA engage une réflexion approfondie afin de préciser plus finement l'exposition réellement reçue par les populations concernées. Pour cela, des mesures complémentaires seraient nécessaires afin d'interpréter les niveaux d'exposition au radon, et de réduire les incertitudes associées à l'exposition par ingestion d'eau (compléter les analyses par des mesures du Po-210 et du

Pb-210) et de certains aliments (zogalas notamment). En fonction des résultats issus de cette évaluation détaillée, il pourrait être nécessaire de mettre en œuvre des mesures destinées à réduire les expositions ;

- la dissémination et la réutilisation dans le domaine public de matériaux contaminés ont été confirmées par les mesures de terrains menées, en mai 2004, par l'IRSN. Une première évaluation, effectuée à partir des données recueillies et d'hypothèses conservatives, suggère que, dans le cas des ferrailles, l'impact pourrait être parfois significatif (de l'ordre de 1 mSv.an^{-1} pour l'exposition d'un ferrailleur) même s'il ne requiert a priori pas la mise en œuvre de mesures d'urgence. Il justifie probablement que les dispositions de gestion déjà mises en œuvre sur les deux sites miniers soient complétées par des actions de récupération des matériaux contaminés tels que les ferrailles ou les stériles.

8 REFERENCES

- [1] ALGADE- COGEMA-BU Mines - Surveillance radiologique de l'environnement des installations de COMINAK et SOMAIR (Arlit, Niger)- Synthèse des contrôles dans l'air, les sols et la chaîne alimentaire de 1993 à 2003.
- [2] COMINAK - Système de Management environnemental - Rapport Analyse environnementale - février 2001.
- [3] SOMAIR - Système de Management environnemental - Rapport Analyse environnementale.
- [4] Compagnie Minière d'Akouta- radioprotection - Surveillance Radiologique de l'environnement- Bilan de l'année 2002 Société des Mines de l'Aïr- SFP/ Radioprotection - surveillance radiologique de l'environnement- Rapport annuel 2002.
- [5] Compagnie Minière d'Akouta - radioprotection - Surveillance Radiologique de l'environnement- Bilan de l'année 2002 Société des Mines de l'Aïr- SFP/ Radioprotection - surveillance radiologique de l'environnement- Rapport annuel 2003.
- [6] SOMAIR Société des Mines de l'Aïr- SFP/ Radioprotection - surveillance radiologique de l'environnement Rapport annuel 2002.
- [7] SOMAIR Société des Mines de l'Aïr- SFP/ Radioprotection - surveillance radiologique de l'environnement Rapport annuel 2003.
- [8] Méthode d'évaluation de l'impact des sites de stockage de résidus de traitement de minerais d'uranium, A.C. SERVANT, B. CESSAC, Rapport IPSN/DPRE - SERGD 01-53, novembre 2001.
- [9] Arrêté ministériel du 1er septembre 2003 définissant les modalités de calcul des doses efficaces et des doses équivalentes résultant de l'exposition des personnes aux rayonnements ionisants, JO n°262 du 13 novembre 2003.
- [10] Annals of the ICRP- ICRP Publication 66- Human Respiratory tract model for radiological protection, 1993.
- [11] Groove Engineering, 1996. « Microshield - Version 5.01 - User's manual » - Groove Engineering, Inc. Rockville, Maryland - USA.

ANNEXES



*Business Unit Mines
DT/Environnement des Sites*

Type des	Projet/Objectif	Site	Chrono
CE	/ U-FG3200	/ V /	04.0014

B.U.Mines/DT/Environnement des Sites

Page 1/1

Monsieur CHAMPION
Directeur de l'Environnement et de l'Intervention
IRSN
BP 17
93262 Fontenay aux Roses Cedex

Vélizy, le 02/03/2004

Monsieur le Directeur,

COGEMA exploite via ses filiales SOMAIR et COMINAK des mines d'uranium au Nord du Niger dans la région d'Arlit. Nous souhaiterions avoir une appréciation d'un expert de votre organisme sur l'impact radiologique environnemental de nos sites miniers et industriels ainsi que sur notre réseau de surveillance et vous prions de trouver ci-joint un descriptif de la prestation demandée.

Nous vous remercions de nous préciser si ce projet vous intéresse et de nous faire parvenir une proposition.

Restant à votre disposition pour tous renseignements complémentaires, veuillez agréer, Monsieur le Directeur, l'expression de nos sentiments distingués.

Ph. CROCHON

Objectif : Disposer rapidement d'une appréciation par un expert indépendant sur l'impact radiologique environnemental, sur le réseau de surveillance des sites miniers d'uranium de la région d'Arlit (Niger) et sur les conclusions qui en sont tirées.

I – Présentation des sites

COGEMA exploite via ses filiales COMINAK et SOMAIR des mines d'uranium au Nord du Niger dans la région d'Arlit à 250 km au Nord d'Agadez et 850 km au Nord Est de Niamey. Cette région est située aux confins Sud du Sahara.

Les zones uranifères se situent dans la plaine de piedmont à 50 km à l'Ouest du massif cristallin de l'Air à une altitude moyenne de 420m dans des formations fluviodeltaïques gréseuses et argileuses du Carbonifère.

Le paysage est rocheux, sablonneux et uniformément plat. Le climat est désertique, sec et chaud caractérisé par de fortes températures moyennes annuelles et des précipitations faibles (49 mm/an).

La société SOMAIR exploite des gisements depuis 1968 par mines à ciel ouvert, traite les minerais sur place et produit un concentré d'uranium sous forme d'uranate de soude (environ 1000 tonnes d'uranium par an avec un cumul d'environ 40000 tonnes).

La société COMINAK exploite des gisements depuis 1978 à 10km au Sud Ouest d'Arlit par mine souterraine, traite les minerais sur place et produit un concentré d'uranium sous forme d'uranate de magnésic (environ 2000 tonnes d'uranium par an avec un cumul d'environ 50000 tonnes).

II – Mesures de surveillance en vigueur

Les vecteurs d'impacts des activités minières sur l'environnement sont bien connus. Ils présentent des spécificités en zone désertique.

Les sociétés minières ont mis en place un réseau de surveillance des vecteurs air, eau, sols, chaîne alimentaire.

a) Vecteur air

Pour chaque société : 4 stations disposées sur et autour du site et en zone urbaine avec mesure en continu de l'exposition externe due au rayonnement gamma, de l'énergie alphapotentielle (EAP) due aux descendants à vie courte du radon 222 et 220 et des poussières.

b) Vecteur eau

Prélèvements et analyses d'échantillons d'eau provenant de la nappe du Tarat, aquifère fournissant les ressources en eau nécessaires aux activités industrielles et à l'alimentation en eau potable des villes.

c) Sols

Contrôle annuel de l'activité massique d'échantillons de sols prélevés le long de 3 radiales distantes de 4 km traversant et encadrant les sites, placées dans la direction des vents dominants.

d) Chaîne alimentaire

Contrôle annuel de légumes et fruits prélevés dans les jardins des zones urbaines.

Tous ces contrôles permettent à partir de scénarios réalistes d'évaluer la dose efficace ajoutée liée aux activités industrielles sur des groupes de référence vivant dans l'environnement proche des installations.

III – Contenu de la prestation

L'expert devra connaître les activités minières d'uranium et leurs impacts potentiels.

Dans le cadre de cette appréciation, l'expert devra notamment examiner :

- les différents termes sources, leur gestion et leur surveillance,
- les rejets et les concentrations en radionucléides dans le milieu récepteur,
- les résultats historiques obtenus,
- le réseau de surveillance radiologique du site et de son environnement : pertinence, fiabilité,
- les groupes de référence choisis,
- les évaluations 2001/2002/2003 de dose efficace ajoutée.

Il pourra, s'il l'estime nécessaire, procéder à quelques prélèvements et analyses.

Sur cette base, l'expert fournira :

- un avis sur le réseau de surveillance mis en place et le choix des groupes de référence,
- une appréciation chiffrée et détaillée de l'impact radiologique du site sur les groupes de référence. Cette appréciation inclura le signalement des paramètres les plus sensibles et leurs poids respectifs dans l'estimation de l'impact
- une évaluation de l'exposition liée à la dispersion hors sites de ferrailles contaminées,
- des recommandations sur les moyens mis en œuvre et les résultats obtenus.

IV – Lieu et conditions d'exécution de la prestation

Les travaux liés à la préparation du rapport d'appréciation seront réalisés d'abord sur le site et ensuite sur le lieu de travail usuel du prestataire.

COGEMA et ses filiales mettront à disposition de l'expert, autant qu'il le jugera nécessaire, tous documents, moyens, ainsi que le personnel d'accompagnement pour lui permettre d'effectuer sa mission dans les meilleures conditions.

La documentation fournie comprendra entre autres les données géographiques, les résultats de surveillance effectuée par les sociétés minières, les évaluations de dose efficace ajoutée.

V – Durée de réalisation

La durée de la prestation est estimée à environ 1 mois incluant préparation, visite des sites, prise de connaissance et interprétation des résultats et rédaction d'un rapport provisoire. Ce rapport provisoire sera présenté à COGEMA pour commentaires en vue d'une diffusion du rapport définitif dans un délai de quinze jours après la fin de mission ou après réception de résultats d'analyses complémentaires éventuelles.

ANNEXE B : équipes de SOMAIR et COMINAK ayant participé à la mission IRSN

L'IRSN tient à remercier les équipes de la SOMAIR et de la COMINAK qui ont contribué à la collecte des données nécessaires sur le terrain et qui ont fourni les informations indispensables à la compréhension du management environnemental des deux sites miniers :

Les remerciements s'adressent tout particulièrement aux personnels de la SOMAIR :

- M IBRAHIM COURMOU, Directeur de l'exploitation
- M MAHAMANE KADRI (RSME)
- M SOUMAILA ALFA (SFP)
- M ALKASSOUM MOULAYE (SFP, chef du secteur radioprotection)
- M SARRI BOUKARY (SFP, Chef d'équipe de radioprotection)

ainsi qu'à M ALI ARI, chef du service des Mines à Arlit.

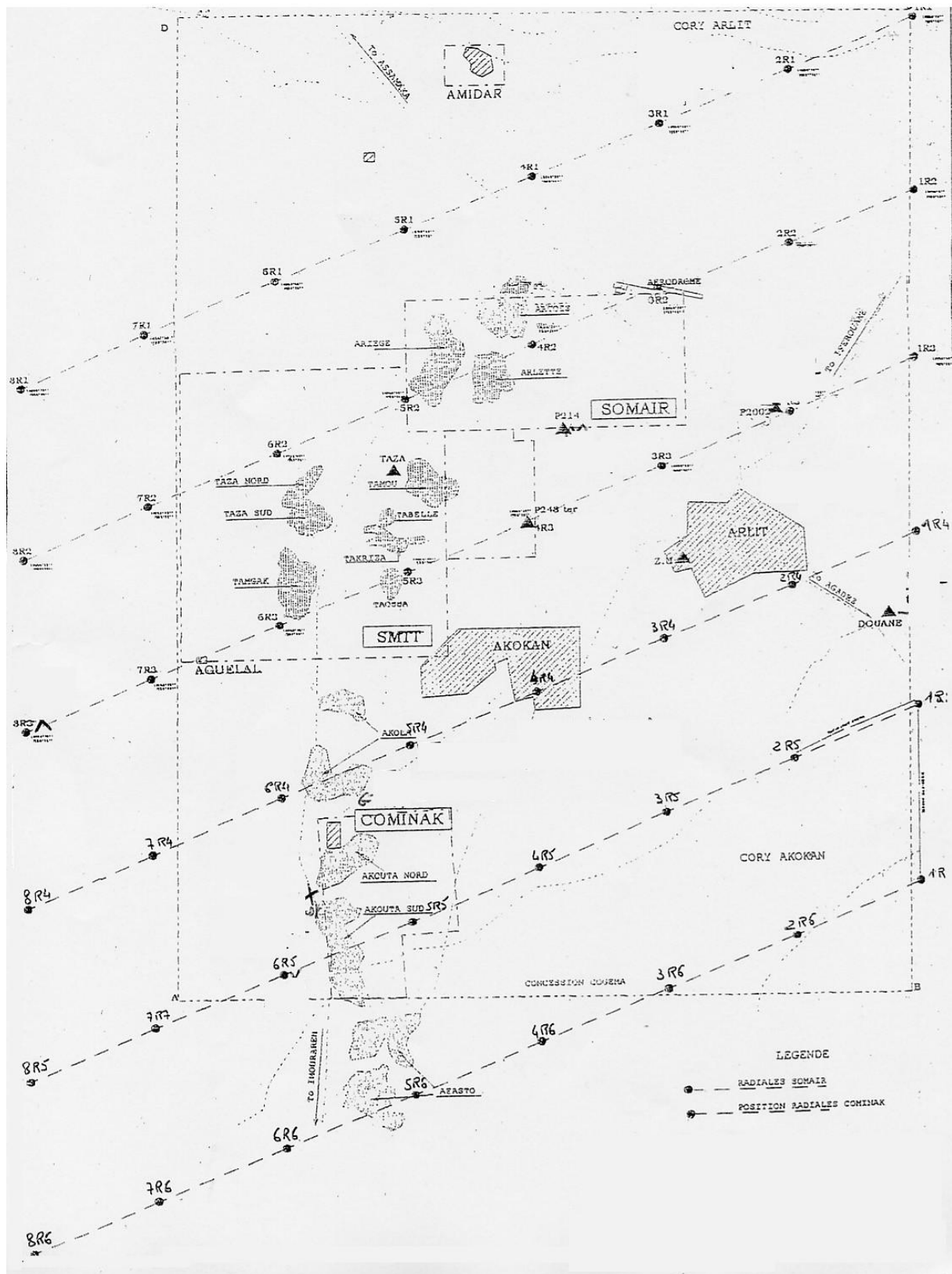


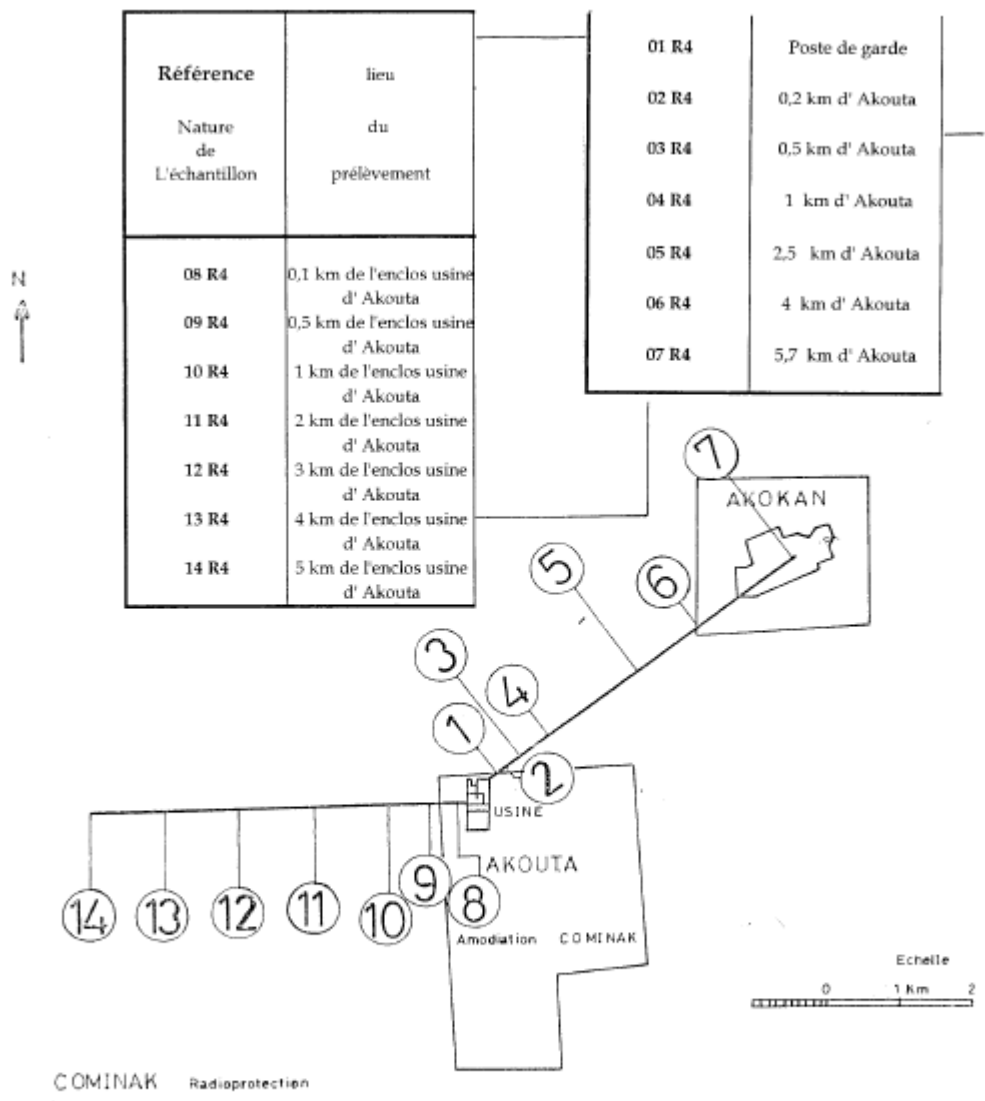
et au personnel de la COMINAK :

- M ABOU DANTCHIAWA (Directeur des exploitations)
- M BADJO HAMIDOU (SFP)
- M HAMIDOU YAHAYA (SFP/RP)
- M IBRAHIM MOUSSA (OHQ/RP)
- Mme ABDOULAYE (CQE/Qualité)
- M ILLIASSOU OUMAROU (CQE/ENV)
- M TOUBA BAYE (CE/ENV)
- M ABOUBACAR SAMBA SANI (MIPO/TOPO)



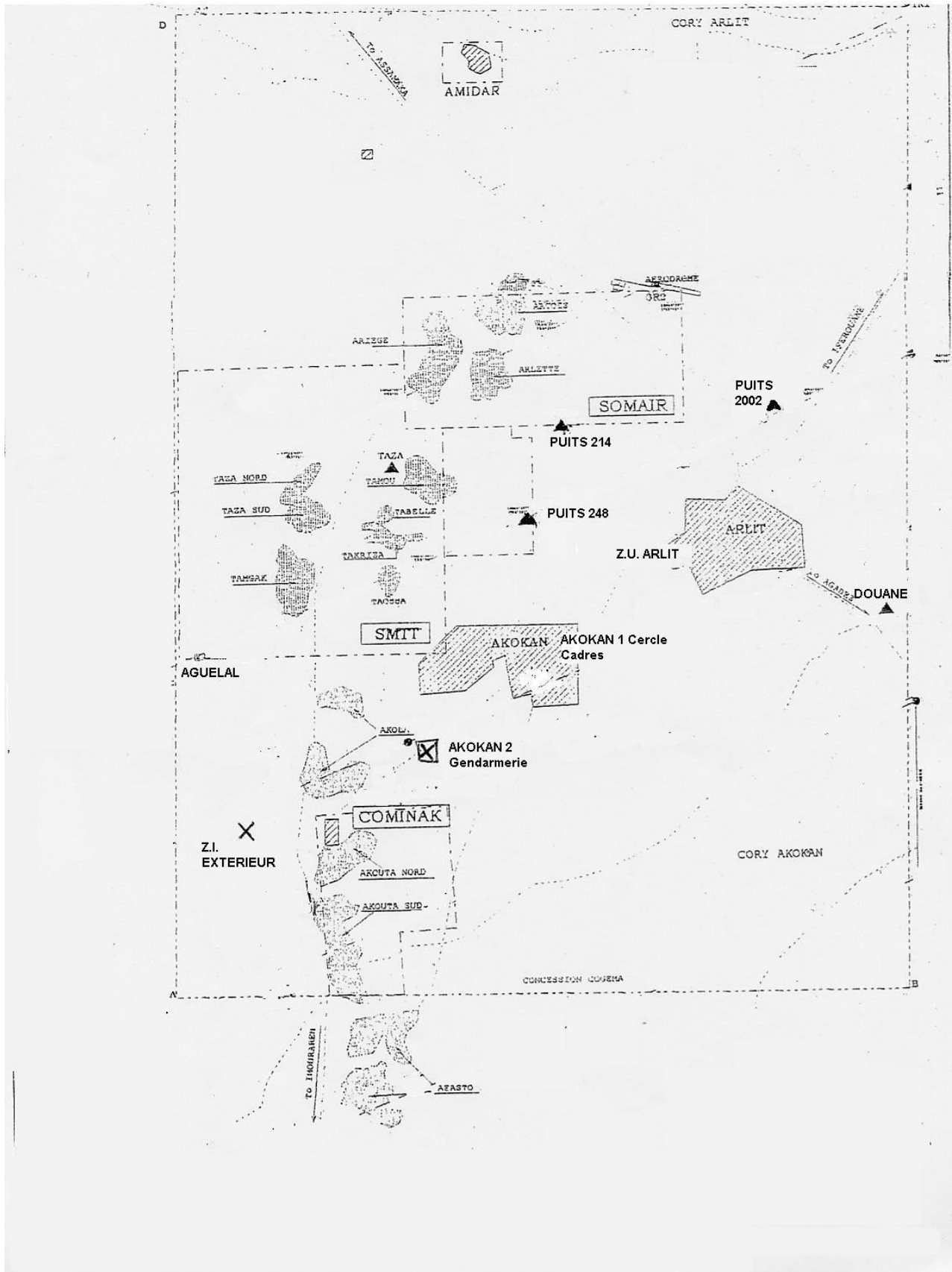
ANNEXE D : prélèvements de sol actuels





LOCALISATION Des PRELEVEMENTS De SOL
1992.2002

ANNEXE F : localisation des zones habitées étudiées



ANNEXE G : coefficients de dose appliqués pour l'inhalation de poussières

Adultes

		Coefficient de dose Inhalation (Sv.Bq ⁻¹) (1)	teneur des résidus en (Bq.g ⁻¹)	(Bq _i .Bq ⁻¹ _{alpha total}) (2)	coefficient de dose Sv.Bq ⁻¹ _{alpha total} (1) x (2)
Famille du Th232	²³² Th	4.50E-05	1.5	1.08E-02	4.87E-07
	²²⁸ Ra	2.60E-06	1.3	9.38E-03	2.44E-08
	²²⁸ Ac	1.70E-08	1.3	9.38E-03	1.59E-10
	²²⁸ Th	3.20E-05	1.5	1.08E-02	3.46E-07
	²²⁴ Ra	3.00E-06	1.5	1.08E-02	3.25E-08
	²¹² Pb	1.70E-07	1.5	1.08E-02	1.84E-09
	²¹² Bi	3.10E-08	1.5	1.08E-02	3.35E-10
Famille de l'U238	²³⁸ U	2.90E-06	1.3	9.38E-03	2.72E-08
	²³⁴ Th	6.60E-09	1.3	9.38E-03	6.19E-11
	²³⁴ U	3.50E-06	1.3	9.38E-03	3.28E-08
	²³⁰ Th	4.30E-05	50	3.61E-01	1.55E-05
	²²⁶ Ra	3.50E-06	40	2.89E-01	1.01E-06
	²¹⁴ Pb	1.40E-08	40	2.89E-01	4.04E-09
	²¹⁴ Bi	1.40E-08	40	2.89E-01	4.04E-09
	²¹⁰ Pb	1.10E-06	40	2.89E-01	3.17E-07
	²¹⁰ Bi	9.30E-08	40	2.89E-01	2.68E-08
	²¹⁰ Po	3.30E-06	40	2.89E-01	9.52E-07
Famille de l'U235	²³⁵ U	3.10E-06	0.05746	4.14E-04	1.28E-09
	²³¹ Pa	1.40E-04	0.05746	4.14E-04	5.80E-08
	²²⁷ Ac	2.20E-04	0.05746	4.14E-04	9.12E-08
	²²⁷ Th	8.50E-06	0.05746	4.14E-04	3.52E-09
	²²³ Ra	7.40E-06	0.05746	4.14E-04	3.07E-09
			alpha total		coefficient de dose
			1.4E+02		1.9E-05
			(Bq.g ⁻¹)		Sv.Bq ⁻¹ _{alpha total}

Enfants (2-7 ans)

		Coefficient de dose	teneur des résidus en		coefficient de dose
		Inhalation (Sv.Bq ⁻¹)	(Bq.g ⁻¹)	(Bq _i .Bq ⁻¹ _{alpha total})	Sv.Bq ⁻¹ _{alpha total}
		(1)		(2)	(1) x (2)
Famille du Th232	²³² Th	6.30E-05	1.5	1.08E-02	6.82E-07
	²²⁸ Ra	6.30E-06	1.3	9.38E-03	5.91E-08
	²²⁸ Ac	4.70E-08	1.3	9.38E-03	4.41E-10
	²²⁸ Th	6.80E-05	1.5	1.08E-02	7.36E-07
	²²⁴ Ra	5.30E-06	1.5	1.08E-02	5.73E-08
	²¹² Pb	3.00E-07	1.5	1.08E-02	3.25E-09
	²¹² Bi	6.00E-08	1.5	1.08E-02	6.49E-10
Famille de l'U238	²³⁸ U	5.90E-06	1.3	9.38E-03	5.53E-08
	²³⁴ Th	1.50E-08	1.3	9.38E-03	1.41E-10
	²³⁴ U	7.00E-06	1.3	9.38E-03	6.56E-08
	²³⁰ Th	5.50E-05	50	3.61E-01	1.98E-05
	²²⁶ Ra	7.00E-06	40	2.89E-01	2.02E-06
	²¹⁴ Pb	2.60E-08	40	2.89E-01	7.50E-09
	²¹⁴ Bi	3.10E-08	40	2.89E-01	8.94E-09
	²¹⁰ Pb	2.20E-06	40	2.89E-01	6.35E-07
	²¹⁰ Bi	1.90E-07	40	2.89E-01	5.48E-08
	²¹⁰ Po	6.70E-06	40	2.89E-01	1.93E-06
Famille de l'U235	²³⁵ U	6.30E-06	0.05746	4.14E-04	2.61E-09
	²³¹ Pa	1.90E-04	0.05746	4.14E-04	7.88E-08
	²²⁷ Ac	3.90E-04	0.05746	4.14E-04	1.62E-07
	²²⁷ Th	1.60E-05	0.05746	4.14E-04	6.63E-09
	²²³ Ra	1.30E-05	0.05746	4.14E-04	5.39E-09
			alpha total		coefficient de dose
			1.4E+02		2.6E-05
			(Bq.g ⁻¹)		Sv.Bq ⁻¹ _{alpha total}