



**Eidgenössische Kommission für Strahlenschutz
und Überwachung der Radioaktivität
(KSR)**

**Commission fédérale de la protection contre les
radiations et de surveillance de la radioactivité
(CPR)**

**Portiques de détection de radiations
à l'entrée des centrales d'incinération**

Berne, 15 décembre 2011

Avalisé par le plénum de la CPR du 18 mars 2011

Adresse de commande:

Commission fédérale de protection contre les radiations et de surveillance de la radioactivité
Office fédéral de la santé publique
3003 Berne

Distribution:

Membres de la CPR
Experts de la CPR
OFSP
OFEV
SUVA
COPABC
CSA
CENAL
PSI
IRA
DETEC
Allemagne (SSK, FS)
France (SFRP, ASN)

Ce rapport peut être téléchargé à l'adresse: www.ksr-cpr.ch

Portiques de détection de radiations à l'entrée des centrales d'incinération

Sommaire

1. Introduction

2. Risques liés à l'incinération d'une source radioactive

- Définition du risque
- Impacts considérés
- Probabilité d'occurrence et scénarios considérés
- Estimation des impacts
- Estimation des risques

3. Conclusions

Annexe 1: Calcul de la dose effective délivrée à une population vivant à proximité d'une centrale d'incinération

Annexe 2: Inventaire des sources radioactives pouvant potentiellement se retrouver à l'entrée d'une centrale d'incinération

Annexe 3: Liste des centrales d'incinération

Groupe de travail: François Bochud (CPR, lead), Michel Hammans (SUVA), André Herrmann (CPR), Reto Linder (OFSP)

Remerciements: Michael Hügi (OFEV)

1 Introduction

Même si la législation concernant l'utilisation et le transport de sources radioactives établit des règles qui devraient les maintenir en tout temps sous contrôle, il arrive de les retrouver dans le circuit des déchets. En Suisse, une grande partie des déchets est traitée par des centrales d'incinération qui ont la possibilité de détecter les sources dès leur entrée sur site à l'aide d'un portique de détection. Cette opération est simple et rapide, et se déroule durant le pesage. Elle ne permet toutefois de détecter que les sources qui émettent des rayonnements gamma d'énergie suffisante ou du rayonnement de freinage issu de particules bêta de haute énergie.

La situation en Suisse et dans les pays voisins peut être résumée comme suit:

- En Suisse, selon l'ordonnance sur la radioprotection les centrales d'incinération n'ont pas l'obligation de contrôler l'activité des déchets à leur entrée à l'aide de portiques, mais l'Office fédéral de l'environnement (OFEV/BAFU) et l'Office fédéral de la santé publique (OFSP/BAG) envisagent de réviser leur stratégie. Selon l'ordonnance sur le traitement des déchets (OTD) les propriétaires d'une installation d'incinération ou de décharges doivent vérifier si les déchets qu'ils acceptent sont admissibles. Il est explicitement interdit de stocker définitivement en décharge contrôlée des déchets qui doivent être traités conformément à la législation relative à la protection contre les radiations (Art 32.2.e OTD).
- En France, le *Code de l'environnement* spécifie que les centrales d'incinération et les décharges doivent s'assurer qu'il n'y a pas de radioactivité dans les produits qu'elles traitent.
- En Belgique, un arrêté royal sur le point d'être signé obligera les usines d'incinération et les décharges à contrôler la radioactivité de leurs matériaux (ainsi que les ferrailleurs).
- Aux Pays-Bas, il n'y a pas d'obligation de contrôle des déchets, uniquement les ferrailleurs sont tenus de mesurer la radioactivité des matériaux qu'ils reçoivent.
- En Allemagne, il n'existe pas d'obligation légale, mais les exploitants d'incinérateurs ont librement décidé de procéder à des mesures de radioactivité (ainsi que les grands ferrailleurs).

Sur les 29 centrales d'incinération répertoriées par l'OFEV au 08.12.2010 et listées dans l'annexe 3, 11 possèdent un portique de détection. En 2009, cela correspondait à 44% des déchets traités en Suisse. Pour ces centrales, l'OFSP a édicté une directive¹ décrivant la procédure de mesure et la conduite à adopter pour celles qui désireraient le faire.

Les buts de ce rapport sont les suivants :

1. Définir les risques liés à l'incinération d'une source.
2. Établir des recommandations concernant la présence de portiques de détection des radiations à l'entrée des stations d'incinération.

¹ Directive OFSP L-10-01 "Marche à suivre en cas de livraison de substances radioactives dans une usine d'incinération", 13.03.2009, <http://www.bag.admin.ch/themen/strahlung/02883/02885/02890/index.html?lang=fr>

2 Risques liés à l'incinération d'une source radioactive

Définition du risque

Le risque (R) est le produit de l'impact (I) par la probabilité d'occurrence (P) :

$$R = I \cdot P$$

Dans le cas qui nous intéresse, l'impact est la dose effective que pourrait recevoir une personne non-professionnellement exposée aux radiations. La probabilité d'occurrence est le nombre d'événements potentiels par année. Nous nous sommes inspirés de l'Art. 94 ORaP qui définit les zones de risques acceptables ou non en terme de probabilité d'occurrence (par année) et de dose effective (en mSv). Contrairement à l'Art. 94 ORaP qui se rapporte à une entreprise, nous avons considéré l'ensemble du territoire suisse. La matrice caractérisant la relation probabilité versus impact peut se représenter par la Figure 1. Les différentes couleurs ont les significations suivantes :

- Zone verte : acceptable.
- Zone jaune² : intermédiaire.
- Zone rouge : inacceptable.

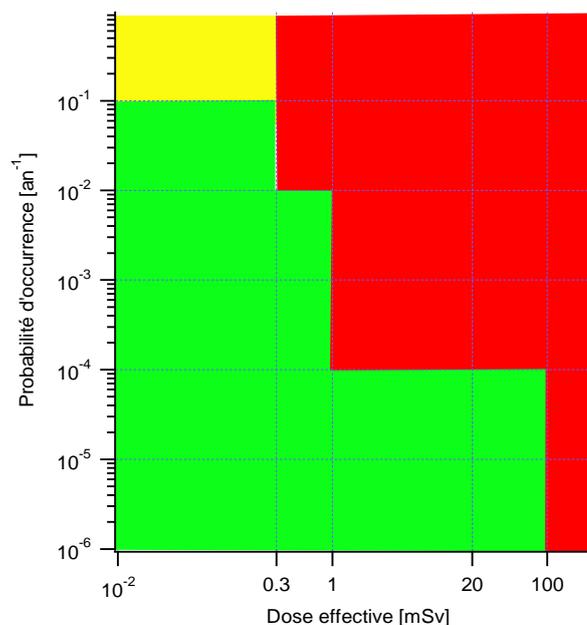


Figure 1 : Matrice de risque radiologique présentant la probabilité d'occurrence en fonction de l'impact (dose effective). La zone rouge est inacceptable selon l'Art. 94 ORaP.

Impact considéré

La Figure 2 présente le schéma général du parcours d'une source radioactive dans une centrale d'incinération. Nous n'avons considéré que les impacts radiologiques une fois que la source a pénétré dans la centrale. Pour les résidus solides de l'incinération (indiqués par (1) et (2) dans la Figure 2), nous avons considéré qu'il était possible qu'une personne soit soumise à une **irradiation externe** pendant 1 heure à une distance de 1 m. Pour les déchets radioactifs volatiles pouvant passer au travers des filtres, nous avons considéré que l'ensemble de l'activité considérée pouvait être transférée dans les fumées de l'usine et que cela conduisait à une **contamination interne** de la

² Pour être plus rigoureusement en accord avec l'Art. 94 ORaP, la zone jaune présentée dans cette matrice devrait être considérée comme verte. Le groupe de travail pense toutefois qu'une situation pouvant délivrer des doses effectives entre 10 µSv et 0,3 mSv plus d'une fois chaque 10 ans mérite d'être analysée spécifiquement.

population environnante. La diffusion des substances radioactive dans l'air a été estimée à partir de la directive G14 de l'IFSN³ grâce à l'aide du PSI (voir annexe 1). Pour les nucléides (essentiellement médicaux) qui ne figuraient pas dans la directive G14, nous avons considéré un modèle simple, développé par la SUVA⁴ (voir annexe 1). Pour fixer les ordres de grandeurs et être conservatif, une hauteur de cheminée de 50 m a été retenue.

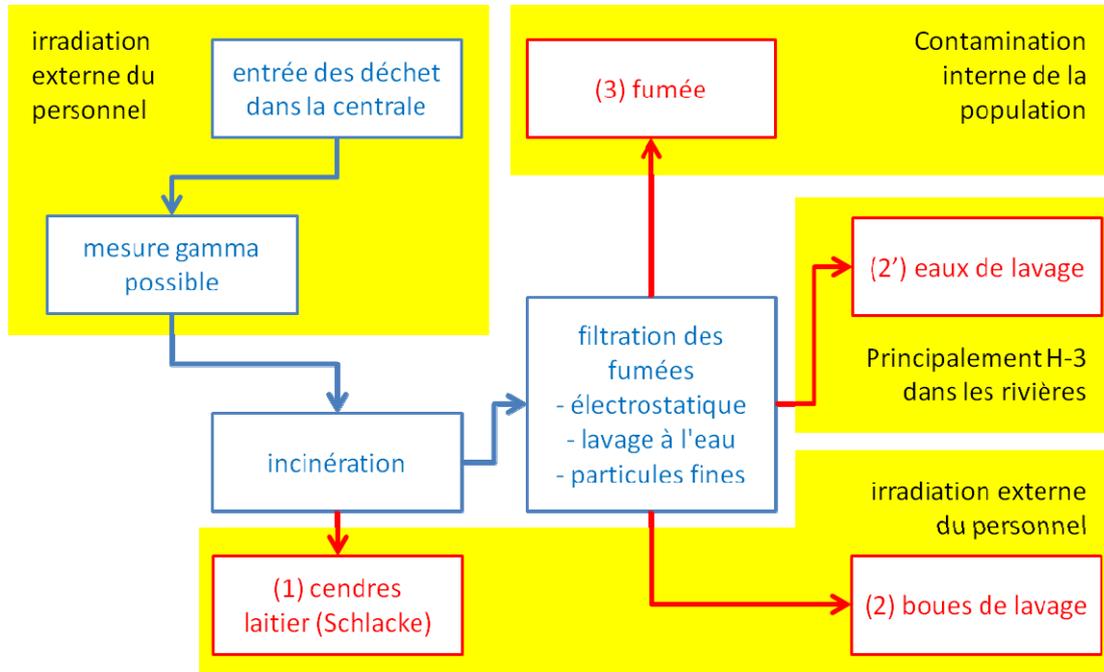


Figure 2 : Schéma général du parcours d'une source radioactive dans une centrale d'incinération.

La Figure 3 présente de manière synthétique l'impact pris en considération suite à l'incinération d'une source radioactive. La dose effective engagée E_{50} à la population environnante est calculée en fonction de l'activité sortant de la cheminée. L'équivalent de dose ambiant $H^*(10)$ auquel est exposé le personnel (non professionnellement exposé aux radiations) est calculé à partir d'une irradiation externe par les cendres et les boues en fonction de l'activité résiduelle en appliquant le modèle de l'ORaP (coefficient de la colonne 6 de l'annexe 3 ORaP).

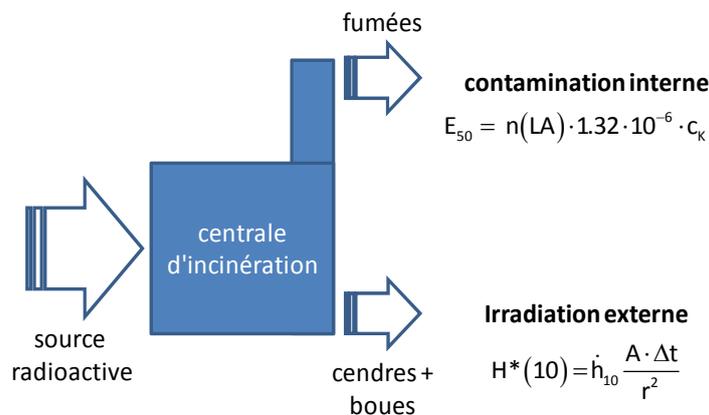


Figure 3 : Impact considéré suite à l'incinération d'une source radioactive.

³ Calcul de l'exposition aux radiations ionisantes dans l'environnement due à l'émission de substances radioactives par les installations nucléaires, Directive IFSN G14. Édition février 2008, révision 1 du 21 décembre 2009.

⁴ Rapport de la SUVA, Emission an die Abluft (SUVA) 18.10.2002

Probabilité d'occurrence et scénarios considérés

L'estimation du risque ne peut se faire qu'en définissant des scénarios associés à des nucléides et des probabilités d'occurrences. Cette opération a forcément une composante subjective que le groupe de travail a tenté d'estimer en considérant les sources d'informations suivantes :

- Evénements INES annoncés par l'Agence internationale de l'énergie atomique (AIEA).
- Statistiques suisses des fonderies et des entreprises de récupération de métal disposant de portiques de détection.
- Statistiques des collectes de déchets radioactifs par l'OFSP.
- Liste des sources de haute activité recensées par l'OFSP.
- Activité maximale présente dans un centre de médecine nucléaire.

Les détails de ces données sont présentés dans l'Annexe 2. Le groupe de travail a décidé de ne pas prendre en compte les sources de l'industrie nucléaire en jugeant que le risque lié à ces sources ne concernait pas les centrales d'incinération de déchets.

Nous avons distingué trois situations d'intérêt : **(1)** les événements réguliers déjà observés dans les centrales d'incinération; **(2)** les événements potentiels mettant en jeu les sources de haute activité répertoriées en Suisse et **(3)** les événements potentiels mettant en jeu des activités importantes dans les grands services de médecine nucléaire suisses. Bien que cela ait déjà été observé, nous n'avons pas considéré les sources radioactives pouvant provenir de l'étranger. En effet, la variabilité interne à la Suisse est suffisamment grande pour que les événements étrangers soient inclus dans l'incertitude globale des événements nationaux.

Les probabilités d'occurrence et les activités typiques impliquées dans les trois situations d'intérêt sont estimées ci-dessous.

1. Les événements observés ces dix dernières années dans les centrales d'incinération suisses permettent de faire une estimation de la probabilité d'occurrence des **événements réguliers**. Comme ces événements n'ont pu être mis en évidence que dans les centrales disposant de portiques de détection, nous avons supposé que la situation était semblable dans toutes les centrales; ce qui est probablement conservatif étant donné que celles qui ont un portique ont tendance à être les plus grandes. La probabilité d'occurrence des événements a été estimée pour l'ensemble des centrales en multipliant par 29/3 les taux observés sur 3 centrales. Cela conduit donc aux probabilités d'occurrence suivantes pour toute la Suisse et pour les événements réguliers :

Nucléide	Activité typique [MBq]	Fréquence d'observation sur 3 centrales	Probabilité d'occurrence sur l'ensemble des centrales d'incinération suisses ⁵
I-131	10	2/a	20/a
Ra-226	200	1/5a	2/a
Th-nat	2	1/10a	1/a

2. Les événements INES montrent que des matériaux radioactifs très divers sont en circulation. De plus, les vols et les pertes de sources peuvent arriver, même dans des pays bien réglementés et même pour des sources de haute activité comme celles utilisées en

⁵ Probabilité sur 3 centrales divisée par 3 multipliée par le nombre de centrale en Suisse.

gammagraphie ou en brachythérapie. A priori, il n'y a pas de raison d'exclure que de telles sources aboutissent un jour dans une centrale d'incinération. Ces **événements** sont considérés comme étant **potentiels** et on ne peut pas évaluer leur probabilité d'occurrence sur la base de fréquences observées. Le groupe de travail propose de fixer la probabilité qu'une **source de haute activité répertoriée par l'OFSP** ne soit plus sous contrôle et se retrouve dans une centrale d'incinération à 1/10'000 ans⁶. Parmi les sources de hautes activités recensées en Suisse, la majorité (90%) concerne Am-241, Co-60, Cs-137 et Ir-192. Les probabilités d'occurrence ont été calculées en multipliant le nombre de sources par la probabilité de 1/10'000 ans. Les probabilités d'occurrence suivantes ont donc été calculées pour toute la Suisse et pour les événements potentiels liés aux sources de haute activité :

Nucléide	Activité typique ⁷ [MBq]	Nombre de sources en Suisse ⁸	Probabilité d'occurrence sur l'ensemble des centrales d'incinération suisses ⁹
Co-60	9'000	270	1/27 ans
Cs-137	70'000	149	1/67 ans
Ir-192	100'000	110	1/91 ans
Am-241	5	291	1/34 ans

3. En plus des sources de haute activité répertoriées par l'OFSP, on considère également la situation potentielle où l'ensemble de l'activité d'un radionucléide donné d'un **grand service de médecine nucléaire** suisse aboutirait dans une centrale d'incinération. Ici aussi, on considère qu'un nucléide donné aboutisse par erreur ou par malveillance dans une centrale d'incinération a une probabilité de 1/10'000 ans. Sachant qu'il y a 9 grands services de médecine nucléaire en Suisse¹⁰, cela correspond à une probabilité de 1/1'111 ans. . Cela conduit aux probabilités d'occurrence suivantes pour toute la Suisse et pour les événements potentiels liés aux sources de haute activité des services de médecine nucléaire :

Nucléide	Activité typique [MBq]	Probabilité d'occurrence sur l'ensemble des centrales d'incinération suisses
F-18	10'000	1/1'111 ans pour chaque nucléide
Ga-68	1'400	
Tc-99m	100'000	
In-111	370	
I-123	740	
I-125	185	
I-131	7'400	
Sm-153	4'000	
Re-186	400	

⁶ Pour fixer les idées, 10'000 ans peut être comparé au temps qui nous sépare de la construction des pyramides de Gizeh : 4'500 ans

⁷ On a considéré 100'000 LA

⁸ On a considéré l'inventaire de l'OFSP du 22.02.2010 qui comportait 920 sources de haute activité.

⁹ 1/10'000 ans pour chaque source, multiplié par le nombre de sources en Suisse.

¹⁰ Genève (1), Lausanne (1), Berne (1), Aarau (1), Bâle (1), Zurich (3), St-Gall (1)

Estimation des impacts

La proportion de radionucléides susceptibles de transiter par la cheminée dépend des techniques d'épuration des gaz et fumées. La température, le processus de lavage des fumées, la forme chimique sont des facteurs influençant l'émission par voie gazeuse des éléments. Certains radionucléides ne seront quasiment jamais émis avec les fumées (sauf accident technique grossier) comme par exemple Am, Th, Re, Tc, Ir, Co, Sm. D'autres seront très probablement émis en totalité ou en partie avec les fumées, comme par exemple C, I, Cs, In, Te, Ga. Le tritium se trouve à 99% sous forme d'eau tritiée. Nous avons donc calculé les impacts pour les deux situations extrêmes : l'incorporation lorsque les nucléides volatiles passent dans les fumées et l'irradiation externe à 1 m durant une heure en supposant que les non-volatiles restent totalement dans les cendres.

1. Evénements réguliers

Nucléide	Période	Activité [MBq]	E ₅₀ [mSv]	
			100% fumée	H*(10) [mSv] 100% cendre
I-131	8.04 d	10	0.0009	-
Ra-226	1600 a	200	-	0.0002
Th-nat	1.4E10 a	2	-	0.00071

2. Evénements potentiels avec les sources de haute activité

Nucléide	Période	Activité [MBq]	E ₅₀ [mSv]	
			100% fumée	H*(10) [mSv] 100% cendre
Am-241	432.2 a	5	-	0.000095
Co-60	5.271 a	9'000	-	3.294
Cs-137	30.0 a	70'000	10.6	6.4
Ir-192	74.02 d	100'000	-	13.1

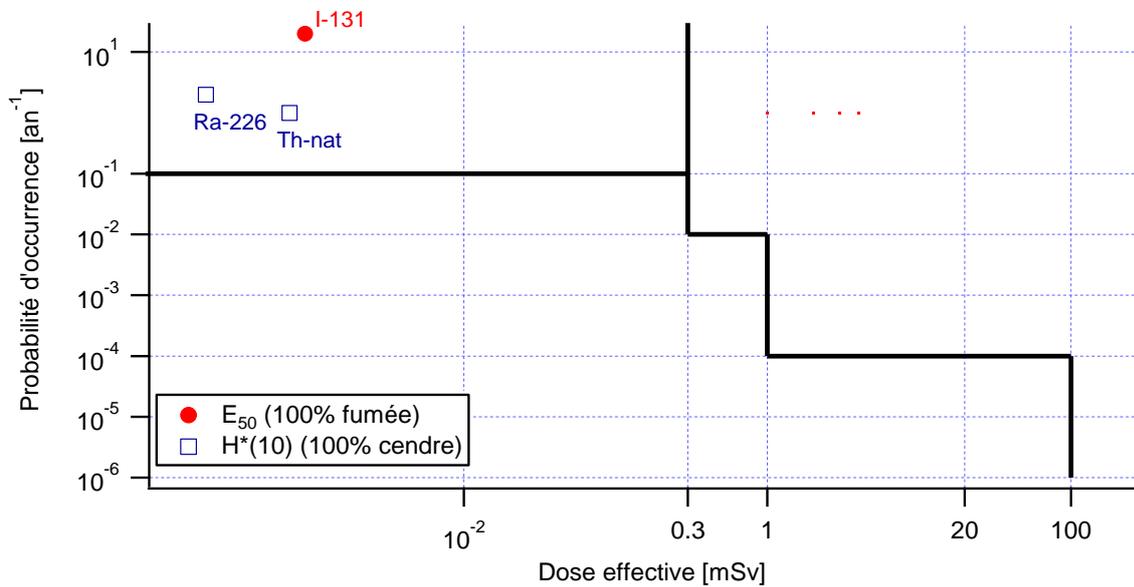
3. Evénements potentiels avec les sources des grands services de médecine nucléaire

Nucléide	Période	Activité [MBq]	E ₅₀ [mSv]	
			100% fumée	H*(10) [mSv] 100% cendre
F-18	109.77 m	10'000	~0	-
Ga-68	68.0 m	1'400	0.0019	0.21
Tc-99m	6.02 h	100'000	-	2.2
In-111	2.83 d	370	0.0015	0.030
I-123	13.2 h	740	~0	-
I-125	60.14 d	185	0.012	-
I-131	8.04 d	7'400	0.51	-
Sm-153	46.7 h	4'000	0.048	0.064
Re-186	90.64 h	400	-	0.0016

Estimation des risques

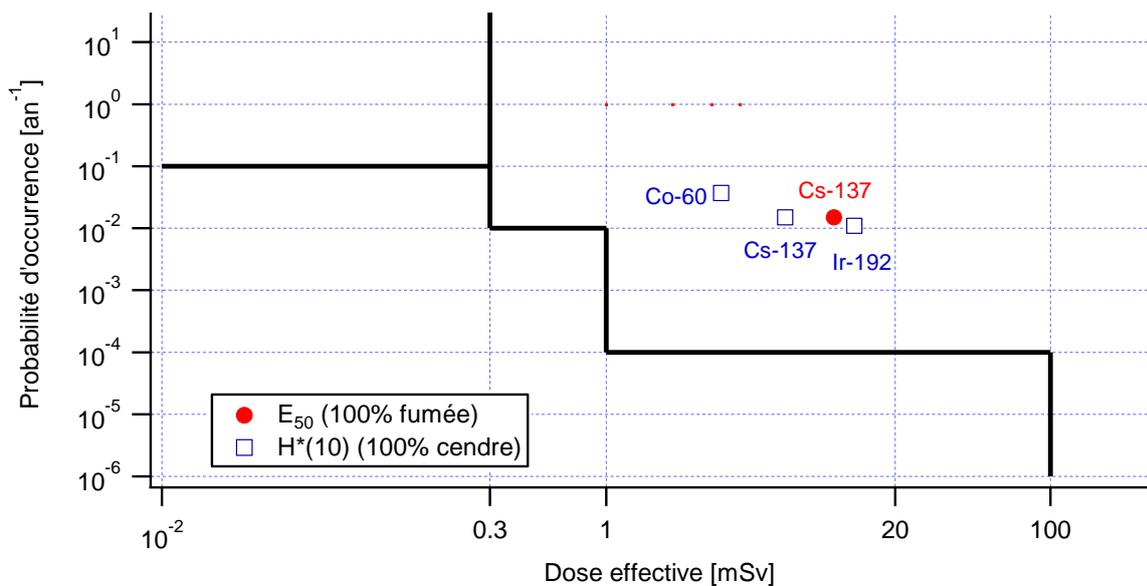
Les valeurs des probabilités d'occurrence et de l'impact ont été représentées sur la matrice du risque présentée à la Figure 1 pour les trois situations d'intérêt.

1. Evénements réguliers



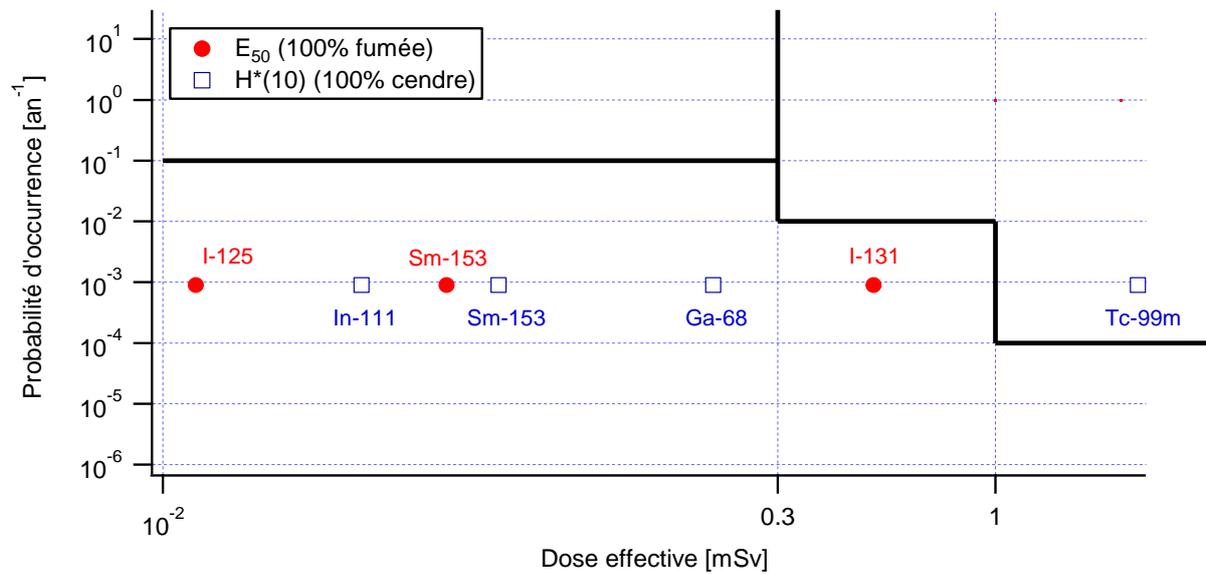
- On constate que lorsque l'I-131 passe dans les fumées ou lorsque le Ra-226 ou le Th-nat est dans les cendres, le risque encouru est dans la zone intermédiaire.

2. Evénements potentiels avec les sources de haute activité



- Hormis l'américium dans les cendres (non représenté sur ce graphique, car la dose effective est inférieure à 0.01 mSv), toutes les valeurs sont dans la zone de risque inacceptable.

3. Evénements potentiels avec les sources des grands services de médecine nucléaire



- Toutes les valeurs sont dans la zone acceptable sauf le Tc-99m dans les cendres.

4. Synthèse des risques

- L'incinération de nucléides gamma volatiles (I-131, Cs-137) peut amener à des risques problématiques ou inacceptables pour la population.
- Les nucléides gamma non volatiles peuvent amener à des risques inacceptables pour les travailleurs des installations d'incinération.

3 Conclusions

- Si les prescriptions sont respectées par les détenteurs d'autorisation, il ne devrait pas y avoir de problème à la centrale d'incinération.
 - Les détenteurs de sources radioactives doivent se conformer aux obligations légales et s'assurer que les sources sont éliminées correctement.
 - L'effort principal des autorités dans ce domaine doit être porté sur le suivi des sources chez les détenteurs d'autorisations.
- Les situations potentielles d'irradiation par incinération de déchets radioactifs investiguées dans ce rapport ont montré qu'elles pouvaient conduire à des risques inacceptables.
- Réaliser des mesures à l'entrée des centrales d'incinération est utile pour les raisons suivantes :
 - Cela permet d'éviter des risques inacceptables avec sources émettrices gamma.
 - Cela a des effets indirects sur les mesures de prévention à la source : le fait qu'une infraction puisse être détectée est un facteur incitatif pour les utilisateurs de sources radioactives à respecter les règles.
 - Cela peut contribuer à la confiance de la population envers les installations d'incinération.
- Les limites d'un tel système de détection doivent être clairement communiquées. En particulier, les portiques de détection ne sont capables de détecter des sources émettrices alpha ou bêta que si elles sont accompagnées d'émissions gamma ou de bremsstrahlung de haute énergie.
- Recommandations:
 - Les centrales d'incinération devraient pouvoir détecter à leur entrée la présence de rayonnement gamma dans les déchets.
 - Les centrales d'incinération devraient intégrer la mesure des radiations dans le cadre de leur processus d'assurance de qualité. Cela impliquera en particulier qu'elles devront définir des procédures claires et disposer de personnel formé.
 - Une règle de conduite uniformisée sur le processus de contrôle (seuil de détection, niveau d'alarme etc.) et la marche à suivre en cas de détection de radioactivité doit être établie en collaboration avec les autorités.
 - La directive OFSP L-10-01 devrait être adaptée en conséquence.
 - La création d'un fond pour couvrir les frais découlant de la détection et de l'élimination d'une source radioactive dont le responsable ne peut être déterminé devrait être étudiée (un bon point de départ pourrait être le modèle belge).
 - Le cas échéant, la législation en radioprotection devrait être adaptée en fonction de ce qui précède (en particulier l'obligation ou la recommandation de mesurer et la création d'un fonds).
 - Une extension aux incinérateurs de déchets dangereux, aux cimenteries et autres déchetteries (décharges) devrait être envisagée sur la base des expériences acquises avec les centrales d'incinération.

Annexe 1 : Calcul de la dose effective délivrée à une population vivant à proximité d'une centrale d'incinération

1.A Calculs selon le modèle de la SUVA

Ci-dessous est présenté le rapport de la SUVA du 18.10.2002 intitulé "Emission an die Abluft" et qui a été utilisé dans le présent rapport pour estimer la dose effective engagée E_{50} suite à une émission gazeuse par une cheminée.

Emission an die Abluft

1. Abschätzung der Konzentration in der Luft

$$c = \chi_k \cdot q$$

C = Luftkonzentration am kritischen Ort gemäss Tabelle 1 (Bq/m^3)

χ_k = Kurzzeit Ausbreitungsfaktor, gemäss Tabelle 1 [s/m^3]

Q = Quellterm, abgegebene Aktivität pro Zeiteinheit [Bq/s]

2. Dosisabschätzung

Effektive Folgedosis E_{50} durch Inhalation von radioaktiven Stoffen am kritischen Ort. Es spielt keine Rolle in welchem Zeitintervall der radioaktive Stoff an die Abluft abgegeben wird, vorausgesetzt die Person hält sich dauernd am kritischen Ort auf und der Kurzzeitenausbreitungsfaktor (Windrichtung, Windgeschwindigkeit) ändern sich nicht (Ableitung der Formel, siehe Anhang).

$$E_{50} = n(LA) \cdot 1.32 \cdot 10^6 \cdot \chi_k$$

E_{50} = effektive Folgedosis nach Inhalation [Sv]

$n(LA)$ = Anzahl Bewilligungsgrenzen, die an die Abluft abgegeben werden

χ_k = max. Kurzzeitenausbreitungsfaktor [s/m^3]

Abgabehöhe	χ_k	kritischer Ort	Wetterkategorien
100 m	$1.4 \cdot 10^{-5} s/m^3$	500 m	schwach labil
50 m	$6.3 \cdot 10^{-5} s/m^3$	200 m	schwach labil
35 m	$1.1 \cdot 10^{-4} s/m^3$	200 m	neutral
30 m	$1.5 \cdot 10^{-4} s/m^3$	200 m	neutral
25 m	$2.2 \cdot 10^{-4} s/m^3$	100 m	schwach labil
20 m	$3.4 \cdot 10^{-4} s/m^3$	100 m	schwach labil
15 m	$5.3 \cdot 10^{-4} s/m^3$	100 m	neutral

Tabelle 1: Für die verschiedenen Wetterkategorien und Abgabehöhen wird der ungünstigste Kurzzeitenausbreitungsfaktor χ_k für eine

Windgeschwindigkeit von 1 m/s angegeben. Für höhere Windgeschwindigkeiten ist χ_k durch die Windgeschwindigkeit zu dividieren.

Bemerkungen: Die effektive Folgedosis wird überschätzt wenn Langzeitabgaben berechnet werden sollen, da der Kurzzeitenausbreitungsfaktor nur eine Windrichtung mit einer mittleren Windgeschwindigkeit von nur 1 m/s berücksichtigt.

3. Effektive Folgedosis E_{50} nach Abgabe von 1 GBq an die Abluft

Es wird die effektive Folgedosis nach Inhalation berechnet (Ausnahme C-14 Ingestion). Für die „Inhalationsdosis“ spielt es keine Rolle in welchem Zeitintervall der radioaktive Stoff an die Abluft abgegeben wird, wenn sich die Person dauernd am kritischen Ort (Tab. 1) aufhält (Ausnahme: C-14 Ingestion).

Nuklid	n(LA)/GBq	Abgabehöhe			
		15 m	25 m	50 m	100 m
HTO	3.3	2 nSv	1 nSv	300 pSv	60 pSv
C-14 (markiert)	111	80 nSv	30 nSv	9 nSv	2 nSv
$^{14}\text{CO}_2$	1.25	1 nSv	400 pSv	100 pSv	20 pSv
I-125	1'430	1 μSv	400 nSv	120 nSv	30 pSv
Am-241	$5.0 \cdot 10^6$	3.5 mSv	1.5 mSv	400 μSv	90 μSv
Ra-226	$5.0 \cdot 10^5$	350 μSv	150 μSv	40 μSv	9 μSv
Sr-90	$1.7 \cdot 10^4$	12 μSv	5 μSv	1 μSv	300 nSv
C-14 Ing. *)		540 nSv/a	220 nSv/a	70 nSv/a	10 nSv/a

*) Es wird angenommen, dass eine erwachsene Person während einem Jahr täglich 600 g Gemüse und Obst¹¹ konsumiert (entsprechend 90 g Kohlenhydrate bzw. 32 g resorbierbarer Kohlenstoff), das am kritischen Ort angebaut wurde.

Ableitung

Luftkonzentration

$$C = Q \cdot \chi_K \text{ [Bq/m}^3\text{]} \quad (1)$$

C = Luftkonzentration • [Bq/m³]

Q = Quellterm, abgegebene Aktivität pro Zeiteinheit [Bq/s]

χ_K = Kurzzeit Ausbreitungsfaktor gemäss Tabelle 1 [s/m³]

$$Q = A/T \text{ [Bq/s]} \quad (2)$$

A = abgegebene Aktivität [Bq]

T = Zeitdauer der Abgabe [s]

Dosisabschätzung

$$E_{50} = C \cdot V \cdot e_{\text{inh}} \quad (3)$$

E_{50} = effektive Folgedosis [Sv]

V = eingeatmetes Luftvolumen [m³]

e_{inh} = Dosisfaktor Inhalation [Sv/Bq]

$$V = 2.64 \cdot 10^{-4} \cdot T \text{ [m}^3\text{]} \quad (4)$$

$2.64 \cdot 10^{-4}$ = Atemrate des «Reference Man » [m³/s]

T = Zeitdauer Atmen [s]

¹¹ NAZ Bericht aus dem Jahr 1988 (200g/Tag Gemüse, 100 g/Tag Kartoffeln, 300 g/Tag Obst).

$$A = \frac{n(LA) \cdot 0.005}{e_{inh}} \text{ [Bq]} \quad (5)$$

$n(LA)$ = Anzahl Bewilligungsgrenzen

0.005 = effektive Folgedosis [Sv], wenn 1 LA eingeatmet wird

1 + 2

$$C = \frac{A}{T} \cdot \chi_K \text{ [Bq/m}^3\text{]} \quad (6)$$

3 + 4

$$E_{50} = C \cdot 2.64 \cdot 10^{-4} \cdot T \cdot e_{inh} \text{ [Sv]} \quad (7)$$

5 + 6

$$C = \frac{n(LA) \cdot 0.005 \cdot \cancel{S}_K}{e_{inh} \cdot T} \quad (8)$$

7 + 8

$$E_{50} = \frac{n(LA) \cdot 0.005 \cdot \cancel{S}_K \cdot 2.64 \cdot 10^{-4} \cdot \cancel{T} \cdot \cancel{e_{inh}}}{\cancel{e_{inh}} \cdot \cancel{T}}$$

$E_{50} = n(LA) \cdot 1.32 \cdot 10^{-6} \cdot \chi_K \text{ [Sv]}$

1.B Calculs selon la directive IFSN/ENSI G14

Les calculs ont été réalisés par M. Olaf Gebhardt du PSI.

Ausbreitungsfaktoren für verschiedene effektive Abgabehöhen: 25m, 50m, 100m

Maximum aus 3 Immisionspunkten: 100m, 200m, 500m

Bevölkerungsgruppen: Einjährige und Erwachsene; Topologie. Flaches Gelände

Höhe	25 m	50 m	100 m
Nuklid	MAXD_tot	MAXD_tot	MAXD_tot
	Sv/Bq	Sv/Bq	Sv/Bq
H-3	4.40E-18	1.25E-18	2.79E-19
C-14	2.10E-15	5.98E-16	1.33E-16
F-18	1.64E-17	7.34E-18	2.73E-18
Co-60	1.05E-13	5.06E-14	2.14E-14
Sr-90	3.78E-13	1.75E-13	7.19E-14
Tc-99m	7.40E-18	3.37E-18	1.31E-18
I-123	2.00E-16	6.83E-17	2.06E-17
I-125	2.02E-13	6.89E-14	2.09E-14
I-131	2.54E-13	8.67E-14	2.62E-14
Cs-137	3.29E-13	1.52E-13	6.25E-14
Re-186	1.12E-15	5.08E-16	2.06E-16
Ir-192	5.44E-14	2.54E-14	1.05E-14
Ra-226	6.48E-12	2.97E-12	1.21E-12
Am-241	3.34E-12	1.14E-12	3.42E-13

Annexe 2 : Inventaire des sources radioactives pouvant potentiellement se retrouver à l'entrée d'une centrale d'incinération

Le but de cette annexe est de faire l'inventaire des activités pouvant potentiellement se retrouver dans une centrale d'incinération. Nous avons considéré les situations suivantes :

1. événements annoncé à l'AIEA dans le cadre de l'échelle INES ces 10 dernières années;
2. événements observés ces dernières années dans les centrales d'incinération suisses;
3. événements observés ces dernières années dans les fonderies et chez les ferrailleurs suisses;
4. collectes de déchets de l'OFSP;
5. sources de hautes activités répertoriées par l'OFSP;
6. activités maximales disponibles dans un service de médecine nucléaire;
7. activités maximales potentielles dans les laboratoires suisses.

Dans le présent rapport, uniquement les points 2, 3, 5 et 6 ont été directement utilisés pour l'estimation des risques.

Evénements INES

Tous les événements INES de ces 10 dernières années, entre le 01.01.2000 et le 13.08.2010, ont été examinés. Ceux qui impliquent une source qui aurait pu potentiellement se retrouver dans le circuit des déchets sont rapportés.

Ces événements sont intéressants, car ils permettent d'appréhender une partie des événements réels qui ont abouti à une annonce auprès de l'AIEA. On notera que cela ne correspond qu'à une fraction des événements ayant effectivement lieu. En effet, l'annonce des événements INES se fait sur une base volontaire. Durant la période investiguée, aucun événement suisse n'a été annoncé¹², même si nous avons perdu une source dans un hôpital et que des sources radioactives sont régulièrement détectées chez les récupérateurs de métaux et dans les centrales d'incinération.

Les données de détails, par événement déclaré, sont présentées chronologiquement ci-dessous. Les conclusions principales sont les suivantes :

- Le port de Rotterdam réceptionne une grande partie des produits importés en Europe de l'Ouest. Les exemples rapportés montrent que l'on peut s'attendre à retrouver des sources radioactives dans des **matériaux très divers**, et pas seulement dans les métaux de récupération.
- Les pertes de colis radioactifs (généralement médicaux) **transportés par avion** ne sont annoncées que par la France. Ces sources ne sont en général pas retrouvées. Il n'y a pas de raison de penser que les autres pays fonctionnent différemment. Il faut donc considérer que des sources transportées par avions peuvent également se perdre en Suisse.
- Plusieurs exemples montrent que des sources radioactives peuvent être volées "par erreur", par exemple lorsqu'une source se trouve dans un véhicule. Après un vol, il est possible qu'une **source volée** aboutisse dans le circuit des déchets.
- Les sources de **gammagraphie** se perdent ou se volent essentiellement en Inde. Il y a toutefois eu des cas en Italie, en Grèce, aux USA, au Japon, au Pérou, et en Egypte. On ne peut donc pas d'exclure que cela puisse se passer en Suisse.

¹² On notera tout de même que durant la période d'intérêt, la Suisse a annoncé 5 événements liés au fonctionnement de réacteurs nucléaires et un problème de réglementation lié à un transport entre l'ETHZ et le PSI.

- Les radionucléides les plus impliqués sont le **Cs-137** et l'**Ir-192**. Dans l'ordre décroissant, on observe les fréquences et les activités maximales suivantes :
 - Cs-137 (20) (max 70'000 MBq)
 - Ir-192 (17) (max 3'700'000 MBq)
 - I-125 (4) (max 28 MBq)
 - Co-60 (3) (max 200'000 MBq)
 - I-131 (3) (max 5'150 MBq)
 - Sr-90 (3) (max 4'600 MBq)
 - Am/Be (2) (max 300'000 MBq)
 - Am-241 (2) (max 1'480 MBq)
 - Eu-152 (2) (max 7'200 MBq)
 - Mo-99 (1) (max 52'000 MBq)
 - Pm-147 (1) (max 185'000 MBq)
 - Rh-186 (1) (max 374 MBq)
 - Th-201 (1) (max 30'800 MBq)
 - U (1) (max 1.1 MBq)

Nucléide	Activité [MBq]	Date	Description de l'événement	Pays d'observation	Pays d'origine
Co-60	200000	08/2010	métal contaminé par du Co-60 dans le port de Gène	Italie	Arabie Saoudite
Cs-137	9000	08/2009	contamination dans un garage débit 0.81mSv/h (si d=1m, A=9GBq)	Arménie	
Am/Be	300000	08/2009	source volée à l'université de Birjand en Iran	Iran	
Cs-137	480	06/2009	bois d'origine lithuanienne mesuré à Aoste (Italie). 300 Bq/kg. 1.6 millions de kg.	Italie	Lituanie
Am-241	0.04	12/2008	source confisquée par la douane arménienne	Arménie	
Ir-192	370000	04/2008	vol d'une source de gammagraphie à Chiba (Japon); la source a été retrouvée dans une rivière	Japon	
Co-60	38	09/2007	détection de sacs à main contenant des anneaux métalliques contaminés au port de Rotterdam (25 kBq de Co-60 par sac)	NL	Inde
Ir-192	600000	08/2007	vol d'une source de gammagraphie; la source n'a pas été retrouvée	Inde	
Ir-192	1850000	04/2007	vol d'une source de gammagraphie; la source n'a pas été retrouvée	Inde	
Co-60	1.6	12/2006	détection de sacs à main contenant des anneaux métalliques contaminés au port de Rotterdam (38 kBq de Co-60 par sac)	NL	Inde
Cs-137	1110	04/2007	détection au port de Tripoli (Liban) d'une source de Cs-137 dans son blindage d'origine avec des restes de métaux recyclés	Liban	
Cs-137	70000	02/2007	découverte d'une source chez un marchand de métal	NL	Iran
Ir-192	290000	11/2006	perte d'une source de gammagraphie; la source n'a pas été retrouvée	Inde	
Cs-137	9250	11/2006	vol d'une source dans l'industrie du charbon	Inde	
I-125	0.258	09/2006	perte d'une source lors d'un transport aérien entre la France et l'Autriche	France	Autriche
Ir-192	3700000	09/2006	vol d'un camion contenant une source au Texas (USA); le camion et la source ont été retrouvés 3 jours plus tard à 5 km	USA	

Ir-192	500000	05/2006	perte d'une source de gammagraphie transportée par un vélo à trois roues; la source n'a pas été retrouvée	Inde	
Mo-99	52000	07/2006	perte d'une source lors d'un transport aérien entre la France, la Belgique et l'Espagne	France	Espagne
Cs-137	4000	06/2006	découverte d'une source dans des métaux usagés au port de Rotterdam (NL)	NL	
I-131	5150	05/2006	perte d'une source lors d'un transport aérien entre la France et la Tunisie	France	Tunisie
Ir-192	1920000	11/2005	vol d'une source de gammagraphie; le véhicule et la source ont été retrouvés 150 km plus loin, 3 mois plus tard	Italie	
Ir-192	1860000	08/2005	perte d'une source de gammagraphie; la source n'a pas été retrouvée	Inde	
Cs-137	11100	04/2005	découverte de trois sources dans des métaux usagés au port de Rotterdam (NL)	NL	
Ir-192	1630000	05/2005	perte d'une source dans l'Océan (Louisiane, USA); impossible de la récupérer	USA	
Eu-152	7200	11/2004	découverte d'une source en dans des métaux de récupération	Slovénie	Croatie
I-125	0.477	09/2004	perte d'une source à l'aéroport de Prague	Rép. Tchèque	
U	1.1	09/2004	perte d'une source (uranium hexafluoride) durant son transport	France	
Cs-137	4.3	09/2004	vol de 2 sources dans une mine	Chili	
I-125	1.43	09/2004	perte d'une source lors d'un transport aérien	France	Cuba
Rh-186	374	02/2004	perte d'une source lors d'un transport aérien	France	Allemagne
Ir-192	1856000	03/2004	vol de 4 source; les sources ont été retrouvées intactes 4 mois plus tard	Italie	
Cs-137	11710	12/2003	perte d'une source lors de la rénovation d'un entrepôt en Louisiane; la source n'a pas été retrouvée	USA	
Sr-90	4600	11/2003	découverte d'une source dans des métaux de récupération à Rotterdam	NL	Nigeria
Cs-137	2500	07/2003	découverte d'une source dans des métaux de récupération	Slovénie	
Cs-137	4000	08/2003	découverte d'une source dans des métaux de récupération à Rotterdam	NL	Venezuela
Cs-137	296	04/2003	vol de deux source sur une camionnette à Lima; les sources n'ont pas été retrouvées	Pérou	
Am-241	1480				
Ir-192	138000	04/2003	vol d'une source de gammagraphie; la source n'a pas été retrouvée	Inde	
Cs-137	1450	01/2003	perte d'une source dans un hôpital; elle a été retrouvée dans un dépôt de déchet à 2 m de profondeur et 60 km de distance	Pérou	
Cs-137	300	10/2002	vol d'une source; la source a été retrouvée intacte	GB	
Sr-90	940	08/2002	découverte de 9 sources à Rotterdam (activités entre 71 et 138 MBq)	NL	Arménie
Eu-152	2000	07/2002	découverte d'une source chez un marchand de métal hollandais	NL	Allemagne ou Rép. Tchèque
Ir-192	730000	07/2002	source de gammagraphie oubliée dans un bus de transport public et jamais retrouvée	Inde	
Cs-137	44000	05/2002	source oubliée sans blindage sur un chantier du Montana et retrouvée 2 jours plus tard	USA	

Ir-192	9250	04/2002	disparition d'une source d'un hôpital en Alabama; la source a été rapidement retrouvée sous 3 m de déchet dans un dépôt d'ordures	USA	
Ir-192	150000	01/2002	source perdue sur un chantier et retrouvée une semaine plus tard à 400 m de sa dernière utilisation, à l'intérieur de son blindage, sous des décombres	Grèce	
Cs-137 Am/Be	296 1480	01/2002	sources volées lors d'un transport officiel	Pérou	
Cs-137	740	01/2002	source retrouvée dans des métaux de récupération	Grèce	
Ir-192	370000	10/2001	vol d'un camion et de sa source; source pas retrouvée	Belgique	
Sr-90	16	07/2001	découverte d'une source de provenance inconnue à Rotterdam	NL	
Cs-137	1480	12/2000	découverte d'une source dans une usine de production d'acier	Grèce	
I-131	3470	11/2000	perte d'un coli transporté par avion	France	Grèce
Th-201	30800	11/2000	perte d'un coli transporté par avion	France	Hongrie
Ir-192	11100	09/2000	découverte d'une source dans la rue par un chauffeur; la source avait été volée	Pérou	
Cs-137	1000	09/2000	découverte d'une source dans des métaux usagers à Rotterdam	NL	Egypte
Cs-137	2701	06/2000	perte d'une source dans un hôpital; pas retrouvée, malgré la fouille des ordures	Inde	
I-131	2180	06/2000	perte d'un coli transporté par avion	France	Espagne
Ir-192	1480000	06/2000	découverte d'une source perdue dans une maison familiale; 2 personnes sont décédées et 2 sont grièvement atteints suite aux irradiations	Egypte	
I-125	28	05/2000	perte de trois sources (3x 9.25 MBq) lors d'un transport aérien	France	
Pm-147	185000	03/2000	source perdue lors d'un transport	France	

Statistiques dans les centrales d'incinération suisses

Ci-dessous, est reportée une estimation des fréquences de détection de sources radioactives dans **trois centrales d'incinération** suisses disposant d'un portique de détection, telle que l'a estimée l'OFSP sur la base des annonces qui lui ont été rapportées. En prenant encore en compte les observations de Lausanne et Genève, on constate que les services de médecine nucléaires environnant la centrale libèrent régulièrement par erreur des déchets liés à des diagnostics ou des sous-produits de thérapie.

Ces données sont toutefois inférieures à la réalité, puisqu'une petite fraction seulement des centrales d'incinération possède des portiques de détection.

Estimations de l'OFSP sur la base des cas qui lui ont été communiqués

Nucléide	Description de l'événement	Activité typique [MBq]	Fréquence de détection
I-131	Abfälle aus der Jodtherapie gelangen in den Hauskehricht	10	2/a
Ra-226	Radium aus Uhrenindustrie in der Verbrennungsschlacke	200	1/5a
Th-nat	Anlieferung von Glasabfällen mit thorierten Glaslinsen	2	1/10a

Centrale de Tridel (Lausanne)

Nucléide	Date	Description de l'événement	Activité [MBq]
I-131	02/2009	provenance d'Autriche mesure du débit de dose	0.6
In-111	11/2008	CHUV médecine nucléaire; débit de dose à la surface du sac 20 uSv/h (A estimée avec d=0.2m)	10
Tc-99m	07/2008	reste de médecine nucléaire d'un cabinet privé en ville de Lausanne débit de dose à 10 cm 6 uSv/h	3

Centrale des Cheneviers (Genève)

Nucléide	Date	Description de l'événement	Activité [MBq]
I-131	07/2010	Déchet d'un centre de médecine nucléaire privé	
Tc-99m	2009	chauffeur (ex-patient de médecine nucléaire)	
Tc-99m I-131	avant 2008	HUG fréquents	
Ra-226	06/2002		25
Tc-99m	02/1999	1 mSv/h à la surface	

Statistiques des fonderies et les entreprises de récupération de métal suisses

Selon les données en possession de la SUVA, les centres de récupération de métal annoncent environ deux événements par an. On suspecte toutefois qu'il y en a davantage et que ces événements sont regroupés par semestre.

Le groupe de travail estime que les statistiques de la Fonderie de Gerlafingen (voir ci-dessous) sont plus fiables et peuvent être prises comme modèle des fréquences observables dans les fonderies et récupérations de métal en Suisse. On observe qu'il y a environ **6 événements par an** concernant principalement le **Ra-226** et le **Co-60**. Etonnamment, on notera l'absence de Cs-137. Les fréquences et les activités maximales observées sont les suivantes :

- Ra-226 (22) (max 0.208 MBq)
- Co-60 (6) (max 0.038 MBq)
- Am-241 (3) (max 210 MBq)
- Th-nat (2) (max 0.116 MBq)
- U-nat (1) (max 0.016 MBq)

Événements annoncés par la fonderie de Gerlafingen entre les années 2002 et 2007

Nucléide	Date	Activité [MBq]
Co-60	03/2002	0.019
U-nat	05/2002	0.016
Ra-226	10/2002	0.023
Ra-226	03/2003	0.035
Co-60	04/2003	0.038
Ra-226	05/2003	0.027
Ra-226	06/2003	
Ra-226	08/2003	
Co-60	10/2003	0.015
Ra-226	10/2003	0.028
Co-60	10/2003	0.01
Ra-226	12/2003	0.018
Ra-226	01/2004	0.029
Ra-226	05/2004	0.176
Ra-226	09/2004	0.043
Ra-226	10/2004	0.028
Am-241	10/2004	0.63
Ra-226	12/2004	0.053
Ra-226	04/2005	0.035
Ra-226	05/2005	0.095
Ra-226	05/2005	0.047
Th-nat	10/2005	
Th-nat	02/2006	0.116
Ra-226	03/2006	0.145
Ra-226	03/2006	0.208
Ra-226	04/2006	0.05
Ra-226	04/2006	0.045
Ra-226	06/2006	0.088
Co-60	06/2006	

Nucléide	Date	Activité [MBq]
Ra-226	08/2006	
Am-241	09/2006	210
Ra-226	11/2006	0.025
Co-60	01/2007	0.008
Am-241	08/2007	0.106

Statistique de la collecte de déchets de l'OFSP 2009

Ci-dessous sont présentés les déchets recueillis durant l'année 2009. On constate qu'il s'agit **principalement** de **Ra-226** et d'**uranium naturel**. Les fréquences et les activités maximales observées sont les suivantes :

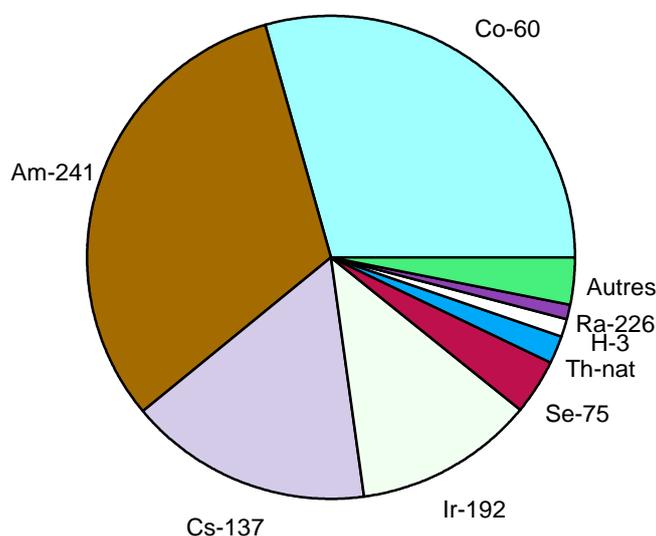
- Ra-226 (15) (max 37 MBq)
- U-nat (15) (max 450 MBq)
- Th-nat (5) (max 0.37 MBq)
- Am-241 (3) (max 0.888 MBq)
- H-3 (1) (max 372 MBq)
- Th-232 (1) (max 0.037 MBq)
- U-238/Pa-234 (1) (max 0.1 MBq)

Nucléide	Type de source	Activité [MBq]	Nucléide	Type de source	Activité [MBq]
U-nat	Uranylacetat	0.140	U-nat	Uran-Gewicht	372
U-nat	Uranylacetat	0.420	Ra-226	Uhr Radium	37
U-nat	Uranylacetat	0.050	Th-nat	Thorium Pulver	0.37
Ra-226	Radiumquelle	0.0037	U-nat	Uran Stab	25
Th-nat	Glühstrumpf	0.110	Ra-226	Radiumquelle (Stift)	0.054
Ra-226	Ra-Quelle	0.080		Radiumquelle in	
Am	Feuermelder	0.030	Ra-226	Abschirmung	0.370
Th-nat	Glühstrumpf	0.120	Ra-226	Radiumquelle (Stift)	0.048
U-nat	Uranylacetat	0.070			
Ra-226	Radiumquelle (Trink-Kur)	0.250	Ra-226	Radium Trink-Kur	0.010
Ra-226	Radiumquelle	0.333	U-nat	Uranylacetat 5%	0.840
	Radiumquelle (Stift),		U-nat	Uranylacetat 5%	0.840
Ra-226	Mineralien	0.150	U-nat	Uranylacetat	0.840
Ra-226	Stifte	0.040	U-nat	Uranylacetat	0.090
Am-241	Stifte	0.037	U-		
Th-nat	Glühstrumpf	0.110	238/Pa-	U-238/Pa-234	
Th-232	Th-Quelle	0.037	234	Isotopgenerator	0.100
Ra-226	Radiumquelle (Stift)	0.008	U-nat	Uranylacetat	0.030
U-nat	Mineralien Uran	0.800	H-3	Tritium-Lösungen	372
Th-nat	Mineralien Thorium	0.100			
U-nat	Uranoxyd-Pulver	88			
Ra-226	Uhrenzeiger Radium	0.100			
Am-241	Antistatikpinsel	0.888			
Ra-226	2 Radiumquellen (Stift)	0.090			
U-nat	Uranylacetat	0.070			
Ra-226	Radiumquelle (Stift)	0.0033			
U-nat	Uran-Gewicht	450			

Liste des sources de haute activité recensées par l'OFSP

Les sources de haute activité sont celles que l'on craint le plus lors d'une élimination non contrôlée. En Suisse, l'OFSP tient un registre des sources les plus actives. On trouvera ci-dessous la liste des sources dont l'activité est égale à au moins 100'000 fois LA ou dont le débit de dose externe est supérieur à 1 mSv/h à 1 m de distance. Cette liste ne permet pas d'estimer des probabilités d'événements, mais définit les sources actuellement en Suisse et pouvant potentiellement se retrouver dans le circuit des déchets.

Selon les informations de R. Linder (OFSP), il y avait environ 700 sources de haute activité recensées en Suisse au 13.01.2011. N'ayant pas la répartition des divers nucléides à cette date, nous nous sommes basés sur l'inventaire au 13.02.2010 pour établir la figure ci-dessous. On observe que **90%** concernent **Am-241**, **Co-60**, **Cs-137** et **Ir-192**.



Si l'on suppose que ces sources sont très bien surveillées et que chacune d'elle n'aurait pu sortir du circuit de surveillance en moyenne qu'une seule fois depuis le début du néolithique (10'000 ans), cela implique qu'un événement peut se produire en Suisse en moyenne tous les 10 ans.

Nucléides	Nombre de sources
Am-241 ¹³	291
Co-60	270
Cs-137	149
Ir-192	110
Se-75	34
Th-nat	17
H-3	11
Ra-226	9
U-nat	7

Nucléides	Nombre de sources
Cf-252	5
Pu-239	4
Po-210	3
U-238	3
Pu-238	2
Am-243	1
Cm-244	1
Pu-240	1
U-234	1
U-235	1

¹³ dont 55 sources indiquée sous l'acronyme Am-241N

Activités maximales présentes dans les services de médecine nucléaire

Des sources provenant de la médecine nucléaire sont régulièrement mesurées dans les centrales d'incinération. Afin d'être conservatif, on a considéré le cas où toute l'activité d'un nucléide donné se retrouverait dans le circuit des déchets. Les données ci-dessous présentent l'activité maximale de chaque nucléide présente à un instant donné dans le service de médecine nucléaire du CHUV.

Nucléide	Activité [MBq]	Remarque
I-131	7'400	
Tc-99m	100'000	premier jour d'éluotion
I-123	740	
In-111	370	
F-18	10'000	
I-125	185	
Ga-68	1'400	
Re-186	400	
Sm-153	4'000	
Sr-89	180	émetteur bêta
Y-90	2'000	émetteur bêta

On peut supposer que le CHUV est représentatif d'un "grand" service de médecine nucléaire suisse. On considère que les 7 villes suivantes disposent d'un tel service :

- Genève
- Lausanne
- Berne
- Bâle
- Zurich
- St-Gall
- Bellinzona

Liste des activités potentielles dans les laboratoires suisses

En dehors des sources répertoriées plus haut pour leur haute activité, on a également considéré l'activité maximale pouvant se trouver à un instant donné dans l'ensemble des laboratoires suisses. Le tableau ci-dessous en donne les activités par nucléide et par laboratoire. **Cette liste n'est malheureusement pas utilisable pour estimer le risque**, car la majorité des laboratoires possède plusieurs nucléides et sont répertoriés sous le terme "diverse". L'utilité de cette liste réside toutefois dans le fait qu'elle montre le potentiel de risque et le grand nombre de sources se trouvant dans les laboratoires suisses.

Selon cette liste, les 7 "nucléides" les plus utilisés sont les suivants :

- diverse (82)
- I-131 (22)
- H-3 (16)
- Th-nat (8)
- C-14 (6)
- Pm-147 (4)
- Sm-nat (4)

Chaque ligne du tableau ci-dessous correspond à une autorisation pour un laboratoire donné.

Nucléide	Activité [MBq]	Nucléide	Activité [MBq]	Nucléide	Activité [MBq]
diverse	200000	diverse	30000	diverse	10000
diverse	100000	diverse	50000	diverse	50000
Sm-nat	407	diverse	150000	diverse	370000
Sm-nat	800	diverse	1000	diverse	1000
Am-241	5000	diverse	500	diverse	7400
H-3	2000000000	diverse	10000	diverse	1000
Pm-147	10000000	diverse	11000	diverse	10000
Pm-147	40000000	diverse	3.7000000	diverse	40
diverse	40000	diverse	18500000	diverse	50
H-3	7400000000	diverse	111000000	diverse	1000000
Kr-81m	20000	diverse	555	diverse	370
Kr-81m	75000	diverse	1000	diverse	12000
diverse	1000	diverse	10000	diverse	100000
diverse	1000000	diverse	10000000	diverse	37
diverse	10000000	diverse	500000	diverse	25000
diverse	3700	diverse	3000	diverse	10000
diverse	10000	diverse	10	diverse	40000
diverse	10000	diverse	500	diverse	100
diverse	1000	diverse	500000	diverse	100000000
diverse	370000	diverse	10000	C-14	40000000
diverse	5000	diverse	37000	Pm-147	4000000
diverse	500	diverse	100000	Pm-147	3000000
diverse	740	diverse	37000	Ir-192	1.5000000
diverse	10000	diverse	120000	H-3	200000000
diverse	3000000	Sm-nat	0.8	Ra-226	4000
diverse	30000	Th-nat	250	H-3	150000000
Th-nat	10000	Sm-nat	0.002	C-11	70000000
diverse	3700000	diverse	37000	F-18	50000000
diverse	37000	diverse	10000	N-13	70000000
diverse	10000	diverse	4000	O-15	70000000
diverse	370000	diverse	120000	U-nat	350
diverse	74	diverse	150000	Ac-225	500
diverse	37000	diverse	3700	C-14	5000000
diverse	50000	diverse	1000	I-131	185000
diverse	5000	diverse	370	Co-60	20000
diverse	100	diverse	40000	C-14	2000000
diverse	1000000	diverse	370	H-3	20000000
diverse	20000	diverse	2000	H-3	20000000

Nucléide	Activité [MBq]
Ra-226	370
H-3	15000000
Th-nat	3
Mo-99	700000
U-235	109
C-14	1000000
H-3	10000000
H-3	10000000
Bi-213	10000
Th-227	100
C-14	900000
Th-nat	2.4
I-125	70000
P-32	200000
S-35	500000
U-nat	35
I-131	37000
I-131	37000
I-131	37000
I-131	30000
I-131	30000
Sr-87m	5000000
P-32	100000
Ac-225	40
Th-nat	1
I-131	22.2000
C-14	370000
H-3	3700000
F-18	2000000
H-3	4000000
H-3	3700000
H-3	3700000
H-3	3700000
I-131	20000
I-131	18000
I-131	18500
U-nat	14
Y-90	100000
Th-nat	0.626
I-131	14800

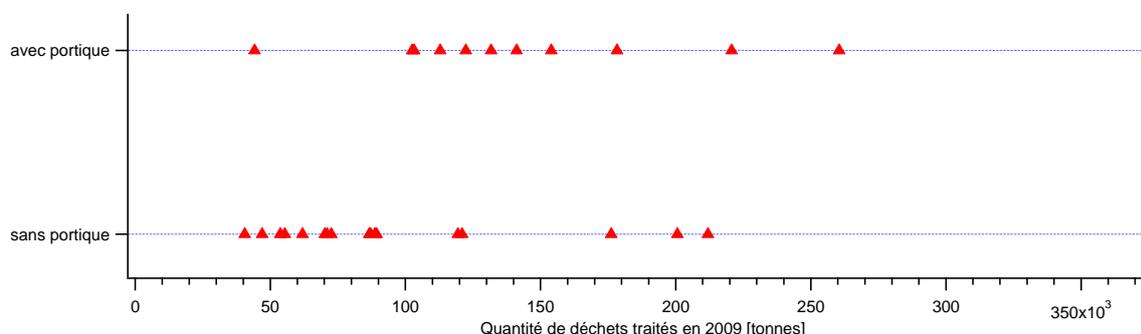
Nucléide	Activité [MBq]
Cs-137	20000
I-131	14000
In-113m	5000000
Tc-99m	5000000
P-32	50000
U-238	20
I-131	11000
I-131	11000
I-125	15000
H-3	2000000
I-131	10000
Gd-153	40000
I-131	10000
Y-90	60000
Tc-99	40000
I-131	10000
I-131	10000
I-131	10000
H-3	2000000
Th-nat	0.390
Th-nat	0.370
P-33	74000
Sr-90	1000
I-131	7500
Ga-67	300000
Rb-81	1000000
I-131	7400
I-131	7400
S-35	70000
Mg-28	40000
Tl-201	900000
Tl-204	100000
P-33	50000
Cl-36	12000
Sm-153	74000

Annexe 3 : Liste des centrales d'incinération

Cette annexe dresse l'inventaire des 29 centrales d'incinération suisses en indiquant la quantité de déchets traités par année et si elles disposent d'un portique de détection. La plupart des informations a été fournie par Dr Michael Hügi (OFEV) le 08.12.2010.

Canton	Lieu	Quantité 2009 [t]	Portique oui	Portique non	Remarque
FR	Posieux	86'620		non ¹⁴	
GE	Les Cheneviers	260'526	oui		
NE	La Chaux-de-Fonds	53'654		non ¹⁵	
NE	Colombier	55'349		non ¹⁶	
VD	Tridel	178'264	oui		
VS	Gamsen	40'557		non	
VS	Sion	61'924		non	
VS	Monthey	153'949	oui		
AG	Buchs (AG)	120'972		non	
AG	Oftringen	72'528		non	planifié en 2011
AG	Turgi	122'284	oui		
BE	Bern	103'254	instrument mobile		permanent dès 2012
BE	Brügg (Biel)	46'994		non	
BE	Thun	131'704	oui		
BS	Basel	211'891		non ¹⁷	
LU	Luzern	89'278		non ¹⁸	
SO	Zuchwil	220'697	oui		
GL	Niederurnen	112'910	oui		
GR	Trimmis	88'726		non	
SG	Buchs (SG)	176'123		non	
SG	St. Gallen	70'195		non	
SG	Bazenheid	102'517	oui		
TG	Weinfelden	141'148	oui		
ZH	Zürich I + II	375'584		non	
ZH	Winterthur	119'452		non	
ZH	Horgen	71'017		non	
ZH	Hinwil	200'617		non	
ZH	Dietikon	87'059		non	
TI	Giubiasco	44'145	oui		
Total		3'599'938	11	18	

Le graphique ci-dessous présente le fait d'avoir un portique en fonction de la quantité de déchets traitée en 2009. On constate que les plus grandes centrales tendent plus à avoir un portique que les petites centrales. L'exception notable est la plus grande (Zurich I + II) qui a décidé de ne pas avoir de portique.



¹⁴ Selon téléphone de François Bochud du 25.05.2011, la centrale n'a qu'un détecteur portable, utilisé en cas de besoin spécifique.

¹⁵ Selon téléphone de François Bochud du 25.05.2011.

¹⁶ Selon téléphone de François Bochud du 25.05.2011.

¹⁷ Information donnée par André Herrmann le 18.03.2011.

¹⁸ Selon téléphone de François Bochud du 25.05.2011.