

**Zeitschrift:** Umweltradioaktivität und Strahlendosen in der Schweiz = Radioactivité de l'environnement et doses de rayonnements en Suisse = Radioattività dell'ambiente e dosi d'irradiazione in Svizzera

**Herausgeber:** Bundesamt für Gesundheit, Abteilung Strahlenschutz

**Band:** - (2010)

**Rubrik:** Überwachung der Kernanlagen : Emissionen und Immissionen = Surveillance des installations nucléaires : émissions et immissions

### **Nutzungsbedingungen**

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. [Siehe Rechtliche Hinweise.](#)

### **Conditions d'utilisation**

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. [Voir Informations légales.](#)

### **Terms of use**

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. [See Legal notice.](#)

**Download PDF:** 26.04.2025

**ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>**

# Umweltradioaktivität und Strahlendosen in der Schweiz

## Radioactivité de l'environnement et doses de rayonnements en Suisse

Ergebnisse 2010  
Résultats 2010



### 8 Überwachung der Kernanlagen: Emissionen und Immissionen

### 8 Surveillance des installations nucléaires: Emissions et Immissions



# Inhaltverzeichnis / Sommaire

<b>8.1 Emissionen aus den Kernanlagen</b>	<b>107</b>
<b>8.2 Ortsdosis und Ortsdosisleistung in der Umgebung der Kernanlagen</b>	<b>116</b>
<b>8.3 Messnetz zur automatischen Dosisleistungsüberwachung in der Umgebung der Kernkraftwerke (MADUK)</b>	<b>117</b>
Zusammenfassung	117
Übersicht	117
Systeminstandhaltung und -ergänzung	119
Systemverfügbarkeit und Störungen	119
Qualitätssicherung	120
Messergebnisse	120
<b>8.4 Überwachung des zentralen Zwischenlagers (ZWILAG)</b>	<b>123</b>
Zusammenfassung	123
Einleitung	123
Radiochemische Trennmethode	124
Staubfangplatten	124
<b>8.5 Les installations nucléaires et l'environnement</b>	<b>126</b>
Résumé	126
Introduction	126
Méthodologie	127
Résultats	127
Conclusions	131
<b>8.6 Environnement du CERN (mesures OFSP)</b>	<b>132</b>
Résumé	132
Programme de surveillance de l'OFSP	132
Mesures de l'exposition ambiante	133
Mesures dans le milieu atmosphérique	133
Mesures dans le milieu terrestre	134
Mesures dans le milieu aquatique	134
Conclusions	136
<b>8.7 Rejets et environnement du CERN (Mesures CERN)</b>	<b>137</b>
Résumé	137
Le CERN	137
Aspects environnementaux	138
Programme de surveillance	139
Résultats 2010	139
Impact radiologique	142
Conclusions	143

## 8.1

# Emissionen aus den Kernanlagen

**F. Cartier, B. Bucher, A. Leupin**

Eidg. Nuklearsicherheitsinspektorat, Industriestrasse 19, 5200 Brugg

Die Abgaben radioaktiver Stoffe mit dem Abwasser und der Abluft lagen im Jahr 2010 für die vier Schweizer Kernkraftwerke Beznau (KKB 1 und KKB 2), Gösgen (KKG), Leibstadt (KKL) und Mühleberg (KKM) sowie für das Paul Scherrer Institut (PSI) und das am gleichen Standort gelegene Zentrale Zwischenlager Würenlingen (ZZL) deutlich unterhalb der Jahres- und Kurzzeit-Abgabelimite. Die aus den tatsächlichen Abgaben und der Direktstrahlung aus der jeweiligen Anlage errechnete Strahlenexposition liegt selbst unter Berücksichtigung der Ablagerungen aus den Vorjahren für Erwachsene und Kleinkinder weit unterhalb des für Standorte von Kernanlagen festgelegten quellenbezogenen Dosisrichtwerts von 0.3 mSv pro Jahr.

Die Abgaben von radioaktiven Stoffen mit der Abluft und dem Abwasser der schweizerischen Kernkraftwerke sind in der Figur 1 für die letzten fünf Jahre zusammen mit den entsprechenden Jahreslimiten dargestellt. Tabelle 1 zeigt die in den Kernkraftwerken und im Zentralen Zwischenlager Würenlingen (ZZL) gemessenen Abgabewerte sowie die unter ungünstigen Annahmen gemäss Richtlinie ENSI-G14 errechneten Personendosen für Erwachsene, 10-jährige Kinder und Kleinkinder in der Umgebung der betreffenden Anlage im Jahr 2010. Die Abgaben des Paul Scherrer Instituts und die daraus in gleicher Weise berechneten Dosiswerte sind in Tabelle 2 zusammengestellt. Eine nuklidspezifische Aufschlüsselung der Aktivitätsabgaben mit dem Abwasser ist in Tabelle 3a, mit der Abluft in den Tabellen 3b und 3c aufgelistet. Die Fussnoten zu den Tabellen geben Hinweise zu den Limiten, den Messungen und den bei der Berechnung der Jahresdosis verwendeten Annahmen.

Alle Kernanlagen haben die vorgeschriebenen Jahres- und die Kurzzeitlimiten eingehalten. Die Behörden haben die Messverfahren der Kernanlagen mit über 170 Proben kontrolliert. Dabei wurden Aerosol- und Jodfilter sowie Abwasserproben stichprobenweise analysiert. Die Ergebnisse stimmen überein und zeigen, dass die Abgabereglemente eingehalten werden.

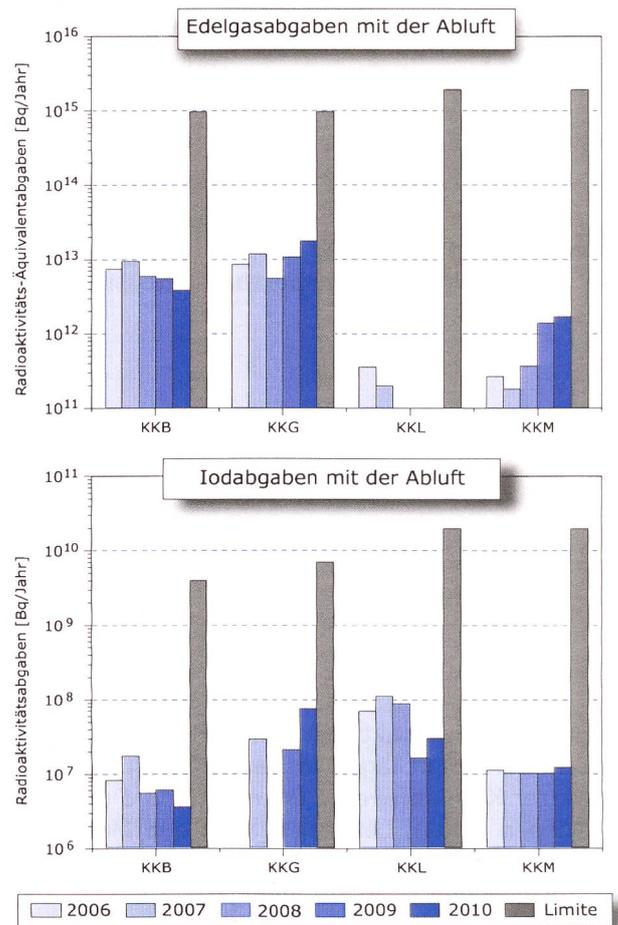
Die aus den Emissionen der Kernkraftwerke errechnete Jahresdosis für Einzelpersonen der Bevölkerung in unmittelbarer Nähe der Anlage beträgt unter Berücksichtigung der Ablagerungen aus den Vorjahren beim KKG und bei ZZL ungefähr 0.001 mSv, beim KKB 0.004 mSv und beim KKL und KKM ungefähr 0.005 mSv. Die Dosiswerte für Einzelpersonen der Bevölkerung in der Umgebung betragen somit im Jahr 2010 nur einen Bruchteil des quellenbezogenen Dosisrichtwerts.

Das ENSI berücksichtigt bei den Dosisberechnungen auch die formell nicht limitierten  $^{14}\text{C}$ -Abgaben, da diese seit einigen Jahren aufgrund der geringen übrigen Abgaben die Dosis dominieren. Das radioaktive Kohlenstoffisotop  $^{14}\text{C}$  entsteht im Reaktor durch Kernreaktionen von Neutronen mit Stickstoff, Kohlenstoff und Sauerstoff. Die  $^{14}\text{C}$ -Abgaben der Kernkraftwerke sind systembedingt begrenzt, weil die Abgaberate primär von der Reaktorleistung abhängig ist. Die Kernkraftwerke haben in den letzten Jahren die  $^{14}\text{C}$ -Abgaben gemessen und nachgewiesen, dass diese mit den Erfahrungswerten aus der Messkampagne vor etwa dreissig Jahren und den in der einschlägigen Literatur angegebenen  $^{14}\text{C}$ -Abgabewerten für ähnliche Anlagen korrespondieren. Das KKL führt seit längerer Zeit aus eigener Initi-

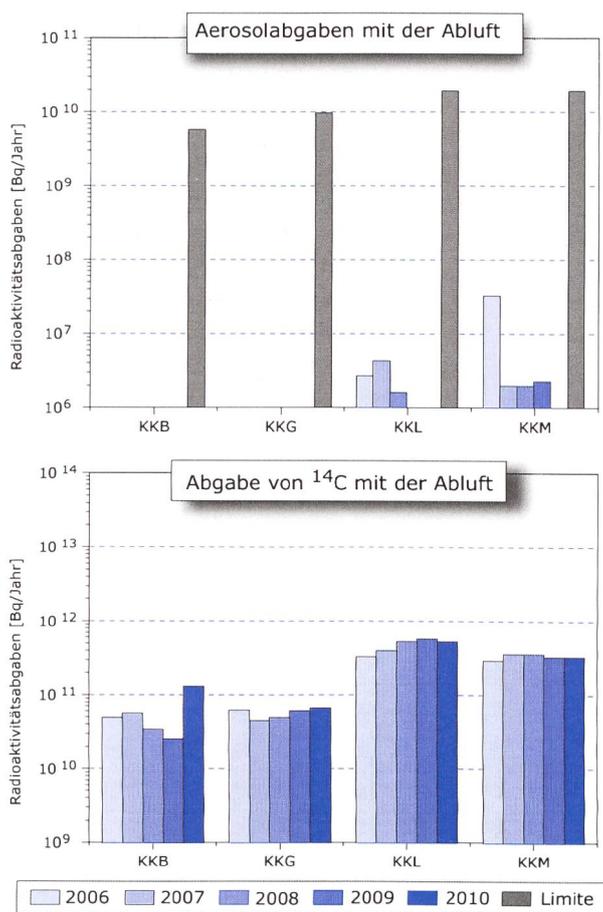
ative  $^{14}\text{C}$ -Messungen durch. Mitte 1998 wurde die Apparatur des KKL zur Messung von  $^{14}\text{C}$  aufgrund der Resultate einer internationalen Vergleichsmessung neu kalibriert, was dazu führte, dass die für Einzelpersonen der Bevölkerung errechnete Dosis seit 1998 etwas höher ist. Das KKG führt seit Ende 2001 Messungen der  $^{14}\text{C}$ -Abgaben mit der Abluft durch. Die für Einzelpersonen der Bevölkerung errechnete Dosis der Jahre 2001 bis 2003 werden beim KKG im Nachhinein als um den Faktor 3 zu hoch eingeschätzt, dies aufgrund der Ergebnisse der neuen Kalibrierung der Messapparatur mit zwei diversitären Standards zu Beginn des Jahres 2004. Alle Schweizer Kernkraftwerke führten 2010 die  $^{14}\text{C}$ - und die  $^3\text{H}$ -Messungen auch nach Abschluss der geforderten einjährigen Messperiode auf freiwilliger Basis fort. Somit konnten auch 2010 zur Ermittlung des jeweiligen Dosisbeitrags von  $^{14}\text{C}$  die gemessenen Werte herangezogen werden.

Das PSI ist aufgrund der Bewilligung für die Abgabe radioaktiver Stoffe und die Direktstrahlung verpflichtet, sowohl für die einzelnen Anlagen als auch für die Gesamtanlage des PSI die aus den Abgaben resultierende Dosis in der Umgebung zu berechnen. Beim PSI errechnet das ENSI eine Jahresdosis für Einzelpersonen in der Umgebung von weniger als 0.006 mSv. Beinahe die gesamte Dosis ergibt sich im PSI durch die Abgabe von kurzlebigen radioaktiven Edelgasen aus den Teilchenbeschleunigern im West-Areal des Institutes. Die vom PSI und vom ENSI unabhängig voneinander durchgeführten Berechnungen zeigen, dass unter ungünstigen Annahmen die Jahresdosis für Einzelpersonen der Bevölkerung in der Umgebung deutlich unterhalb des für das PSI bewilligten Anteils von 0.15 mSv pro Jahr am quellenbezogenen Dosisrichtwert für den gemeinsamen Standort des PSI und des ZZL liegt. Für das ZZL beträgt der bewilligte Anteil 0.05 mSv pro Jahr.

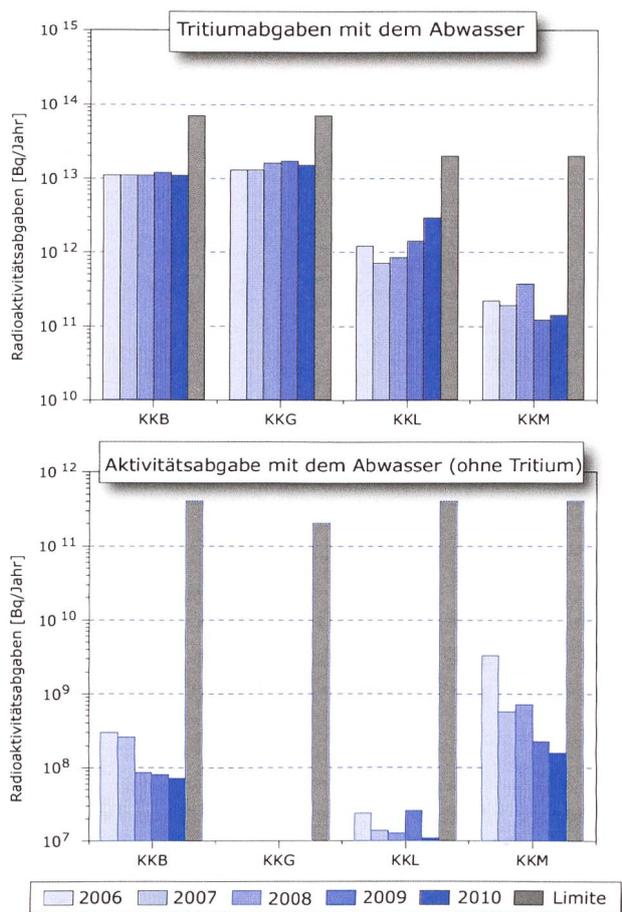
Im Zentralen Zwischenlager Würenlingen (ZZL) erfolgten im Berichtsjahr weitere Einlagerungen in die Lagergebäude für hoch- und mittelaktive Abfälle und im Hochregallager der Konditionieranlage. In der Plasma-Anlage fanden wiederum eine Frühjahres- und eine Herbstverbrennungskampagne statt. Die für das Jahr 2010 bilanzierten Abgaben des ZZL sind in den Tabellen 1 und 3a bis 3c zusammengestellt. Die aufgrund der Abgaben unter ungünstigen Annahmen berechnete Jahresdosis für Einzelpersonen der Umgebungsbevölkerung lag unterhalb 0.001 mSv.



**Figur 1a:** Abgaben der schweizerischen Kernkraftwerke an die Atmosphäre in den letzten fünf Jahren (2006 bis 2010) im Vergleich mit den Jahres-Abgabelimite. Edelgasabgaben unterhalb von  $10^{11}$  Bq und Abgaben von Jod unterhalb von  $10^6$  Bq werden im Diagramm nicht dargestellt.



**Figur 1b:** Abgaben der schweizerischen Kernkraftwerke an die Atmosphäre in den letzten fünf Jahren (2006 bis 2010) im Vergleich mit den Jahres-Abgabelimiten. Falls die Abgaben von Aerosolen unterhalb von 10<sup>6</sup> Bq liegen, werden sie im Diagramm nicht dargestellt. Für <sup>14</sup>C besteht keine Abgabelimite.



**Figur 1c:** Abgaben der schweizerischen Kernkraftwerke an das Abwasser in den letzten fünf Jahren (2006 bis 2010) im Vergleich mit den Jahres-Abgabelimiten. Falls die Abgaben mit dem Abwasser unterhalb von 10<sup>7</sup> Bq liegen, werden sie im Diagramm nicht dargestellt.

**Tabelle 1:**

Zusammenstellung der Abgaben radioaktiver Stoffe an die Umgebung im Jahr 2010 für die Kernkraftwerke und das Zentrale Zwischenlager Würenlingen und die daraus berechnete Dosis für Einzelpersonen der Bevölkerung - (Fussnoten siehe Ende Kap 8.1).

Ort	Medium	Art der Abgaben <sup>4</sup>	Limiten <sup>1</sup>		Tatsächliche Abgaben <sup>2,4</sup>			Berechnete Jahresdosis <sup>3</sup>		
			Bq pro Jahr	Äquivalentabgaben		gemessen <sup>5</sup>	mSv/Jahr			
				Bq pro Jahr	Prozent der Limite		Bq pro Jahr	Erw.	10j Kind	1j Kind
KKB1 + KKB2	Abwasser 3'700 m <sup>3</sup>	Nuklidgemisch ohne Tritium	4·10 <sup>11</sup>	-	<0.1%	3.5·10 <sup>8</sup>	<0.001	<0.001	<0.001	
		Tritium	7·10 <sup>13</sup>	8.5·10 <sup>12</sup>	12%	8.5·10 <sup>12</sup>	<0.001	<0.001	<0.001	
	Abluft	Edelgase	1·10 <sup>15</sup>	3.5·10 <sup>12</sup>	0.4%	4.0·10 <sup>12</sup>	<0.001	<0.001	<0.001	
		Aerosole	6·10 <sup>9</sup>	-	<0.1%	3.0·10 <sup>5</sup>	<0.001	<0.001	<0.001	
		Iod: <sup>131</sup> I	4·10 <sup>9</sup>	5.0·10 <sup>6</sup>	<0.13%	5.0·10 <sup>6</sup>	<0.001	<0.001	<0.001	
		Kohlenstoff: <sup>14</sup> C in CO <sub>2</sub>	-	-	-	7.4·10 <sup>10</sup>	0.0015	0.002	0.0034	
	<b>Dosis total</b>							<b>0.0016</b>	<b>0.0021</b>	<b>0.0035</b>
KKM	Abwasser 5'451 m <sup>3</sup>	Nuklidgemisch ohne Tritium	4·10 <sup>11</sup>	5.8·10 <sup>8</sup>	0.15%	5.9·10 <sup>9</sup>	<0.001	<0.001	<0.001	
		Tritium	2·10 <sup>13</sup>	2.4·10 <sup>11</sup>	1.2%	2.4·10 <sup>11</sup>	<0.001	<0.001	<0.001	
	Abluft	Edelgase	2·10 <sup>15</sup>	-	<0.1%	7.0·10 <sup>10</sup>	<0.001	<0.001	<0.001	
		Aerosole	2·10 <sup>10</sup>	-	<0.1%	1.0·10 <sup>6</sup>	0.0031	0.003	0.0028	
		Iod: <sup>131</sup> I	2·10 <sup>10</sup>	-	<0.1%	6.1·10 <sup>6</sup>	<0.001	<0.001	<0.001	
		Kohlenstoff: <sup>14</sup> C in CO <sub>2</sub>	-	-	-	3.9·10 <sup>11</sup>	0.001	0.0013	0.0021	
	<b>Dosis total</b>							<b>0.004</b>	<b>0.0042</b>	<b>0.0049</b>
KKG	Abwasser 7'561 m <sup>3</sup>	Nuklidgemisch ohne Tritium	2·10 <sup>11</sup>	-	<0.1%	1.6·10 <sup>7</sup>	<0.001	<0.001	<0.001	
		Tritium	7·10 <sup>13</sup>	1.4·10 <sup>13</sup>	20%	1.4·10 <sup>13</sup>	<0.001	<0.001	<0.001	
	Abluft	Edelgase	1·10 <sup>15</sup>	<1.7·10 <sup>13</sup>	<1.7%	<1.5·10 <sup>13</sup>	<0.001	<0.001	<0.001	
		Aerosole	1·10 <sup>10</sup>	-	<0.1%	1.2·10 <sup>5</sup>	<0.001	<0.001	<0.001	
		Iod: <sup>131</sup> I	7·10 <sup>9</sup>	1.6·10 <sup>8</sup>	2.3%	1.6·10 <sup>8</sup>	<0.001	<0.001	<0.001	
		Kohlenstoff: <sup>14</sup> C in CO <sub>2</sub>	-	-	-	9.2·10 <sup>10</sup>	<0.001	<0.001	0.001	
	<b>Dosis total</b>							<b>&lt;0.001</b>	<b>&lt;0.001</b>	<b>0.0013</b>
KKL	Abwasser 14'713 m <sup>3</sup>	Nuklidgemisch ohne Tritium	4·10 <sup>11</sup>	-	<0.1%	2.2·10 <sup>8</sup>	<0.001	<0.001	<0.001	
		Tritium	2·10 <sup>13</sup>	4.1·10 <sup>12</sup>	21%	4.1·10 <sup>12</sup>	<0.001	<0.001	<0.001	
	Abluft	Edelgase	2·10 <sup>15</sup>	-	<0.1%	4.6·10 <sup>10</sup>	<0.001	<0.001	<0.001	
		Aerosole	2·10 <sup>10</sup>	-	<0.1%	8.9·10 <sup>6</sup>	<0.001	<0.001	<0.001	
		Iod: <sup>131</sup> I	2·10 <sup>10</sup>	5.6·10 <sup>7</sup>	0.3%	5.6·10 <sup>7</sup>	<0.001	<0.001	<0.001	
		Kohlenstoff: <sup>14</sup> C in CO <sub>2</sub>	-	-	-	5.6·10 <sup>11</sup>	0.0021	0.0028	0.0047	
	<b>Dosis total</b>							<b>0.0022</b>	<b>0.0029</b>	<b>0.0048</b>
ZZL	Abwasser 622 m <sup>3</sup>	Nuklidgemisch ohne Tritium	2·10 <sup>11</sup>	2.7·10 <sup>8</sup>	0.14%	1.1·10 <sup>9</sup>	<0.001	<0.001	<0.001	
		Tritium	-	-	-	2.2·10 <sup>11</sup>	<0.001	<0.001	<0.001	
	Abluft	β-/γ-Aerosole	1·10 <sup>9</sup>	-	<0.1%	1.7·10 <sup>4</sup>	<0.001	<0.001	<0.001	
		α-Aerosole	3·10 <sup>7</sup>	-	<0.1%	1.7·10 <sup>4</sup>	<0.001	<0.001	<0.001	
		Kohlenstoff: <sup>14</sup> C in CO <sub>2</sub>	1·10 <sup>12</sup>	-	<0.1%	1.2·10 <sup>8</sup>	<0.001	<0.001	<0.001	
		Tritium	1·10 <sup>14</sup>	-	<0.1%	9.2·10 <sup>10</sup>	<0.001	<0.001	<0.001	
	<b>Dosis total</b>							<b>&lt;0.001</b>	<b>&lt;0.001</b>	<b>&lt;0.001</b>

**Tabelle 2:**

Zusammenstellung der Abgaben des Paul Scherrer Instituts im Jahr 2010 und der daraus berechneten Dosen für Einzelpersonen der Bevölkerung - (Fussnoten siehe Ende Kap 8.1).

	PSI Ost				
	Hochka- min	Saphir, Proteus	Forschungs- labor	Betriebs- Gebäude radioaktive Abfälle	Bundeszwi- schenlager
<b>Abgaben im Abwasser<sup>2,4</sup> [Bq/a]</b>					
Nuklidgemisch ohne Tritium	-	-	-	-	-
Tritium	-	-	-	-	-
<b>Abgaben über die Abluft<sup>2,4</sup> [Bq/a]</b>					
Edelgase und andere Gase	-	-	-	-	-
$\beta/\gamma$ -Aerosole <sup>4</sup> , ohne Iod	$6.6 \cdot 10^5$	-	-	-	$6.2 \cdot 10^4$
$\alpha$ -Aerosole	-	-	-	-	-
Iod (Summe aller Isotope)	$9.8 \cdot 10^7$	-	-	-	-
Tritium als HTO	$4.4 \cdot 10^{10}$	$1.5 \cdot 10^7$	-	$1.1 \cdot 10^{10}$	$1.4 \cdot 10^{10}$
Kohlenstoff: <sup>14</sup> C in CO <sub>2</sub>	-	-	-	-	-
<b>Jahresdosis<sup>3</sup> [mSv/Jahr] für:</b>					
Erwachsene	<0.00015	<0.00015	<0.00015	<0.00015	<0.00015
Kind 10j	<0.00015	<0.00015	<0.00015	<0.00015	<0.00015
Kleinkinder	<0.00015	<0.00015	<0.00015	<0.00015	<0.00015
<b>Anteil am quellenbezogenen Dosisrichtwert<sup>1</sup></b>	<0.1%	<0.1%	<0.1%	<0.1%	<0.1%

	PSI West			Gesamtanlage des PSI <sup>2,4</sup>		
	Zentrale Fortluft- anlagen	Injektor II	C-Labor	Abgaben Bq / Jahr		
				Abwasser 1'348 m <sup>3</sup>	Abluft	Aequiva- lent-abga- ben
<b>Abgaben im Abwasser<sup>2,4</sup> [Bq/a]</b>						
Nuklidgemisch ohne Tritium	-	-	-	$6.7 \cdot 10^7$	-	$5.2 \cdot 10^6$
Tritium	-	-	-	$7.0 \cdot 10^{10}$	-	-
<b>Abgaben über die Abluft<sup>2,4</sup> [Bq/a]</b>						
Edelgase und andere Gase	$1.7 \cdot 10^{14}$	$8.5 \cdot 10^{10}$	-	-	$1.7 \cdot 10^{14}$	$3.6 \cdot 10^{14}$
$\beta/\gamma$ -Aerosole <sup>4</sup> , ohne Iod	$2.2 \cdot 10^{10}$	$3.5 \cdot 10^6$	$4.7 \cdot 10^3$	-	$2.2 \cdot 10^{10}$	-
$\alpha$ -Aerosole	-	-	-	-	-	-
Iod (Summe aller Isotope)	$4.0 \cdot 10^7$	-	-	-	$1.4 \cdot 10^8$	$7.7 \cdot 10^7$
Tritium als HTO	$1.1 \cdot 10^{12}$	-	-	-	$1.2 \cdot 10^{12}$	-
Kohlenstoff: <sup>14</sup> C in CO <sub>2</sub>	-	-	-	-	-	-
<b>Jahresdosis<sup>3</sup> [mSv/Jahr] für:</b>						
Erwachsene	0.0055	<0.00015	<0.00015	<0.00015		<b>&lt;0.0060</b>
Kind 10j	0.0056	<0.00015	<0.00015	<0.00015		<b>&lt;0.0060</b>
Kleinkinder	0.0056	<0.00015	<0.00015	<0.00015		<b>&lt;0.0060</b>
<b>Anteil am quellenbezogenen Dosisrichtwert<sup>1</sup></b>	3.7 %	<0.1%	<0.1%	<0.1%		<b>&lt;4.0%</b>

**Tabelle 3a:**

Flüssige Abgaben der Kernanlagen an die Aare oder den Rhein, 2010:

Summe der bei Einzelmessungen nachgewiesenen Aktivitätsabgaben<sup>2</sup> - (Fussnoten siehe Ende Kap 8.1).

Nuklid	Abgaben [Bq/Jahr]						
	$\beta/\gamma$ -Strahler	KKB	KKG	KKL	KKM	PSI	ZZL
<sup>3</sup> H		8.5·10 <sup>12</sup>	1.4·10 <sup>13</sup>	4.1·10 <sup>12</sup>	2.4·10 <sup>11</sup>	7.0·10 <sup>10</sup>	2.2·10 <sup>11</sup>
<sup>7</sup> Be						9.2·10 <sup>6</sup>	
<sup>22</sup> Na						4.7·10 <sup>6</sup>	1.5·10 <sup>7</sup>
<sup>24</sup> Na		8.3·10 <sup>6</sup>					
<sup>35</sup> S						2.4·10 <sup>7</sup>	
<sup>46</sup> Sc						7.6·10 <sup>3</sup>	
<sup>51</sup> Cr					1.6·10 <sup>8</sup>		
<sup>52</sup> Mn							
<sup>54</sup> Mn		1.7·10 <sup>6</sup>		3.3·10 <sup>7</sup>	2.1·10 <sup>9</sup>	3.9·10 <sup>6</sup>	1.2·10 <sup>5</sup>
<sup>56</sup> Mn							
<sup>59</sup> Fe					2.9·10 <sup>6</sup>		
<sup>56</sup> Co						7.8·10 <sup>4</sup>	
<sup>57</sup> Co		2.9·10 <sup>5</sup>				2.9·10 <sup>5</sup>	
<sup>58</sup> Co		8.0·10 <sup>7</sup>		1.0·10 <sup>7</sup>	1.0·10 <sup>9</sup>	1.2·10 <sup>5</sup>	
<sup>60</sup> Co		4.8·10 <sup>7</sup>	4.9·10 <sup>5</sup>	1.4·10 <sup>8</sup>	2.5·10 <sup>9</sup>	1.3·10 <sup>6</sup>	1.3·10 <sup>7</sup>
<sup>65</sup> Zn				3.1·10 <sup>7</sup>	1.1·10 <sup>8</sup>	3.9·10 <sup>5</sup>	
<sup>83</sup> Rb						1.3·10 <sup>4</sup>	
<sup>85</sup> Sr							
<sup>88</sup> Y						4.5·10 <sup>5</sup>	
<sup>89</sup> Sr		3.5·10 <sup>6</sup>	7.8·10 <sup>5</sup>		1.3·10 <sup>7</sup>		
<sup>90</sup> Sr/ <sup>90</sup> Y		4.4·10 <sup>5</sup>			1.0·10 <sup>6</sup>		1.5·10 <sup>6</sup>
<sup>95</sup> Nb		3.4·10 <sup>4</sup>					
<sup>99m</sup> Tc							
<sup>103</sup> Ru						4.1·10 <sup>4</sup>	
<sup>106</sup> Ru/Rh							1.1·10 <sup>7</sup>
<sup>110m</sup> Ag		4.1·10 <sup>5</sup>			9.8·10 <sup>5</sup>		
<sup>113</sup> Sn						6.3·10 <sup>5</sup>	
<sup>122</sup> Sb		1.1·10 <sup>6</sup>					
<sup>124</sup> Sb		5.5·10 <sup>7</sup>			2.4·10 <sup>6</sup>	1.2·10 <sup>5</sup>	1.1·10 <sup>6</sup>
<sup>125</sup> Sb		9.0·10 <sup>6</sup>					1.2·10 <sup>7</sup>
<sup>123m</sup> Te		1.5·10 <sup>7</sup>	7.9·10 <sup>5</sup>				
<sup>132</sup> Te		9.2·10 <sup>5</sup>	2.5·10 <sup>5</sup>				
<sup>125</sup> I						9.2·10 <sup>6</sup>	
<sup>126</sup> I							
<sup>131</sup> I		2.4·10 <sup>7</sup>	1.3·10 <sup>7</sup>			1.0·10 <sup>4</sup>	
<sup>133</sup> I		3.6·10 <sup>6</sup>	2.6·10 <sup>5</sup>				
<sup>134</sup> Cs		1.7·10 <sup>6</sup>				2.7·10 <sup>5</sup>	2.7·10 <sup>7</sup>
<sup>136</sup> Cs							
<sup>137</sup> Cs		1.0·10 <sup>8</sup>		1.0·10 <sup>6</sup>	3.1·10 <sup>7</sup>	4.5·10 <sup>6</sup>	1.0·10 <sup>9</sup>
<sup>133</sup> Ba						1.4·10 <sup>4</sup>	
<sup>140</sup> Ba							
<sup>140</sup> La							
<sup>141</sup> Ce						6.1·10 <sup>3</sup>	
<sup>177</sup> Lu						8.4·10 <sup>6</sup>	
<sup>177m</sup> Lu						1.6·10 <sup>4</sup>	
$\alpha$ -Strahler		*)	< 2.2·10 <sup>5</sup>	6.1·10 <sup>5</sup>	1.4·10 <sup>5</sup>		*)
<sup>234/238</sup> U						3.6·10 <sup>5</sup>	
<sup>239/240</sup> Pu		1.0·10 <sup>4</sup>				1.0·10 <sup>4</sup>	5.5·10 <sup>4</sup>
<sup>238</sup> Pu/ <sup>241</sup> Am		2.0·10 <sup>4</sup>				8.0·10 <sup>3</sup>	1.7·10 <sup>3</sup>
<sup>242</sup> Cm		1.9·10 <sup>4</sup>					1.9·10 <sup>3</sup>
<sup>243/244</sup> Cm							5.5·10 <sup>2</sup>
<sup>239</sup> Np						8.7·10 <sup>4</sup>	

\*) Angabe umfasst für das KKB und ZZL das 4. Quartal 2009 bis und mit dem 3. Quartal 2010

**Tabelle 3b:**

Abgaben der Kernanlagen mit der Abluft: Gase, Edelgase und Iod 2010:

Summe der bei Einzelmessungen nachgewiesenen Aktivitätsabgaben (Fussnoten siehe Ende Kap 8.1).

Nuklid	Abgaben [Bq im Jahr]					
	KKB	KKG	KKL	KKM	PSI	ZZL
$\beta/\gamma$ -Strahler						
<b>Gase, Edelgase</b>						
Tritium		$5.2 \cdot 10^{11}$	$2.9 \cdot 10^{12}$	$1.5 \cdot 10^{10}$	$1.2 \cdot 10^{12}$	$9.2 \cdot 10^{10}$
$^{11}\text{C}$					$2.6 \cdot 10^{13}$	
$^{14}\text{C}$ ( $\text{CO}_2$ )	$7.4 \cdot 10^{10}$	$9.2 \cdot 10^{10}$	$5.6 \cdot 10^{11}$	$3.9 \cdot 10^{11}$		$1.2 \cdot 10^8$
$^{13}\text{N}$					$2.7 \cdot 10^{13}$	
$^{15}\text{O}$					$1.1 \cdot 10^{14}$	
$^{18}\text{F}$					$8.6 \cdot 10^{11}$	
$^{24}\text{Ne}$					$1.4 \cdot 10^{12}$	
$^{41}\text{Ar}$				$4.3 \cdot 10^9$	$3.6 \cdot 10^{12}$	
$^{79}\text{Kr}$						
$^{85}\text{Kr}$					$2.1 \cdot 10^{12}$	
$^{85\text{m}}\text{Kr}$	$1.3 \cdot 10^{11}$			$7.0 \cdot 10^8$		
$^{87}\text{Kr}$						
$^{88}\text{Kr}$						
$^{122}\text{Xe}$						
$^{125}\text{Xe}$						
$^{127}\text{Xe}$						
$^{129\text{m}}\text{Xe}$						
$^{131\text{m}}\text{Xe}$						
$^{133}\text{Xe}$	$2.1 \cdot 10^{12}$		$1.6 \cdot 10^{10}$			
$^{133\text{m}}\text{Xe}$						
$^{135}\text{Xe}$	$1.5 \cdot 10^{12}$		$2.7 \cdot 10^{10}$	$4.9 \cdot 10^8$		
$^{135\text{m}}\text{Xe}$			$2.2 \cdot 10^9$			
$^{137}\text{Xe}$						
$^{138}\text{Xe}$			$1.1 \cdot 10^9$			
EG-Aequiv. <sup>4)</sup>				$6.5 \cdot 10^{10}$		
EG: $\beta$ -total		$1.5 \cdot 10^{13}$				
Andere	$2.0 \cdot 10^{11}$					
<b>Iod</b>						
$^{123}\text{I}$					$2.5 \cdot 10^7$	
$^{124}\text{I}$						
$^{125}\text{I}$					$1.1 \cdot 10^8$	
$^{126}\text{I}$						
$^{129}\text{I}$						
$^{131}\text{I}$	$5.0 \cdot 10^6$	$1.6 \cdot 10^8$	$5.6 \cdot 10^7$	$6.1 \cdot 10^6$		
$^{133}\text{I}$	$1.7 \cdot 10^7$					

**Tabelle 3c:**

Abgaben der Kernanlagen mit der Abluft: Aerosole 2010:

Summe der bei Einzelmessungen nachgewiesenen Aktivitätsabgaben (Fussnoten siehe Ende Kap 8.1).

Nuklid	Abgaben [Bq im Jahr]						
	β/γ-Strahler	KKB	KKG	KKL	KKM	PSI	ZZL
<sup>7</sup> Be						1.6·10 <sup>6</sup>	
<sup>22</sup> Na							
<sup>24</sup> Na						5.6·10 <sup>5</sup>	
<sup>38</sup> S						1.4·10 <sup>9</sup>	
<sup>38</sup> Cl							
<sup>39</sup> Cl						9.1·10 <sup>8</sup>	
<sup>51</sup> Cr					2.2·10 <sup>5</sup>		
<sup>54</sup> Mn				1.6·10 <sup>6</sup>	5.2·10 <sup>4</sup>		
<sup>58</sup> Co				1.2·10 <sup>5</sup>	4.2·10 <sup>4</sup>		
<sup>60</sup> Co			8.7·10 <sup>4</sup>	2.6·10 <sup>6</sup>	5.1·10 <sup>5</sup>	9.8·10 <sup>5</sup>	5.3·10 <sup>3</sup>
<sup>65</sup> Zn				2.5·10 <sup>6</sup>			
<sup>75</sup> Se						6.2·10 <sup>3</sup>	
<sup>77</sup> Br						1.4·10 <sup>6</sup>	
<sup>82</sup> Br						5.3·10 <sup>8</sup>	
<sup>89</sup> Sr			4.8·10 <sup>3</sup>				
<sup>90</sup> Sr			2.8·10 <sup>4</sup>				
<sup>95</sup> Zr							
<sup>95</sup> Nb			3.6·10 <sup>3</sup>				
<sup>99m</sup> Tc						2.0·10 <sup>7</sup>	
<sup>103</sup> Ru							
<sup>110m</sup> Ag							
<sup>123m</sup> Te							
<sup>125</sup> Sb							
<sup>131</sup> I (Aerosol)				1.8·10 <sup>6</sup>	2.9·10 <sup>4</sup>		
<sup>134</sup> Cs							
<sup>137</sup> Cs					1.2·10 <sup>5</sup>		
<sup>140</sup> Ba				3.2·10 <sup>5</sup>	4.9·10 <sup>4</sup>		1.1·10 <sup>4</sup>
<sup>140</sup> La				3.5·10 <sup>5</sup>			
<sup>181</sup> Re						8.1·10 <sup>7</sup>	
<sup>182</sup> Re						2.1·10 <sup>8</sup>	
<sup>182m</sup> Re						5.1·10 <sup>6</sup>	
<sup>183</sup> Re						2.4·10 <sup>6</sup>	
<sup>183</sup> Os						2.5·10 <sup>8</sup>	
<sup>183m</sup> Os						6.4·10 <sup>8</sup>	
<sup>185</sup> Os						1.9·10 <sup>7</sup>	
<sup>191</sup> Os						3.3·10 <sup>4</sup>	
<sup>185</sup> W						3.2·10 <sup>9</sup>	
<sup>191</sup> Pt						4.1·10 <sup>7</sup>	
<sup>192</sup> Au						2.6·10 <sup>9</sup>	
<sup>193</sup> Au						1.8·10 <sup>8</sup>	
<sup>194</sup> Au						3.7·10 <sup>5</sup>	
<sup>195</sup> Au						3.5·10 <sup>7</sup>	
<sup>192</sup> Hg						1.1·10 <sup>9</sup>	
<sup>193</sup> Hg							
<sup>193m</sup> Hg						3.4·10 <sup>8</sup>	
<sup>194</sup> Hg						3.7·10 <sup>5</sup>	
<sup>195</sup> Hg						1.2·10 <sup>10</sup>	
<sup>195m</sup> Hg						1.4·10 <sup>8</sup>	
<sup>197</sup> Hg							
<sup>197m</sup> Hg						1.4·10 <sup>8</sup>	
<sup>203</sup> Hg						6.5·10 <sup>6</sup>	
Nicht spezifizerte		3.0·10 <sup>5</sup>					
α-Aerosole		5.0·10 <sup>3</sup>	4.9·10 <sup>4</sup>	7.2·10 <sup>4</sup>	8.2·10 <sup>4</sup>		1.7·10 <sup>4</sup>

8.1 Emissionen aus den Kernanlagen - @BAG 2011

### Fussnoten zu den Tabellen 1 bis 3

[1] **Abgabelimiten** gemäss Bewilligung der jeweiligen Kernanlage. Die Abgabelimiten wurden so festgelegt, dass die Jahresdosis für Personen in der Umgebung (vgl. Fussnote 3) für die Kernkraftwerke unter 0.3 mSv/Jahr respektive das Zentrale Zwischenlager in Würenlingen (ZZL) unter 0.05 mSv/Jahr bleibt. Für das Paul Scherrer Institut (PSI) sind die Abgaben gemäss Bewilligung 6/2003 direkt über den quellenbezogenen Dosisrichtwert von 0.15 mSv/Jahr limitiert.

[2] Die **Messung der Abgaben** erfolgt nach den Erfordernissen der Reglemente «für die Abgaben radioaktiver Stoffe und die Überwachung von Radioaktivität und Direktstrahlung in der Umgebung des...» jeweiligen Kernkraftwerkes resp. des ZZL oder PSI. Die Messgenauigkeit beträgt ca.  $\pm 50\%$ . Abgaben unterhalb 0.1% der Jahresabgabelimite werden vom ENSI als nicht-relevant betrachtet. Abgaben kleiner tausend Bq werden nicht ausgewiesen.

[3] Die **Jahresdosis** ist für Personen berechnet, die sich dauernd am kritischen Ort aufhalten, ihre gesamte Nahrung von diesem Ort beziehen und ihren gesamten Trinkwasserbedarf aus dem Fluss unterhalb der Anlage decken. Die Dosis wird mit den in der Richtlinie ENSI-G14 angegebenen Modellen und Parametern ermittelt. Dosiswerte kleiner als 0.001 mSv – entsprechend einer Dosis, die durch natürliche externe Strahlung in ca. zehn Stunden akkumuliert wird – werden in der Regel nicht angegeben. Beim PSI wird die Jahresdosis der Gesamtanlage als Summe über die Abgabestellen gebildet.

[4] Bei der **Art der Abgaben** resp. den **Tatsächlichen Abgaben** ist folgendes zu präzisieren:

**Abwasser:** Die Radioaktivität ist beim Vergleich mit den Abgabelimiten in Bq/Jahr normiert auf einen Referenz-LE-Wert von 200 Bq/kg angegeben. Die LE-Werte für die einzelnen Nuklide sind dem Anhang 3 der Strahlenschutzverordnung (StSV) entnommen. Ein LE-Wert von 200 Bq/kg entspricht einem Referenz-Nuklid mit einem Ingestions-Dosisfaktor von  $5 \cdot 10^{-8}$  Sv/Bq. Die unnormierte Summe der Abwasserabgaben ist in einer weiteren Spalte angegeben.

**Edelgase:** Die Radioaktivität ist beim Vergleich mit den Abgabelimiten in Bq/Jahr normiert auf einen Referenz-CA-Wert von  $2 \cdot 10^5$  Bq/m<sup>3</sup> angegeben. Die CA-Werte für die Edelgasnuklide sind dem Anhang 3 der Strahlenschutzverordnung (StSV) entnommen. Ein CA-Wert von  $2 \cdot 10^5$  Bq/m<sup>3</sup> entspricht einem Referenz-Nuklid mit einem Immersions-Dosisfaktor von  $4.4 \cdot 10^{-7}$  (Sv/Jahr)/

(Bq/m<sup>3</sup>). Die unnormierte Summe der Edelgasabgaben ist in einer weiteren Spalte angegeben.

Beim KKG wird für die Bilanzierung der Edelgase eine  $\beta$ -total-Messung durchgeführt; für die Aequivalent-Umrechnung wurde in diesem Fall ein Gemisch von 80% <sup>133</sup>Xe, 10% <sup>135</sup>Xe und 10% <sup>88</sup>Kr angenommen.

**Gase:** Beim PSI handelt es sich dabei vorwiegend um die Nuklide <sup>11</sup>C, <sup>13</sup>N, <sup>15</sup>O und <sup>41</sup>Ar. Deren Halbwertszeiten sind kleiner als zwei Stunden. Hier ist für die einzelnen Abgabestellen und das gesamte PSI die Summe der Radioaktivität dieser Gase und Edelgase ohne Normierung auf einen Referenzwert angegeben. Für die Gesamtanlage wird zusätzlich auch die auf den Referenz-CA-Wert von  $2 \cdot 10^5$  Bq/m<sup>3</sup> normierten Abgabe aufgeführt.

**Aerosole:** Hier ist in jedem Fall die Summe der Radioaktivität ohne Normierung auf einen Referenzwert angegeben.

Der Dosisbeitrag von Aerosolen mit Halbwertszeiten kleiner 8 Tagen ist bei den Kernkraftwerken vernachlässigbar. Beim KKM ergibt sich der Hauptbeitrag zur Dosis durch die Strahlung der abgelagerten Aerosole, die im Jahre 1986 durch eine unkontrollierte Abgabe in die Umgebung gelangten. Der Dosisbeitrag der Aerosole, welche im Berichtsjahr abgegeben wurden, ist dem gegenüber vernachlässigbar und liegt in der Grössenordnung der anderen schweizerischen Kernkraftwerke.

**Iod:** Bei den Kernkraftwerken ist die Abgabe von <sup>131</sup>I limitiert; somit ist bei den tatsächlichen Abgaben auch nur dieses Iod-Isotop angegeben. Beim PSI, bei dem andere Iod-Isotope in signifikanten Mengen abgegeben werden, ist die Abgabe für die einzelnen Abgabestellen und die Gesamtanlage als Summe der Aktivität der gemessenen Iod-Nuklide angegeben. Für die Gesamtabgabe wird zudem auch ein <sup>131</sup>Iod-Aequivalent als gewichtete Summe der Aktivität der Iod-Nuklide angegeben, wobei sich der Gewichtungsfaktor aus dem Verhältnis des Ingestionsdosisfaktors des jeweiligen Nuklides zum Ingestionsdosisfaktor von <sup>131</sup>I ergibt. Die Ingestionsdosisfaktoren sind der StSV entnommen. Für die Berechnung der Jahresdosis werden sowohl für die KKW wie für das PSI immer sämtliche verfügbaren Iod-Messungen verwendet, d.h. es ist beispielsweise für KKB auch der Beitrag von <sup>133</sup>I berücksichtigt.

**Kohlenstoff <sup>14</sup>C:** In den Tabellen ist der als Kohlendioxid vorliegende Anteil des <sup>14</sup>C, der für die Dosis relevante ist, angegeben. Die für <sup>14</sup>C angegebenen Werte basieren bei allen Werken auf aktuellen Messungen.

[5] Siehe Tabellen 3a - c.

## 8.2 Ortsdosis und Ortsdosisleistung in der Umgebung der Kernanlagen

**F. Cartier, B. Bucher, A. Leupin**

Eidg. Nuklearsicherheitsinspektorat, Industriestrasse 19, 5200 Brugg

Die Ortsdosis, respektive die Ortsdosisleistung durch externe Strahlung werden in der Umgebung der Kernanlagen und des PSI mit dem MADUK-Messnetz (siehe Kapitel 8.3), und mit Thermolumineszenzdosimetern (TLD) in der Umgebung sowie am Arealzaun überwacht. Zusätzlich dazu führt das ENSI vierteljährlich stichprobenweise Dosisleistungsmessungen am Arealzaun sowie bei Bedarf spezielle Messkampagnen durch. Die gemessenen Maximalwerte lagen allesamt unter den Immissionsgrenzwerten für die Direktstrahlung ausserhalb des Betriebsareals von 1 mSv pro Jahr für Wohn-, Aufenthalts- und Arbeitsräume und von 5 mSv pro Jahr für andere Bereiche nach Art. 102 Absatz 3 der Strahlenschutzverordnung.

Die Ortsdosisleistung ist im Nahbereich der Siedewasserreaktoren in Mühleberg und in Leibstadt durch Direkt- und Streustrahlung aus dem Maschinenhaus erhöht. Diese Strahlung resultiert aus dem radioaktiven Zerfall des kurzlebigen Stickstoffnuklids  $^{16}\text{N}$ , welches im Reaktor produziert und bei Siedewasserreaktoren mit dem Dampf in die Turbine im Maschinenhaus getragen wird. Des weitern können Abfalllager zu einer erhöhten Ortsdosis am Zaun beitragen.

Am Zaun des KKM wurden bei stichprobenweise, vierteljährlich vom ENSI durchgeführten Messungen Dosisleistungen zwischen etwa  $0.08 \mu\text{Sv/h}$  (natürlicher Untergrund) und  $0.38 \mu\text{Sv/h}$  ermittelt. Die vom KKM ausgewerteten Thermolumineszenz-Dosimeter (TLD) am Zaun ergeben für das Berichtsjahr nach Subtraktion des natürlichen Untergrundes von ca. 0.7 mSv eine Dosiserhöhung von 0.7 mSv.

Am Zaun des KKL wurden bei vierteljährlichen Stichproben des ENSI während des Leistungsbetriebes Ortsdosisleistungen zwischen  $0.06 \mu\text{Sv/h}$  (natürlicher Untergrund) und  $0.17 \mu\text{Sv/h}$  ermittelt.

Dies entspricht nach Abzug des Untergrundes und unter Berücksichtigung der Betriebszeit am meist exponierten Ort einer Dosiserhöhung von ca. 0.9 mSv pro Jahr. Die höchste, mit den TLD am Zaun ermittelte Jahresdosis (nach Abzug des natürlichen Untergrundes von 0.6 mSv) beträgt 0.7 mSv.

Auf Grund der stichprobenweise vom ENSI gemessenen Ortsdosisleistung am Zaun des Paul Scherrer Instituts, Areal Ost ergibt sich hochgerechnet auf ein Jahr eine Ortsdosis von 0.7 mSv ohne natürlichen Untergrund. Im Jahr 2010 betrug der höchste, mit einem Thermolumineszenz-Dosimeter (TLD) am Zaun des PSI ermittelte Wert ca. 0.2 mSv (ohne natürlichem Untergrund von ca. 0.6 mSv). Der zugehörige Messpunkt liegt beim Betriebsgebäude für Radioaktive Abfälle des PSI-Ost.

Beim KKB, KKG und beim Zentralen Zwischenlager Würenlingen (ZZL) wurde am Zaun weder mittels TLD noch bei den vierteljährlichen Stichproben des ENSI eine signifikante Erhöhung der Ortsdosis über dem natürlichen Untergrund festgestellt.

Die Immissionsgrenzwerte für die Direktstrahlung ausserhalb des Betriebsareals von 1 mSv pro Jahr für Wohn-, Aufenthalts- und Arbeitsräume und von 5 mSv pro Jahr für andere Bereiche nach Art. 102 Absatz 3 der Strahlenschutzverordnung wurden auch im Berichtsjahr von allen Anlagen eingehalten.

## 8.3

# Messnetz zur automatischen Dosisleistungsüberwachung in der Umgebung der Kernkraftwerke (MADUK)

**F. Cartier, B. Bucher, A. Leupin**

Edg. Nuklearsicherheitsinspektorat, Industriestrasse 19, 5200 Brugg

### Zusammenfassung

Das MADUK-System (Messnetz zur automatischen Dosisleistungsüberwachung in der Umgebung der Kernkraftwerke) inklusive der Einrichtungen zur Übernahme von Anlageparametern (ANPA) und Kaminemissionswerten aus den Kernkraftwerken wurde im Laufe des Jahres 1993 aufgebaut und ab Frühling 1994 in den operationellen Betrieb überführt. Da das System die Dosisleistung in der Umgebung der Kernkraftwerke ganzjährig rund um die Uhr misst und überwacht, dient es der Beweissicherung für die Behörden und gegenüber der Öffentlichkeit. Ebenso ermöglicht es das Erkennen von Betriebsstörungen und Unfällen, da Erhöhungen gegenüber den natürlichen Dosiswerten im ENSI automatisch angezeigt werden. Bei einem Störfall unterstützt MADUK die Notfallorganisation bei der Bestimmung des betroffenen Gebietes, der Einschätzung der möglichen Massnahmen und durch den schnellen Datenaustausch mit Behörden.

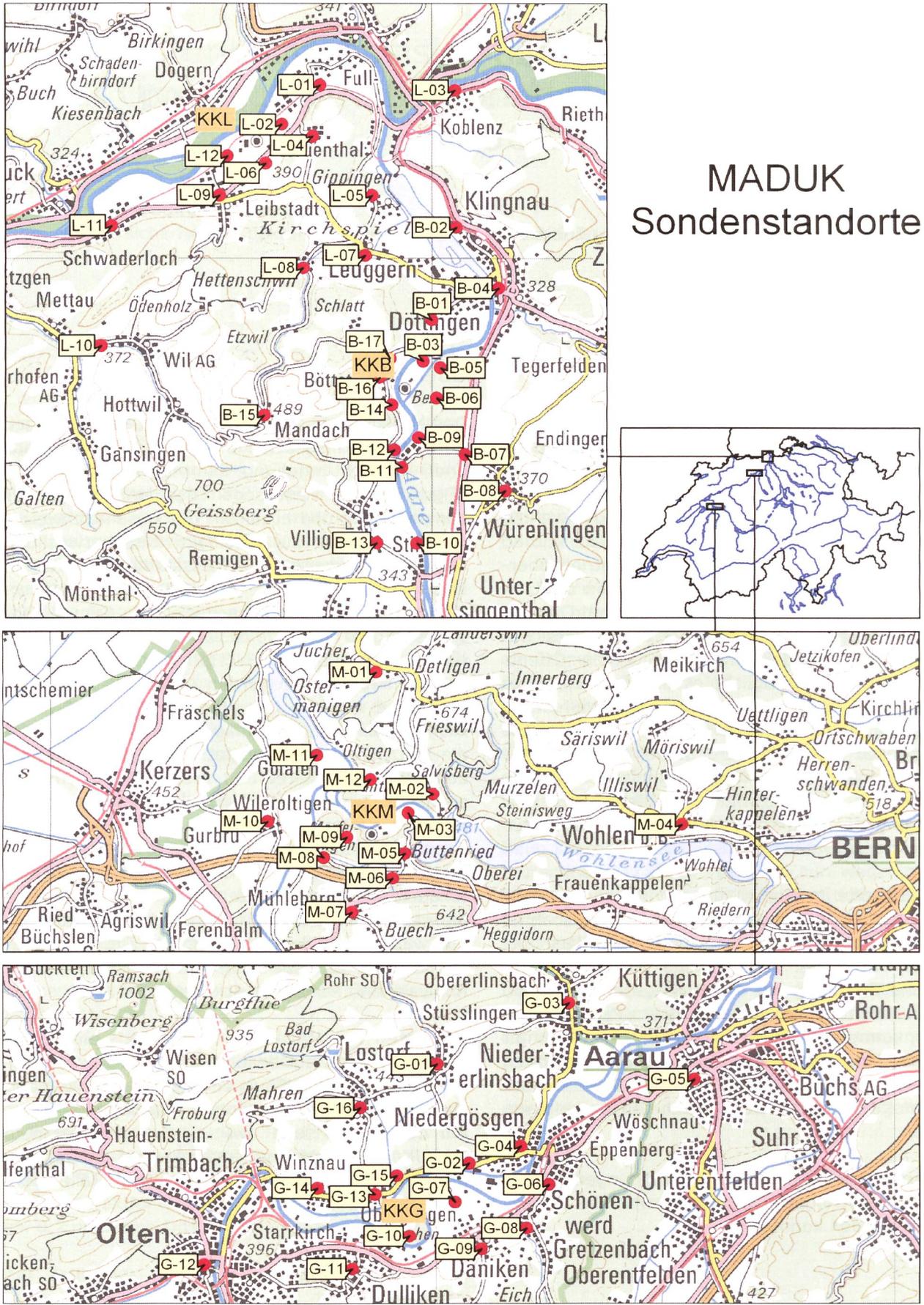
Die Messwerte im Jahr 2010 lagen im üblichen Rahmen wie in früheren Jahren. Mit einer Ausnahme waren alle registrierten Erhöhungen auf Washout-Effekte natürlicher Radionuklide zurückzuführen. Für eine Erhöhung bei der Messstation M-04, die sich in unmittelbarer Nähe zu einem Parkplatz befindet, konnte die Ursache nicht eindeutig bestimmt werden. Aufgrund der 1-Minutendaten, der Daten der anderen Messstationen und den Emissionsdaten von KKM kann KKM als Ursache ausgeschlossen werden.

Es wurden keine Dosisleistungserhöhungen festgestellt, die auf Abgaben der Kernkraftwerke zurückgeführt werden konnten.

### Übersicht

Das MADUK-Netz zur Messung der Dosisleistungen besteht aus insgesamt 57 Immissionsmessstationen in der Umgebung der vier Kernkraftwerke (Figur 1). Die Messsonden des MADUK-Systems komplettieren und ergänzen das gesamtschweizerische Messnetz zur Radioaktivitätsüberwachung NADAM, das weitere 63 Messstationen - verteilt über die ganze Schweiz - zählt. Die Geiger-Müller-Zählrohre in den Sonden ermitteln die Gamma-Dosisleistung im Messbereich von 10 nSv/h (Niederdosiszählrohre) bis 10 Sv/h (Hochdosiszählrohr). Von den Kernkraftwerken werden Kaminemissionswerte (EMI) und wichtige Anlagenparameter (ANPA) der Primär- und Sekundäranlage übernommen und in die MADUK-Zentrale geleitet. Die MADUK-Zentrale des ENSI verarbeitet und archiviert die Immissionsdaten, sorgt im Bedarfsfall für eine sofortige Alarmierung der ENSI-Notfallorganisation und sichert die Immissionsdaten langfristig. Des Weiteren sorgen verschiedene Subsysteme für den Datenaustausch mit den externen Partnern: Nationale Alarmzentrale (NAZ) in Zürich und Kernreaktorfernüberwachung Baden-Württemberg. Die Subsysteme beliefern auch das System Accident Diagnostics, Analysis, and Management (ADAM) im ENSI.

Die Daten von MADUK können mittels einer speziellen Software auf bestimmten Windows-Arbeitsplatzrechnern im ENSI, in den Kernkraftwerken und im Bundesamt für Gesundheit visualisiert werden. Auf der Internetseite [www.ensi.ch](http://www.ensi.ch) unter Messnetz MADUK/Messwerte Radioaktivität sind die Tages-, Stunden- und Zehnminutenmittelwerte aller MADUK-Stationen abrufbar.



## MADUK Sondenstandorte

**Figur 1:**  
Übersicht über die Sondenstandorte des Messnetzes MADUK.

8.3 Messnetz zur automatischen Dosisleistungsüberwachung in der Umgebung der Kernkraftwerke - @BAG 2011

## Systeminstandhaltung und -ergänzung

Im Jahr 2010 konnte der Umzug der MADUK-Zentrale vom alten Standort in Villigen nach Brugg erfolgreich und mit sehr kurzen Betriebsunterbrüchen von weniger als drei Stunden abgeschlossen werden.

Im Verlauf des ersten Halbjahres wurde beim Datenexport an die NAZ und ans KFÜ Baden-Württemberg die verwendeten Datenformate auf den aktuellen Versionsstand gebracht. In der zweiten Jahreshälfte wurden die ANPA/EMI-Datenflüsse so angepasst, dass die Netzwerksicherheit verbessert und die Datenverarbeitung in der Zentrale vereinfacht wurden. Zudem wurden die Ergebnisse der atmosphärischen Ausbreitungsrechnungen im Ereignisfall in GIS-fähigem Format in die Bedienoberfläche für den Pikett des ENSI integriert.

Schliesslich wurde in einem Detailkonzept die Migration des heutigen Zentralsystems auf UNIX-Basis in die Windows-Welt beschrieben. Damit wurde die Grundlage für die komplette Erneuerung der MADUK-Zentrale in den nächsten Jahren geschaffen.

## Systemverfügbarkeit und Störungen

Die Systemverfügbarkeit ist bei MADUK von besonderer Bedeutung, da das System eine kontinuierliche Überwachung gewährleisten muss, die auch von der Öffentlichkeit wahrgenommen wird. Mit der Kenngrösse ‚Systemverfügbarkeit‘ wird die Einsatztauglichkeit des Gesamtsystems MADUK beurteilt: Systemstörungen, die zu wesentlichen Nutzungseinschränkungen geführt haben, werden als Ausfallzeit in Stunden erfasst.

Die im 2008 eingebrachte neue Stationselektronik lief im 2010 äusserst zuverlässig. Es war nur ein blockierter Datenlogger zu verzeichnen, der einen Datenverlust von 9 Stunden verursachte. An den Stationen L-12 (defektes Niederdosiszählrohr) und L-09 (defektes Hochdosiszählrohr) mussten die Sonden ausgetauscht werden.

Beim Umzug der MADUK-Zentrale vom Standort Villigen nach Brugg kam es im Februar zu zwei kurzen Unterbrüchen von insgesamt 2.4 Stunden. In der übrigen Zeit stand MADUK der internen Notfallorganisation zur Verfügung.

**Tabelle 1:**

Auflistung der Störungen bei den MADUK-Messstationen.

Station	Störungsdauer [h]	Permanenter Datenverlust [h]	Bemerkung
B-11	9.0	9.0	Ausfall Datenlogger
M-10	5.0	-	Blockierter Funkrouter
B-03, B-05, B-06, B-09, B-11, B-12	2.0	-	Grossstörung Swisscom-Netz Raum Würenlingen
L-03	120.5	-	Beschädigung Kommunikationskabel bei Umbauarbeiten
G-03	6.5	-	Kommunikationsunterbruch
L-10	1.7	-	Kommunikationsunterbruch
B-14	1.2	-	Kommunikationsunterbruch
M-03, M-05, M-06, M-07, M-09	1.0	-	Grossstörung Swisscom-Netz Raum Mühleberg
G-03	1.8	-	Kommunikationsunterbruch
L-10	5.7	-	Kommunikationsunterbruch
M-12	149.2	149.2	Stromunterbruch infolge Besitzerwechsels am Standort
G-03	2.2	-	Kommunikationsunterbruch
M-12	6.0	-	Kommunikationsunterbruch
L-01	13.2	-	Defekter DSL-Router infolge Blitzschlags
M-12	7.2	-	Kommunikationsunterbruch
M-04	4.2	-	Kommunikationsunterbruch
G-05	1.2	-	Kommunikationsunterbruch
B-04	1.5	-	Datenlogger
B-05	2.5	-	Umbauarbeiten
B-07	17.0	17.0	Stromausfall
B-04	104.8	104.8	Verlegung Sondenstandort

Wartungsarbeiten und eine defekte Festplatte des zentralen Disksystems verursachten Ausfälle der MADUK-Zentrale von insgesamt 24.6 Stunden. Ein Problem bei der Vorbelegung des Kurzzeitarchivs verhinderte Ende Jahr während 121 Stunden die Archivierung der ANPA-Daten. Die Daten standen aber für das Analyse-Tool ADAM jederzeit zur Verfügung.

Im dritten und vierten Quartal fiel der Datenimport und -export während insgesamt rund 7 Stunden aus. Weitere relevante Störungen mit der Dauer von etwa einem Tag waren beim Datenimport von der Kernreaktorfernüberwachung Baden-Württemberg zu verzeichnen.

Die Tabelle 1 gibt eine Übersicht über die Störungen an den Messstationen mit Störungsdauer, permanentem Datenverlust und Ursache der Störung.

Die Jahresverfügbarkeit des Gesamtsystems MADUK lag im Jahr 2010 bei 99.7%. Die Datenverfügbarkeit im Archiv für alle MADUK-Stationen beträgt für das Jahr 2010 99.94%.

### Qualitätssicherung

Die Aufgaben im Bereich der Qualitätssicherung basieren auf dem Qualitätsmanagementsystem des ENSI. Dadurch ist gewährleistet, dass alle Aufgaben im Zusammenhang mit dem Betrieb, der Wartung und der Instandhaltung/Erneuerung qualitativ gestützt und nachvollziehbar bearbeitet werden. Die wesentlichen qualitätssichernden Massnahmen werden im Folgenden beschrieben.

In Anlehnung an die „Empfehlungen zur Sicherstellung der Messdatenqualität von Umgebungs-dosimetriesystemen“ der Eidgenössischen Kommission für Strahlenschutz und Überwachung der Radioaktivität vom 24. November 2004 werden die MADUK Sonden vor einem ersten Einsatz geeicht. Die Eichung hat eine dreijährige Gültigkeit. Das Messverhalten der Sonden wird zwischen den Eichungen mit halbjährlichen Genauigkeitstests geprüft. Bei den Genauigkeitstests werden mit Hilfe einer Prüfquelle die Resultate der Niederdosis- und Hochdosis-Zählrohre überprüft. Mit einer 460 kBq <sup>137</sup>Cs-Quelle werden erhöhte Werte bei jeder Sonde während ca. 40 Minuten produziert und mit Sollwerten verglichen. Gleichzeitig wird diese Sonden-funktionskontrolle auch für die Überprüfung der Datenübermittlung, der korrekten Archivierung sowie der Alarmauslösung gemäss den festgelegten Schwellwerten benutzt. Im Jahr 2010 wurden zwei Funktionskontrollen durchgeführt. Diese zeigten die

einwandfreie Funktion aller Sonden. Die Archivierung funktionierte ebenfalls einwandfrei. Bei der Alarmierung konnten am frühen Morgen des 20. August keine Pager-Meldungen abgesetzt werden. Die Meldungen im restlichen Zeitraum der Funktionsprüfungen wurden korrekt abgesetzt.

Als weitere qualitätssichernde Massnahme werden Messungen mittels in-situ-Gammaspektrometrie im Feld durchgeführt. 2010 wurden Messungen an den Sondenstandorten der Messringe Beznau und Mühleberg durchgeführt. Die Messwerte lagen im Bereich der früheren Jahre.

### Messergebnisse

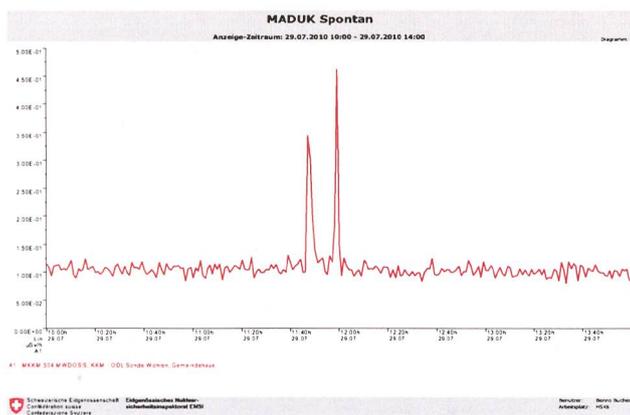
Erhöhte Ortsdosisleistungswerte, die auf Abgaben der Kernkraftwerke zurückzuführen waren, wurden keine festgestellt.

In Rahmen der jährlichen Überprüfungskampagne der NADAM Sonden wurde beim Personalrestaurant des PSI durch die dort positionierte MADUK-Station B-11 für eine halbe Stunde erhöhte Werte registriert. Das heisst, die Maduksonde sieht die bei der NADAM-Eichung verwendete <sup>137</sup>Cs Quelle. Der Maximalwert betrug 3.27 µSv/h. An den übrigen NADAM-Standorten, an denen sich auch MADUK-Sonden befinden, wird eine Ringquelle für die Überprüfung benutzt. Diese verursacht keine wesentlichen Erhöhungen an den MADUK-Sonden.

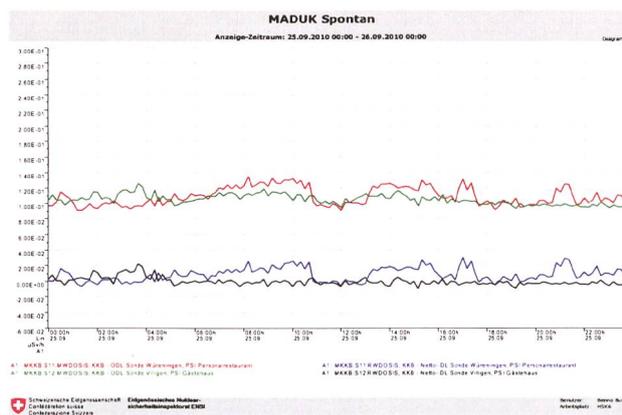
**Tabelle 2:**  
Auflistung der Nettodosisleistungsschwellwertüberschreitungen im Jahr 2010.

Datum	Station	Dauer [h]	Max. NDL [nSv/h]	Max. ODL [nSv/h]
25. 01. 17:50	L-06	0.7	63	160
09. 02. 23:00	L-06	0.2	51	152
13. 05. 19:40	L-06	0.3	55	148
04. 07. 04:00	B-11	0.5	78	206
04. 07. 04:00	B-12	0.5	83	215
12. 07. 18:50	M-04	0.5	60	163
22. 07. 00:20	L-03	0.8	56	189
29. 07. 11:50	M-04	0.3	63	162

In der Tabelle 2 sind alle Ereignisse aufgelistet, bei denen der Nettodosisleistungsschwellwert von 50 nSv/h überschritten wurde. Alle registrierten Erhöhungen mit Ausnahme der Erhöhung vom 29. Juli bei der Station M-04 waren auf Washout-Effekte in der Folge lokal begrenzter Starkregen zurückzuführen. Ein Zusammenhang mit dem Betriebsverhalten der Kernanlagen konnte nicht hergestellt werden.



**Figur 2:**  
Verlaufskurve der 1-Minutenwerte ODL Werte der Station M-04 am 29.7.2010 zwischen 10:00 und 14:00 Uhr.



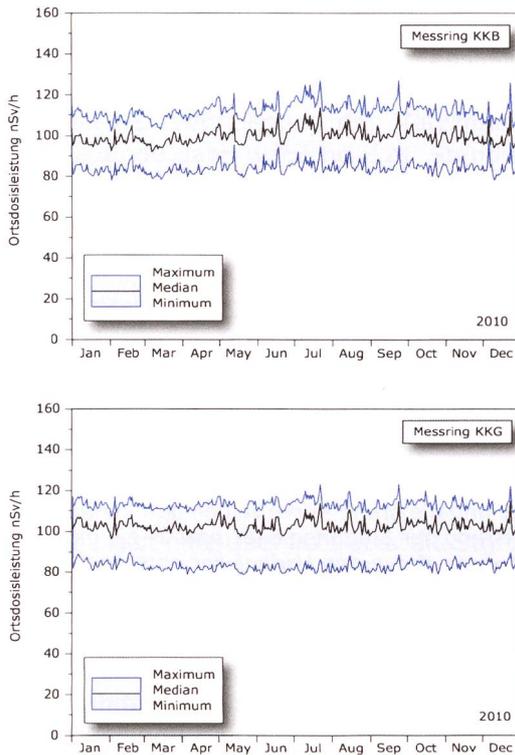
**Figur 3:**  
Die rote und die grüne Kurve zeigen den Verlauf der Ortsdosisleistung der Stationen B-11 bzw. B-12, die blaue und die schwarze Kurve den Verlauf der entsprechenden Nettodosisleistungen.

Am 29. Juli zwischen 11:50 und 12:00 Uhr wurde an der Station M-04 während 20 Minuten der Nettodosisleistungsschwellwert von 50 nSv/h verletzt. Die maximale Nettodosisleistung betrug 63 nSv/h und die maximale Ortsdosisleistung 162 nSv/h. Der Verlauf der Ortsdosisleistung wies nicht auf einen Washouteffekt hin. Eine Analyse der 1-Minutenmesswerte zeigte (Figur 2) zwei sehr kurze Peaks um 11:47-11:48 (343 bzw. 301 nSv/h) und 11:59 Uhr (461 nSv/h). Da sich die Sonde in der Nähe eines Parkplatzes befindet, könnte die Ursache der Erhöhung in den Bewegungen auf dem Parkplatz zu finden sein (Radioaktiver Transport, Person aus Radiotherapie).

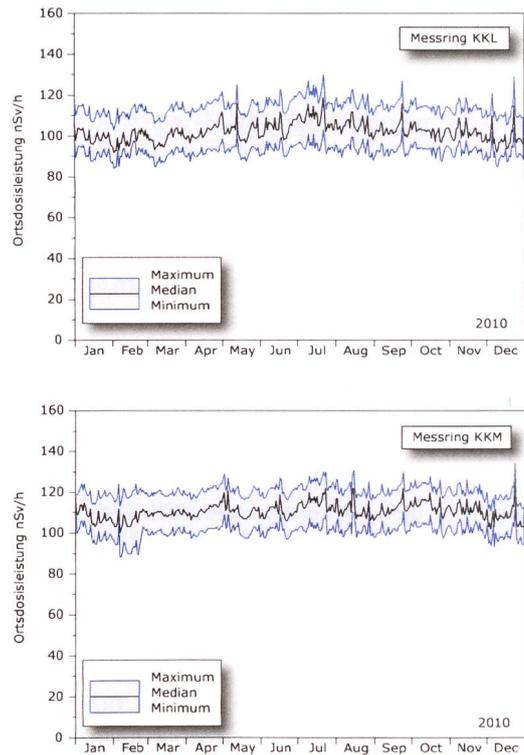
Bei den Stationen B-11 (PSI Personalrestaurant Oase) und B-12 (PSI Gästehaus) wurden aufgrund der besseren Sondentechnik vermehrt bei bestimmten Wetterlagen erhöhte Ortsdosisleistungen gemessen (Figur 3). Die entsprechenden Nettodosisleistungen erreichten teilweise mehr als 20 nSv/h. Die Erhöhungen sind nicht auf Washout natürlicher Radionuklide zurückzuführen. Zusätzliche Messungen des PSI mit einer Reuter-Stokes Ionisationskammer und hochauflösender Gammaskopie bestätigten die Messwerte. Mit diesen Messungen konnten die Abgaben über die Fortluftanlage des PSI-West anhand der Gammalinie bei 511 keV als Ursache für die Erhöhungen identifiziert werden. Diese Gammalinie tritt bei den kurzlebigen Positronenstrahlern auf, die den Hauptanteil der Abgaben beim PSI-West ausmachen. Die Ergebnisse wurden in einer technischen Mitteilung des Paul Scherrer Instituts dokumentiert.

Das Beispiel zeigt, dass mit der Methode der Nettodosisleistung bereits geringe und aus der Sicht des Strahlenschutzes unbedeutende Erhöhungen erkannt werden können.

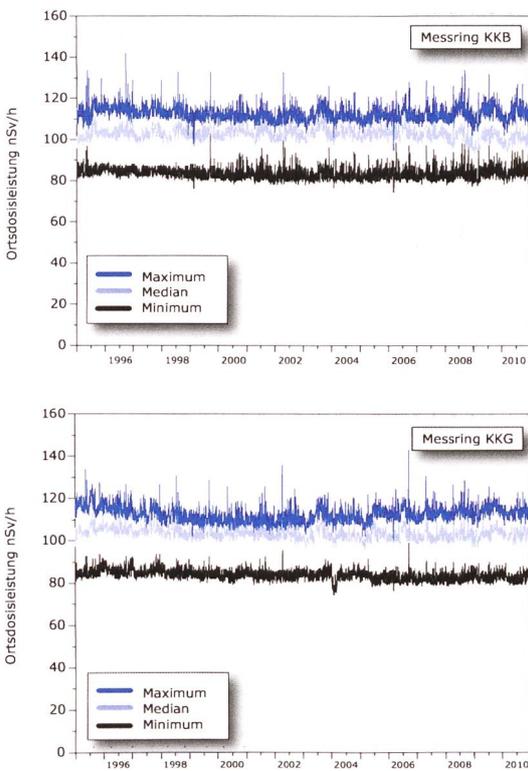
Die Figuren 4 und 5 zeigen die Maxima, die Minima und die Mediane der Tagesmittelwerte im Berichtsjahr in den Umgebungen der Kernkraftwerke. Die Werte liegen im normalen Schwankungsbereich der letzten 16 Jahre (Figuren 6 und 7).



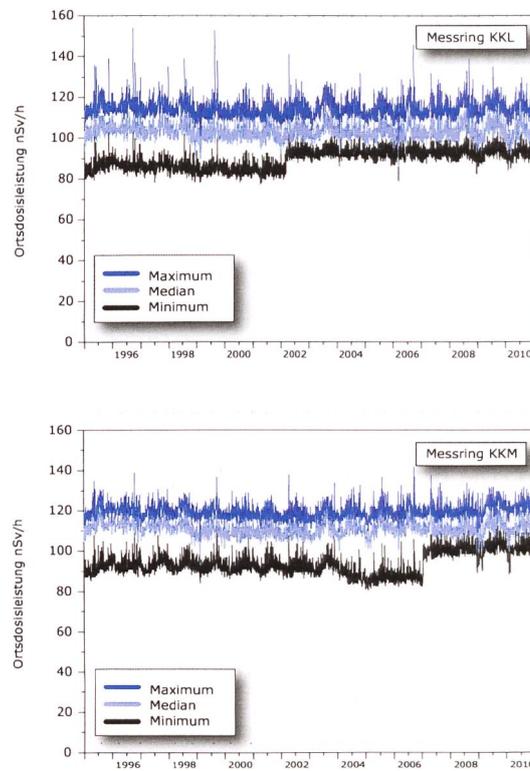
**Figur 4:** Wertebereiche aus Tagesmittelwerten für die Messringe KKB, KKG.



**Figur 5:** Wertebereiche aus Tagesmittelwerten für die Messringe KKL, KKM.



**Figur 6:** Wertebereiche aus Tagesmittelwerten für die Messringe KKB und KKG für die Jahre 1995 bis 2010.



**Figur 7:** Wertebereiche aus Tagesmittelwerten für die Messringe KKL und KKM für die Jahre 1995 bis 2010. Die Sprünge in den Minima-Werten sind darauf zurückzuführen, dass Sonden, die sich auf Dächern befanden, auf den Boden versetzt wurden (bei KKL bei der Station L-05, bei KKM bei der Station M-04).

## 8.4

## Überwachung des zentralen Zwischenlagers (ZWILAG)

**J. Eikenberg, M. Jäggi, H. Beer, C. Parussudis, I. Zumsteg**

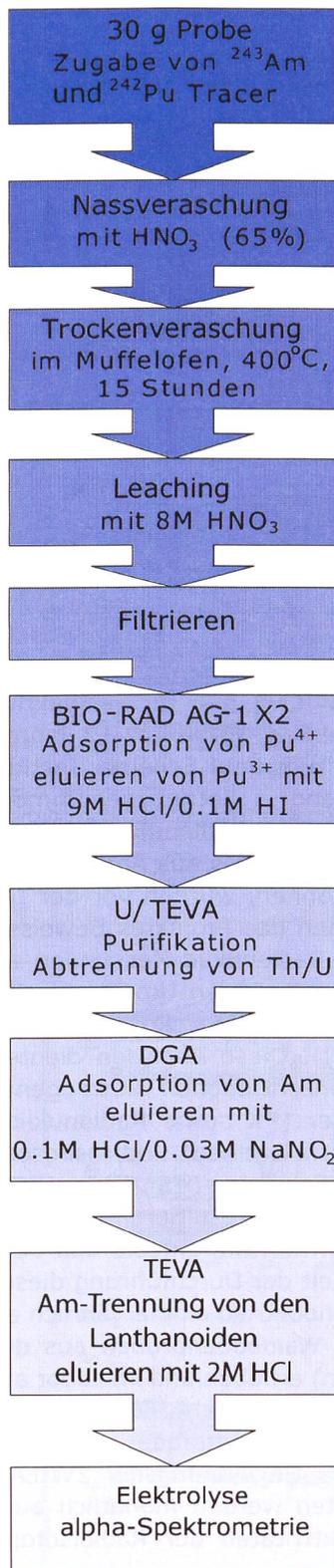
Paul Scherrer Institut, 5232 Villigen

### Zusammenfassung

Im Rahmen der Immissionsüberwachung führt das PSI seit 14 Jahren Radionuklidmessungen sowohl an Waldbodenproben als auch an Staubfangplatten aus der Umgebung des Zwischenlagers für radioaktive Abfälle (ZWILAG Würenlingen) durch. Das Vaseline auf den Staubfangplatten wird  $\gamma$ -spektrometrisch ausgewertet ( $^{241}\text{Am}$ ,  $^{137}\text{Cs}$ ). Bei den Bodenproben folgt nach der  $\gamma$ -spektrometrischen Messung eine radiochemische Trennung zur Bestimmung reiner  $\alpha$ - und  $\beta$ -Strahler ( $^{90}\text{Sr}$ ,  $^{238}\text{Pu}$ ,  $^{239+240}\text{Pu}$ ,  $^{241}\text{Am}$ ,  $^{244}\text{Cm}$ ). Die typischen Aktivitätskonzentrationen von  $^{239+240}\text{Pu}$  liegen zwischen 0.2 und 0.8 Bq/kg, diejenigen von  $^{241}\text{Am}$  zwischen 0.1 und 0.3 Bq/kg. In Spuren ist noch  $^{238}\text{Pu}$  nachweisbar (0.01 - 0.03 Bq/kg), während die Werte für fissiogenes  $^{90}\text{Sr}$  etwas höher sind (2 - 5 Bq/kg). Signifikant darüber liegen die Resultate für  $^{137}\text{Cs}$  (30 - 70 Bq/kg). Die konstanten Isotopenverhältnisse von  $^{238}\text{Pu}/^{239+240}\text{Pu}$  (ca. 0.03) und  $^{241}\text{Am}/^{239+240}\text{Pu}$  (ca. 0.4) zeigen deutlich, dass die gemessenen Werte für die Aktiniden den oberirdisch durchgeführten Kernwaffentests vor ca. 50 Jahren zuzuschreiben sind. Auf den Staubfangplatten konnten keine künstlichen Radionuklide nachgewiesen werden.

### Einleitung

Das Zwischenlager (ZWILAG AG) für radioaktive Abfälle aus Kernkraftwerken wurde vor 12 Jahren in unmittelbarer Nähe zum Paul Scherrer Institut erstellt und anschliessend in Betrieb genommen. Um potentielle, geringfügige Radionuklid-Emissionen in der Umgebung des Areals aus Abgaben der Anlage feststellen zu können, wurden vor der Inbetriebnahme im Rahmen des Projektes Beweissicherung umfangreiche Radionuklid-Messungen an Bodenproben in der unmittelbaren Umgebung des Areals durchgeführt. (Details über Analysemethoden in Figur 1 und [1]). Diese Analysen dienen der Erfassung der Konzentrationen kosmogener (z.B.  $^7\text{Be}$ ), terrestrischer ( $^{40}\text{K}$  sowie Radionuklide aus den U- und Th-Zerfallsreihen) und insbesondere anthropogener Radioisotope ( $^{90}\text{Sr}$ ,  $^{134}\text{Cs}$ ,  $^{137}\text{Cs}$ ,  $^{238}\text{Pu}$ ,  $^{239+240}\text{Pu}$ ,  $^{241}\text{Am}$ ,  $^{244}\text{Cm}$ ) resultierend aus Aerosol-Fallout infolge von Kernwaffentests und dem Tschernobyl-Ereignis. Seit der Durchführung dieser Studie werden im Routinebetrieb einmal jährlich an 4 Beprobungs-Punkten Waldbodenproben aus der oberen Schicht (0 - 5 cm) erhoben und im Labor auf ihren Radionuklid-Gehalt untersucht. Für die kontinuierliche Überwachung des Luftpfades wurden 4 Staubfangplatten an der Umzäunung der ZWILAG angebracht. Diese Platten werden monatlich ausgetauscht und die Aktivitäten der Radioisotope  $^{241}\text{Am}$ ,  $^{137}\text{Cs}$  bestimmt.



**Figur 1:**  
Schematische Darstellung des radiochemischen Trennverfahrens für Pu und Am in Bodenproben.

## Radiochemische Trennmethoden

Der Boden wird zunächst getrocknet, gesiebt und in ca. 30 g schwere Aliquots gesplittet. Vor der Analyse werden <sup>243</sup>Am- und <sup>242</sup>Pu-Tracer hinzugegeben. Nach der Trockenveraschung wird die Probe in 8 M HNO<sub>3</sub> unter Kochen während 1 Stunde ausgelaugt, so dass die oberflächlich adsorbierten Fallout-Produkte in die wässrige Phase transferiert werden. Die wässrige Lösung, welche die Fraktionen von Pu, Am und Cm enthält, wird sodann von der festen Phase über Filtration getrennt.

Die Leach-Lösung wird dann direkt auf eine Anionenaustauscher-Kolonnen (Bio-Rad 1-X2, 100-200 mesh) gegeben. Durch Zugabe von HCl und HNO<sub>3</sub>-Waschlösungen werden potentiell bei der α-Spektrometrie interferierende, natürliche Radionuklide abgetrennt (z.B. α-Emission von <sup>228</sup>Th und <sup>238</sup>Pu bei 5.4 MeV), bevor die Pu-Fraktion durch Reduktion von Pu<sup>4+</sup> zu Pu<sup>3+</sup> mit einer HI-Lösung eluiert wird. Die durch die Bio-Rad-Kolonnen gelaufene Fraktion mit Am und Cm wird über 2 zusammengesteckte Kolonnen geführt, einer U/TEVA™-Kolonnen zur Retention von U und Th und einer DGA™-Kolonnen, die Am und Cm absorbiert. Die Eluierung von Am/Cm erfolgt mit einer salzsauren NaNO<sub>2</sub> Lösung. Da Am in sehr geringe Konzentration vorliegt, ist die Trennung von den Lanthanoiden, mit einer TEVA-Säule notwendig. Die Fraktionen von Pu bzw. Am+Cm werden anschliessend eingedampft und in einer NaSO<sub>4</sub>-NaHSO<sub>4</sub>-Pufferlösung aufgenommen, die zur elektrolytischen Abscheidung von Aktiniden verwendet wird [2]. Nach der Elektrodeposition werden die Messpräparate über 2 Tage mit hochauflösender α-Spektrometrie gemessen (Details in [1]).

## Staubfangplatten

4 Staubfangplatten, eine pro Himmelsrichtung, wurden an der Umzäunung der ZWILAG befestigt (Figur 2). Die Probenerhebung erfolgt monatlich, d.h. die Staubfangplatten werden jeweils ausgewechselt. Im Labor wird das Vaseline von der Kunststoffplatte abgezogen und in einem Metallschälchen eingeschmolzen. Die anschliessende γ-Messung dauert 15 Stunden. Bestimmt werden u.a. <sup>137</sup>Cs und <sup>241</sup>Am.



**Figur 2:**  
Staubfangplatte (ZWILAG)

## Resultate und Diskussion

Die Resultate der Radionuklid-Messungen in Bodenproben sind in Tabelle 1 für die anthropogenen Radioisotope ( $^{90}\text{Sr}$ ,  $^{134}\text{Cs}$ ,  $^{137}\text{Cs}$ ,  $^{238}\text{Pu}$ ,  $^{239+240}\text{Pu}$ ,  $^{241}\text{Am}$ ) und die natürlichen terrestrischen Isotope aus den U- und Th-Zerfallsreihen ( $^{226}\text{Ra}$ ,  $^{228}\text{Ra}$ ) zusammengefasst. Dargestellt ist der Streubereich der Probenmessungen aus den 4 Bodenentnahmestellen um das ZWILAG-Areal. Wie die Tabelle zeigt, liegen die typischen Aktivitätskonzentrationen von  $^{239+240}\text{Pu}$  derzeit zwischen 0.25 und 0.8 Bq/kg, diejenigen von  $^{241}\text{Am}$  zwischen 0.2 und 0.3 Bq/kg. In Spuren ist noch  $^{238}\text{Pu}$  nachweisbar (0.01 - 0.08 Bq/kg), während die Werte für fissiogenes  $^{90}\text{Sr}$  etwas höher sind (2 - 5 Bq/kg). Signifikant darüber liegen die Resultate für  $^{137}\text{Cs}$  (23 - 70 Bq/kg). Ein Grund hierfür ist der zusätzliche Beitrag von Fallout-Caesium aus dem Tschernobyl-Reaktorunfall. Über die Isotopenverhältnisse von  $^{241}\text{Am}/^{239+240}\text{Pu}$  (im Mittel 0.4) und  $^{238}\text{Pu}/^{239+240}\text{Pu}$  ( $0.03 \pm 0.01$ ) kann gefolgert werden, dass der Beitrag der anthropogenen Aktiniden ausschliesslich aus den atmosphärischen Kernwaffentests vor ca. 50 Jahren stammt [1,3]. Tabelle 1 zeigt den Vergleich der Aktivitätskonzentrationen der Fallout-Radioisotope der letzten Jahre. Während für  $^{137}\text{Cs}$  noch eine geringfügige Abnahme beobachtet werden kann, sind die Aktivitätskonzentration der anderen anthropogenen Radioisotope bereits so tief, dass aufgrund der mess-statistischen Schwankungen keine Trends mehr auszumachen sind. Verglichen mit den ersten Messungen zeigt sich deutlich abnehmender Trend für das anthropogene Radionuklid  $^{137}\text{Cs}$  von ca. 100 - 150 Bq/kg (im Jahr 1997) auf ca. 30 - 70 Bq/kg (2010). Die Abnahmen für die anthropogenen Radioisotope  $^{90}\text{Sr}$  und  $^{239+240}\text{Pu}$  sind ähnlich signifikant. So sanken die Aktivitätskonzentrationen für  $^{90}\text{Sr}$  von 6 - 10 Bq/kg auf 2 - 4 Bq/kg und diejenigen für  $^{239+240}\text{Pu}$  von 0.4 - 0.9 (1997) auf 0.2 - 0.8 im Jahr 2010. Ebenfalls in Tabelle 1 sind die Werte für  $^{226}\text{Ra}$  (als Mass für natürlich vorkommendes, primordiales  $^{238}\text{U}$ ) und  $^{228}\text{Ra}$  (als Mass für  $^{232}\text{Th}$ ). Diese Werte liegen konstant zwischen 20 - 40 Bq/kg und zeigen keinen Trend mit der Zeit, da diese Radionuklide fest in den Kristallgittern der Bodenminerale eingebaut sind. Wenn man die Aktivitätskonzentrationen über die spezifischen Aktivitäten in Massenkonzentrationen umrechnet, ergeben sich für  $^{238}\text{U}$  2 - 3 ppm und für  $^{232}\text{Th}$  5 - 7 ppm, d.h. typische Werte für Böden und Gesteine der Erdkruste.

**Tabelle 1:**

Wertebereich für anthropogene Fallout-Isotope ( $^{90}\text{Sr}$ ,  $^{134}\text{Cs}$ ,  $^{137}\text{Cs}$ ,  $^{238}\text{Pu}$ ,  $^{239+240}\text{Pu}$ ,  $^{241}\text{Am}$ ) und natürlich vorkommende terrestrische Isotope ( $^{226}\text{Ra}$ ,  $^{228}\text{Ra}$ ) im Verlauf der letzten Jahre (2008 - 2010) in Bodenproben. Alle Werte in Bq/kg Trockengewicht.

Isotop	2008	2009	2010
$^{90}\text{Sr}$	2 - 5	2 - 4	2 - 5
$^{134}\text{Cs}$ (1)	< 1	< 1	< 1
$^{137}\text{Cs}$	25 - 80	30 - 70	23 - 70
$^{238}\text{Pu}$	0.01 - 0.02	0.01 - 0.03	0.01 - 0.08
$^{239+240}\text{Pu}$	0.2 - 0.5	0.2 - 0.8	0.25 - 0.8
$^{241}\text{Am}$	0.1 - 0.4	0.1 - 0.3	0.2 - 0.3
$^{226}\text{Ra}$	20 - 30	20 - 30	25 - 40
$^{228}\text{Ra}$	20 - 35	20 - 30	20 - 40

(1) Die Halbwertszeit von  $^{134}\text{Cs}$  beträgt nur 2.06 Jahre, d.h. das Radioisotop konnte in den Jahren 2008 - 2010 nicht mehr nachgewiesen werden.

Weniger aufwändig ist die Auswertung der Staubfangplatten. Mit der monatlichen Kontrolle ist praktisch eine kontinuierliche Überwachung möglich. Seit Beginn der Probennahme lagen die Werte für  $^{137}\text{Cs}$  und  $^{241}\text{Am}$  immer unter den Nachweisgrenzen von 0.2 bzw. 0.3 Bq/m<sup>2</sup>. Die tiefe Nachweisgrenze für  $^{241}\text{Am}$  von 0.3 Bq/m<sup>2</sup> ergibt sich aufgrund der Verwendung eines hochauflösenden Gamma-Spektrometers mit Be-Eintrittsfenster.

### Literaturliste

- [1] Eikenberg, J., Bajo, S., Hitz, J., Beer, H., Gann, C., Wyer, L und Ziegler, J. (2002) Spezialnuklid-Analysen für die Beweissicherung ZWILAG AG 1997-2001: Abschlussbericht der Immissionsmessungen. PSI-Bericht Nr. 02-15.
- [2] Bajo, S. und Eikenberg, J. (1999) Electro-deposition of actinides for  $\alpha$ -spectrometry, J. Radioanal. Nucl. Chem. 242, 745-751.
- [3] UNSCAER (2000), Sources and effects of ionising radiation. Report to the General Assembly, Volume 1, Annex C, United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation, New York.

## 8.5

# Les installations nucléaires et l'environnement

**S. Estier, P. Beuret, G. Ferreri, A. Gurtner, T. Marti, M. Müller, P. Steinmann**

Section radioactivité dans l'environnement, URA / BAG, 3003 BERN

### Résumé

L'impact des installations nucléaires suisses sur l'environnement a été très faible en 2010. Les méthodes de mesure, d'une grande sensibilité, mises en œuvre au voisinage des installations nucléaires ont permis de mettre en évidence les traces des rejets atmosphériques ( $^{14}\text{C}$  dans les feuillages) et des rejets liquides (en particulier isotopes du cobalt et  $^{54}\text{Mn}$  dans les eaux et les sédiments). La contribution du rayonnement direct a également été détectée en certains points de la clôture des centrales de Leibstadt et de Mühleberg. Les doses qui en résultent pour la population avoisinante sont toutefois restées nettement au-dessous des limites réglementaires et donc, sans conséquences pour la santé.

Hormis ces quelques exemples, les résultats des mesures environnementales ne se sont pas distingués de ceux relevés dans les endroits situés hors de l'influence des installations nucléaires. Ils montrent que la radioactivité d'origine naturelle prédomine et que les contaminations détectables proviennent principalement des essais nucléaires des années 60 ( $^{137}\text{Cs}$ ,  $^{90}\text{Sr}$ ,  $^{239,240}\text{Pu}$  et  $^{241}\text{Am}$ ) et de l'accident de Tchernobyl ( $^{137}\text{Cs}$ ).

### Introduction

Ce chapitre présente une vue d'ensemble des analyses effectuées aux environs des installations nucléaires et une évaluation de l'impact de ces installations sur l'environnement. Les détails de chaque type d'analyse sont traités dans d'autres chapitres de ce rapport comme indiqué dans le tableau 1.

Dans le but de préserver la santé de l'homme et l'environnement au voisinage des centrales nucléaires, l'OFSP poursuit depuis de longues années un programme spécifique de prélèvements et de mesures. Celui-ci commence au terme source, par des analyses effectuées en parallèle par l'exploitant, l'IFSN et l'OFSP sur divers échantillons en phase de rejet (filtres à aérosols, à iode, gaz, eaux de rejet). Les exploitants sont par ailleurs tenus de mesurer le bilan de leurs émissions et de le communiquer chaque mois aux autorités.

La surveillance se poursuit par la mesure des immissions des centrales nucléaires (concentrations radioactives effectivement mesurées dans l'environnement). Tous les compartiments environnementaux sont examinés, de l'air jusqu'aux denrées alimentaires, en passant par les précipitations, le sol, l'herbe, les eaux superficielles et les sédiments. Des mesures sur site (spectrométrie gamma in situ) complètent ces analyses en permettant d'évaluer directement la radioactivité déposée au sol. Ce programme de surveillance, coordonné par l'OFSP, englobe non seulement les propres mesures de l'Office mais aussi celles des laboratoires cantonaux (denrées alimentaires), de l'Institut de radiophysique (IRA) à Lausanne (mesures alpha et

bêta), du Laboratoire Spiez ( $^{90}\text{Sr}$  dans les eaux de rejet), du PSI (dosimètres thermoluminescents, aëroradiométrie etc.), de l'EAWAG (Aar et Rhin), de l'université de Berne ( $^{14}\text{C}$ ,  $^3\text{H}$  et  $^{85}\text{Kr}$ ) et du LfU (Baden-Württemberg), conformément au programme germano-suisse autour de la centrale nucléaire de Leibstadt. L'IFSN met également à disposition de l'OFSP un accès direct à son réseau MADUK, mesurant en continu le débit de dose ambiante au voisinage des centrales nucléaires. L'OFSP se doit ensuite de procéder à l'examen critique de l'ensemble de ces données pour évaluer de manière pertinente l'influence des centrales nucléaires sur la population avoisinante et l'environnement. Le présent chapitre résume l'ensemble des résultats obtenus dans le cadre de ce programme de surveillance des immissions au voisinage des installations nucléaires.

#### Tableau 1:

Tableau récapitulatif indiquant les chapitres du présent rapport à consulter pour accéder aux résultats détaillés de la surveillance du voisinage des installations nucléaires en fonction du compartiment environnemental (milieu) ou du radionucléide d'intérêt.

Milieu/Isotope	Chapitre
Exposition ambiante	Ch. 8.2, 8.3
Air/Aérosols (émetteurs $\gamma$ )	Ch. 4.1
Précipitations ( $\gamma$ , $^3\text{H}$ )	Ch. 4.1
Mesures in situ	Ch. 3.1
Sol et herbe ( $\gamma$ , $^{90}\text{Sr}$ )	Ch. 4.4
Sol (Pu, $^{241}\text{Am}$ )	Ch. 7.2
$^{14}\text{C}$ dans les feuillages	Ch. 7.1
Denrées alimentaires	Ch. 5
Milieu aquatique - émetteurs $\gamma$	Ch. 4.3
Fleuve (Aar/Rhin) - $^3\text{H}$	Ch. 4.1, 7.1

Un impact mesurable des centrales nucléaires étant difficile à mettre en évidence, l'estimation de la dose au public repose avant tout sur le calcul à partir des émissions des installations. En effet, les niveaux de radioactivité à la source permettent une détection aisée et plus exhaustive des radionucléides rejetés. Leur impact sur l'environnement et l'homme résulte ensuite de la modélisation de leur transfert, basée sur des hypothèses conservatrices. En complément, les mesures dans l'environnement servent à vérifier ces modèles et à établir un bilan local réaliste de la radioactivité naturelle et artificielle.

## Méthodologie

Dans le cas d'un suivi de l'environnement, deux aspects peuvent être pris en compte: l'un radio-écologique qui consiste à rechercher les meilleurs indicateurs de la contamination du milieu et l'autre dosimétrique, qui met l'accent sur ce qui peut contribuer aux doses de la population. La surveillance des installations nucléaires s'oriente sur ces deux aspects. Les méthodes de prélèvement et de traitement sont prescrites de manière à assurer une reproductibilité et à viser à concentrer un maximum de radioactivité dans un minimum de volume afin de pouvoir détecter la présence de radionucléides à très bas niveaux.

## Résultats

### Mesures à la source

Les mesures parallèles de l'exploitant, de l'IFSN et de l'OFSP sur des échantillons liquides et gazeux prélevés en phase de rejet ainsi que le contrôle des rejets déclarés mensuellement aux autorités ont confirmé que les 4 centrales nucléaires suisses, à savoir Beznau (KKB 1 et 2), Gösgen (KKG), Leibstadt (KKL) et Mühleberg (KKM) ainsi que l'institut Paul Scherrer (PSI) et l'entrepôt de stockage intermédiaire de déchets radioactifs (ZWILAG), situés sur le même site, ont respecté les limites réglementaires fixées pour les émissions en 2010 (voir aussi Chap. 8.1).

En synthèse, la figure 1 traduit ce constat du point de vue de l'impact des rejets sur la population avoisinante en termes de doses par rapport à la valeur directrice liée à la source, fixée à 0.3 mSv par an pour les centrales nucléaires (y compris

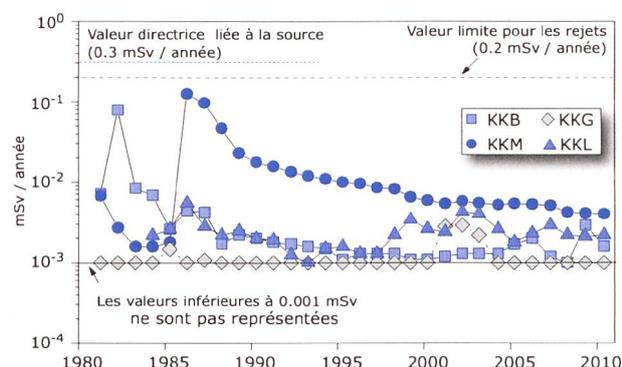


Figure 1:

Dose (calculée) due aux émissions des centrales nucléaires accumulée par la personne (adulte) la plus exposée dans le voisinage de chacune des centrales pour chaque année de 1981 à 2010 (Données IFSN) et comparaison avec la valeur directrice de dose liée à la source de 0.3 mSv/an<sup>1</sup>.

1 La valeur directrice de dose liée à la source de 0.2 mSv/an utilisée jusqu'en 2004 ne tenait compte que de la contribution des rejets. La valeur directrice de dose de 0.3 mSv/an, comprend, quant à elle, à la fois la contribution des rejets et du rayonnement direct.

rayonnement direct). La contribution majeure à la dose d'irradiation provient des rejets atmosphériques: essentiellement du  $^{14}\text{C}$ , avec à Mühleberg une contribution rémanente des résines rejetées en 1986, dont l'impact très localisé a constamment diminué depuis.

**Mesures de l'exposition ambiante**

L'exposition ambiante à la clôture et au voisinage des installations nucléaires est surveillée en permanence par le réseau MADUK ainsi qu'à l'aide de dosimètres thermoluminescents (TLD) et par des mesures périodiques effectuées par l'IFSN à la clôture des installations. Les résultats de cette surveillance ont montré que la contribution du rayonnement direct était clairement mesurable en certains points de la clôture des centrales de Leibstadt et de Mühleberg ainsi qu'au PSI mais que toutes les installations avaient respecté les valeurs limites en 2010. Rappelons que la valeur limite d'immissions pour le rayonnement direct, en dehors de l'enceinte des entreprises, est fixée à l'Art. 102, alinéa 3 de l'ordonnance sur la radioprotection (ORaP), à 1 mSv par an dans les locaux d'habitation, de séjour et de travail et à 5 mSv par an dans tout autre endroit.

L'OFSP effectue également des mesures de débit d'équivalent de dose ambiante  $H^*(10)$  à l'aide d'une chambre d'ionisation placée à 1m au-dessus du sol dans un voisinage plus étendu. La figure 2, illustrant les résultats de ces mesures, montre que l'exposition ambiante au voisinage des installations nucléaires ne se distingue pas de manière significative de celle enregistrée à Fribourg, située hors de leur influence. Il est intéressant de remarquer

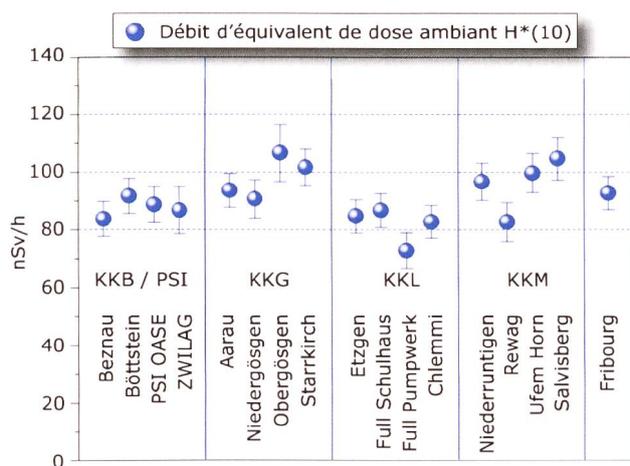
que les valeurs de débit de dose légèrement plus élevées mesurées sur trois sites des environs de la centrale de Mühleberg sont dues à une concentration plus élevée en  $^{40}\text{K}$  (naturel) dans les sols en ces endroits (cf. Figure 4).

**Mesures dans le milieu atmosphérique**

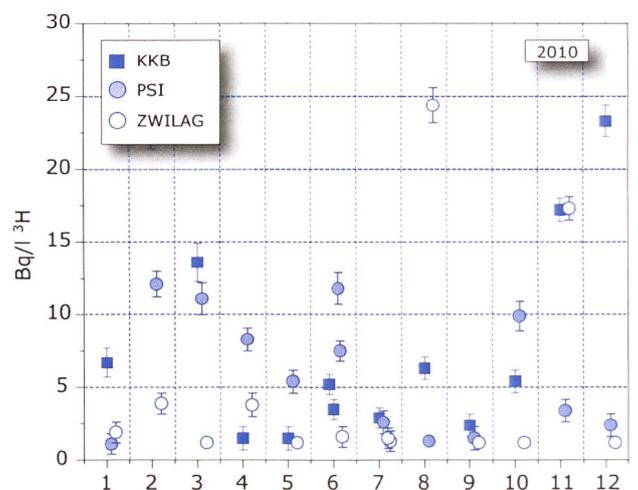
La surveillance du milieu atmosphérique comprend l'analyse des précipitations et des aérosols par l'autorité de contrôle ainsi que des dépôts sur plaques de vaseline par l'exploitant.

Les résultats des mesures 2010 des filtres aérosols des environs des centrales nucléaires suisses ainsi que du PSI ont montré la prédominance des radionucléides naturels  $^7\text{Be}$  et  $^{210}\text{Pb}$ , avec des valeurs comprises respectivement entre 0.2 et 4.3 et entre 0.1 et 1.0 mBq/m<sup>3</sup> (mesures OFSP et PSI). Le  $^{137}\text{Cs}$ , attribuable à la remise en suspension d'anciennes contaminations dues aux essais d'armes atomiques des années 50 et 60 ainsi qu'à l'accident de Tchernobyl, est le seul radionucléide d'origine artificiel mis en évidence dans ces échantillons (valeurs comprises entre <0.6 et 1.3  $\mu\text{Bq}/\text{m}^3$  pour les filtres analysés à l'OFSP, les activités du  $^{137}\text{Cs}$  étant toutes inférieures à la limite de détection de 10  $\mu\text{Bq}/\text{m}^3$  pour les échantillons mesurés au PSI). Comme l'année précédente, aucune trace de  $^{60}\text{Co}$  n'a été observée dans les filtres aérosols des environs de KKM. Rappelons que l'origine suspectée de ces traces de  $^{60}\text{Co}$  avant 2009 était la contamination accidentelle des filtres après exposition, alors qu'ils transitaient par l'intérieur de la centrale avant leur envoi pour analyse. La procédure de prélèvement mise en place en 2009 a donc porté ses fruits.

8.5 Les installations nucléaires et l'environnement - @OFSP 2011



**Figure 2:** Contrôles du débit d'équivalent de dose ambiant  $H^*(10)$  effectués en 2010 par l'OFSP au voisinage des installations nucléaires à l'aide d'une chambre d'ionisation placée à 1m du sol. La valeur mesurée à Fribourg est représentée à titre de comparaison.



**Figure 3:** Suivi du tritium dans les précipitations au voisinage de la centrale nucléaire de Beznau, du PSI ainsi que du Zwilag en 2010.

A l'exception des traces sporadiques de  $^{137}\text{Cs}$  (valeurs comprises entre  $<0.3$  et  $1.1$  mBq/l; attribuable aux dépôts après l'accident de Tchernobyl), aucun émetteur gamma d'origine artificielle n'a été détecté dans les échantillons de pluie collectés aux environs des centrales nucléaires de Mühleberg, Leibstadt, Gösgen et Beznau ni dans ceux du voisinage du PSI et du ZWILAG au cours de l'année 2010.

Les résultats des mesures du tritium ( $^3\text{H}$ ), radionucléide directeur dans les précipitations, dans les échantillons mensuels des environs des installations nucléaires sont résumés dans le tableau 2. Les concentrations mensuelles de  $^3\text{H}$  enregistrées en 2010 dans les pluies du voisinage des centrales nucléaires de Mühleberg, Gösgen et Leibstadt sont restées proches de celles enregistrées dans des stations de référence situées hors influence de ces installations.

Le suivi mensuel des concentrations du  $^3\text{H}$  pour les stations de Beznau (PWR KKB), du PSI et du ZWILAG est représenté sur la figure 3. Cette dernière montre que les concentrations sont généralement restées faibles avec ponctuellement des valeurs plus élevées. A noter que les maxima enregistrés dans les différentes stations ne présentent pas de corrélation, quand bien même celles-ci sont situées dans un rayon de quelques km seulement. Toutes ces valeurs sont par ailleurs nettement inférieures à la valeur limite d'immission fixée dans l'ordonnance sur la radioprotection pour les eaux accessibles au public ( $12'000$  Bq/l pour le  $^3\text{H}$ ).

Pour le reste, un impact des rejets atmosphériques des centrales nucléaires est avant tout perceptible pour le  $^{14}\text{C}$ . Les mesures de ce radionucléide dans les feuillages, poursuivies depuis de nombreuses années par l'université de Bern, ont ainsi mis en évidence en 2010 une augmentation maximale, par rapport à la station de référence, de 150 pour mille aux environs de la centrale de Leibstadt. Les doses qui en résultent par ingestion de denrées alimentaires locales ne représentent cependant que quelques  $\mu\text{Sv}$ .

L'intérêt des mesures de  $^{14}\text{C}$  se situe aussi dans l'utilisation de ce traceur atmosphérique pour affiner la modélisation de la dispersion atmosphérique.

**Tableau 2:**

*Tritium dans les précipitations au voisinage des installations nucléaires en 2010.*

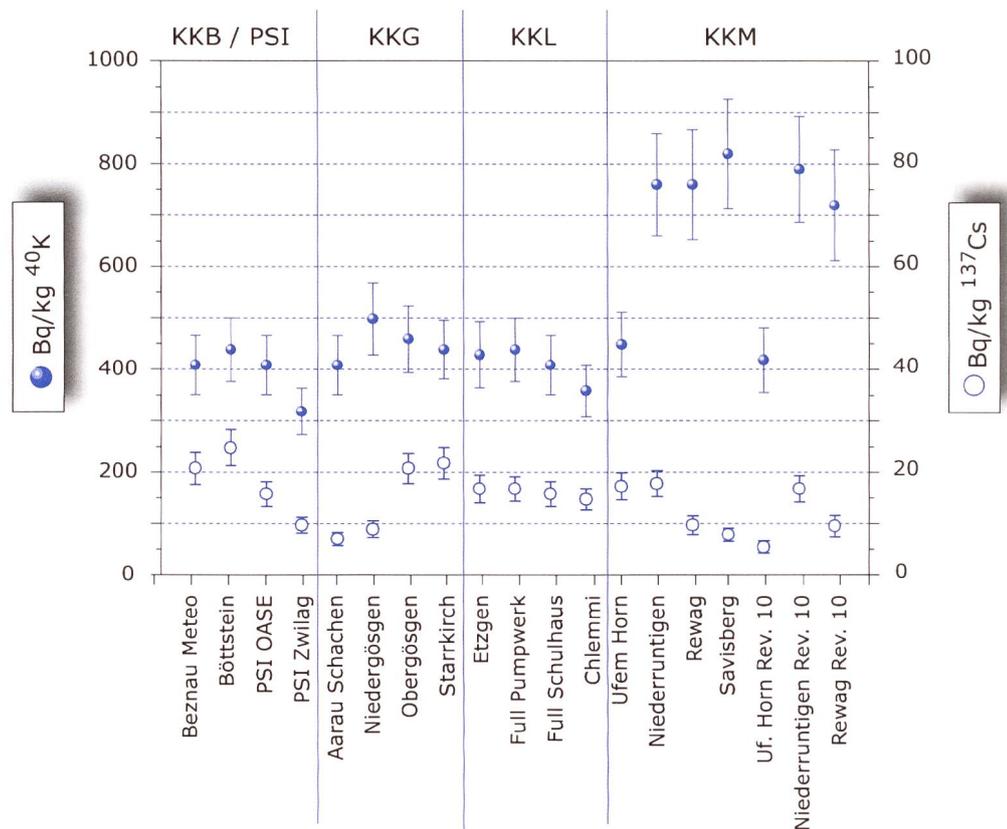
Lieu	Valeur min/ max	Médiane
	(Bq/l)	(Bq/l)
Niederruntigen (environs KKM) Mesures OFSP	0.9 - 4.9	1.75
Niedergösgen (environs KKG) Mesures OFSP	1.1 - 3.5	1.80
Full (environs KKL) Mesures OFSP	1.1 - 6.7	3.55
Beznau (environs KKB) Mesures PSI	1.5 - 23.3	8.60
PSI Mesures PSI	1.1 - 12.1	6.00
ZWILAG Mesures PSI	1.2 - 24.4	4.75

### Mesures dans le milieu terrestre

L'impact des rejets atmosphériques sur le milieu terrestre est avant tout examiné dans l'herbe et le sol, qui constitue un excellent intégrateur de pollution et permet de tenir compte des phénomènes d'accumulation à long terme. Les résultats 2010 enregistrés pour les échantillons de sol et de plantes prélevés au voisinage des installations nucléaires montrent que la radioactivité d'origine naturelle prédomine nettement et que la radioactivité d'origine artificielle ( $^{137}\text{Cs}$ ,  $^{90}\text{Sr}$ , Pu et Am) provient principalement des essais nucléaires des années 60 et de l'accident de Tchernobyl. La figure 4 présente à titre d'exemple la contamination rémanente en  $^{137}\text{Cs}$  dans les sols prélevés par l'OFSP au voisinage des installations nucléaires en 2010.

Afin de caractériser les sites du point de vue des contributions individuelles à l'exposition externe du public, l'OFSP procède depuis les années 80 à des mesures par spectrométrie gamma in situ. Les résultats correspondants montrent que les valeurs dans le voisinage des installations nucléaires n'ont rien d'anormal par rapport aux autres sites. Notons ainsi qu'aucun émetteur gamma d'origine artificielle n'a pu être mis en évidence en dehors du  $^{137}\text{Cs}$ .

Les denrées alimentaires constituent le prochain maillon susceptible de transférer les radionucléides jusqu'à l'homme. Les résultats des mesures de la radioactivité dans les aliments, coordonnées par l'OFSP en étroite collaboration avec les laboratoires cantonaux, n'ont pas révélé de marquage attribuable à l'exploitation des centrales nucléaires. Les mesures additionnelles de l'OFSP, en particulier



**Figure 4:**  $^{137}\text{Cs}$  et  $^{40}\text{K}$  (naturel) dans les sols secs et tamisés (2 mm) analysés par l'OFSP en 2010 (couche 0 - 5 cm).

celles du programme germano-suisse au voisinage de Leibstadt dans les produits agricoles et les poissons ont confirmé ce constat, puisqu'aucun émetteur gamma d'origine artificielle n'a été décelé dans ces échantillons. Les résultats des mesures de  $^{90}\text{Sr}$  effectuées par l'IRA dans des échantillons de lait et de céréales prélevés au voisinage des centrales nucléaires ne se distinguent pas de ceux enregistrés ailleurs sur le plateau suisse.

#### Mesures dans le milieu aquatique

Les analyses des échantillons mensuels des eaux de l'Aar et du Rhin, effectuées par l'EAWAG, ont permis de mettre en évidence les traces des rejets liquides des centrales nucléaires, principalement le  $^{60}\text{Co}$  et le  $^{54}\text{Mn}$  provenant de Mühleberg ainsi que le  $^{58}\text{Co}$  issu de Mühleberg et de Beznau. Les rejets les plus importants ont eu lieu aux mois d'août et septembre, pendant la période de révision. C'est aussi durant ces mois que les concentrations maximales ont été enregistrées dans les eaux de l'Aar, prélevées à Hagneck/BE en aval de KKM.

Le  $^{137}\text{Cs}$ , également présent dans les échantillons d'eau de l'Aar et du Rhin, est essentiellement dû à la remobilisation des dépôts de Tchernobyl; il n'existe ainsi pas de corrélation, pour cet isotope, entre les activités rejetées par les centrales et les

valeurs mesurées dans les eaux.

Les activités rejetées dans le milieu aquatique par les installations nucléaires ont encore diminué en 2010 par rapport aux années précédentes. La mise en service définitive d'un système de nanofiltration en 2007 à la centrale de Beznau a permis de réduire les rejets d'un facteur 30 pour le  $^{58}\text{Co}$  et d'un facteur 10 pour le  $^{60}\text{Co}$  entre 2006 et 2010. Ceci s'est traduit par une diminution significative des concentrations enregistrées dans les échantillons d'eaux. Ainsi, en 2010, les activités du  $^{60}\text{Co}$ ,  $^{58}\text{Co}$  et du  $^{54}\text{Mn}$  enregistrées dans les eaux de l'Aar, prélevées à Klingnau/AG (en aval de KKB) étaient souvent inférieures à la limite de détection.

Dans les échantillons mensuels de sédiments prélevés dans l'Aar à Hagneck, les radionucléides tels que le  $^{54}\text{Mn}$ , le  $^{58}\text{Co}$  et le  $^{60}\text{Co}$  ainsi que le  $^{137}\text{Cs}$  sont clairement mesurables. Si le  $^{137}\text{Cs}$  se retrouve également dans tous les échantillons de sédiment de l'Aar et du Rhin, le  $^{54}\text{Mn}$  et les isotopes du cobalt sont présents uniquement sous forme de traces sporadiques.

Des traces de  $^{60}\text{Co}$ ,  $^{54}\text{Mn}$  et de  $^{137}\text{Cs}$  ont également été mises en évidence dans des échantillons de mousse prélevés début avril dans l'Aar, en aval de

Mühleberg et à Pratteln après la période de révision. Seul du  $^{137}\text{Cs}$  a pu être décelé dans les mousses prélevées début juin à Klingnau. Les analyses des poissons prélevés dans l'Aar en aval de KKM, KKG et KKB en 2010 n'ont en revanche pas révélé la présence de radionucléide d'origine artificielle. Le constat est le même pour l'examen des eaux des nappes phréatiques.

Les concentrations mensuelles de  $^3\text{H}$  enregistrées en 2010 dans les eaux du Rhin près de Weil/D, en aval de Bâle, sont restées inférieures à 2 Bq/l à l'exception de la période avril-mai, où, comme chaque année, on constate une légère augmentation (4 - 6 Bq/l) en raison de rejets plus importants d'eau contenant du tritium par la centrale nucléaire de Gösgen.

#### **Situation radiologique du site démantelé de l'ancienne centrale expérimentale de Lucens** (site soustrait à la législation sur les installations nucléaires)

Deux prélèvements d'eau sont effectués au début et à la fin de chaque mois dans le bassin de contrôle (intérieur de la centrale) et dans la chambre de contrôle (regard de conduite, à proximité de la Broye) et envoyés à l'IRA. Les prélèvements de début et de fin de mois sont mélangés puis mesurés par spectrométrie  $\gamma$ . Aucun émetteur gamma artificiel n'a été détecté en 2010. Les résultats montrent en effet que les activités du  $^{60}\text{Co}$ ,  $^{131}\text{I}$ ,  $^{134}\text{Cs}$  et  $^{137}\text{Cs}$  sont restées inférieures aux limites de détection de 0.3 à 1.5 Bq/l.

Les prélèvements mensuels de la chambre de contrôle et du bassin de contrôle sont distillés puis le  $^3\text{H}$  est mesuré par scintillation liquide. Les valeurs moyennes de l'activité du tritium mesurées en 2010 dans les échantillons de la chambre de contrôle et du bassin de contrôle s'élèvent à 11.2 Bq/l et 11.8 Bq/l respectivement. Notons encore que l'activité de l'eau de référence (eau robinet IRA) ne dépasse pas la limite de détection de 2 Bq/l.

Pour la mesure du  $^{90}\text{Sr}$ , deux échantillons mensuels sont mélangés, aussi bien pour la chambre de contrôle que pour le bassin de contrôle. Les activités de tous les échantillons étaient inférieures à la limite de détection de 5 mBq/l.

## Conclusions

L'impact des installations nucléaires suisses sur l'environnement est resté faible en 2010. La détection du rayonnement direct, du  $^{14}\text{C}$  issu des rejets atmosphériques et des produits d'activation présents dans les rejets liquides témoigne d'un fonctionnement normal de ces installations dans l'année sous revue.

Les doses résultant du fonctionnement des centrales nucléaires pour la population avoisinante sont restées nettement inférieures aux limites réglementaires et le risque lié à l'exploitation de ces installations du point de vue de la santé s'est avéré insignifiant. Comme le montre le suivi de la figure 1, les calculs effectués par l'IFSN à partir des rejets effectifs et des modèles de transfert jusqu'à l'homme des radionucléides rejetés confirment que l'impact dosimétrique des centrales nucléaires n'a pas dépassé la valeur directrice liée à la source de 0.3 mSv par an et s'est situé en 2010, en tenant compte des rejets des années précédentes, entre 0.001 et 0.006 mSv. La contribution majeure provient des rejets atmosphériques (essentiellement du  $^{14}\text{C}$ ), avec à Mühleberg une contribution rémanente des résines rejetées en 1986, dont l'impact très localisé a constamment diminué depuis.

Les calculs de dose effectués de manière indépendante par le PSI et les autorités ont montré que les doses pour la population avoisinante étaient également restées nettement inférieures à la valeur directrice liée à la source fixée à 0.15 mSv/an pour le centre de recherche.

Même si les expositions du public, du fait des rejets des installations nucléaires, conduisent à des doses très faibles par rapport à celles d'origine naturelle ou médicale, le principe de précaution implique de poursuivre les contrôles et les études avec le plus de précision possible pour répondre aux différents objectifs à la fois d'ordre scientifique, réglementaire et d'information du public.

## 8.6 Environnement du CERN (mesures OFSP)

**S. Estier, P. Beuret, G. Ferreri, A. Gurtner, T. Marti, M. Müller, P. Steinmann**

Section Radioactivité de l'environnement, URA / OFSP, 3003 BERN

**J.-L. Loizeau, Ph. Arpagaus**

Institut F.-A. Forel, Université de Genève, 10 route de Suisse, 1290 VERSOIX

### Résumé

Parallèlement aux mesures de contrôle effectuées par la Commission de Sécurité du CERN, l'Office Fédéral de la Santé Publique (OFSP) met en œuvre, de manière indépendante, un programme de surveillance de la radioactivité et des doses de rayonnements au voisinage du centre de recherche. L'ensemble des mesures effectuées par l'OFSP en 2010 n'a pas révélé d'impact notable des installations du CERN sur l'environnement et la population avoisinante. Même si des traces de radioisotopes, produits dans les installations du centre de recherche, ont pu être détectées, les activités maximales enregistrées sont restées nettement inférieures aux limites suisses et leur impact radiologique peut être considéré comme très faible.

### Programme de surveillance de l'OFSP

L'OFSP surveille l'environnement du CERN de manière indépendante par les mesures suivantes (territoire suisse uniquement, à l'exception de la dosimétrie d'ambiance):

- Dosimétrie d'ambiance du rayonnement gamma ainsi que des neutrons sur une base trimestrielle (13 dosimètres à thermoluminescence – TLD-évalués par l'IRA) et mesures instantanées de l'équivalent de dose ambiant effectuées par l'OFSP sur 9 sites limitrophes du CERN et 9 sites de référence distants.
- Aérosols (mesure continue alpha/bêta de la station RADAIR avec compensation du rayonnement naturel et spectrométrie gamma hebdomadaire des filtres d'un collecteur à haut débit).
- Eaux du Rhône à Chancy (mesures gamma et tritium) et du Nant d'Avril (mesures spectrométriques de l'eau et des sédiments effectuées par l'Institut Forel).
- Sols (spectrométrie gamma in situ et en laboratoire) ainsi que végétaux et certains produits locaux (comme le  $^3\text{H}$  dans le vin).

### Programme spécifique «LHC»

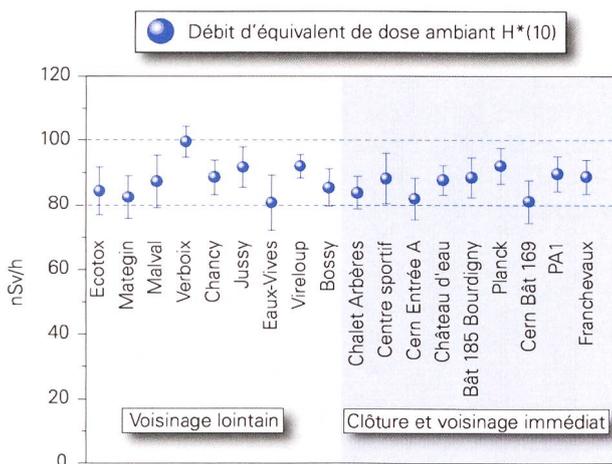
Les premières expériences de collision de faisceaux de protons au sein du LHC (Large Hadron Collider) ont été réalisées à la fin de l'année 2009; celles-ci se sont poursuivies en 2010. Des mesures de surveillance complémentaires focalisées au voisinage des puits d'aération du LHC côté suisse, ont donc été mises en œuvre par l'OFSP en 2010 afin d'évaluer l'impact éventuel du LHC sur l'environnement et la population avoisinante.

## Mesures de l'exposition ambiante

Les emplacements des TLD, destinés au contrôle de l'exposition ambiante au voisinage du CERN, ont été revus en 2006 déjà afin de pouvoir tenir compte de l'impact éventuel du LHC après sa mise en fonction. Treize sites ont été surveillés en 2010, 5 d'entre eux étant situés dans l'enceinte du centre de recherche (côtés suisse et français). Par ailleurs, en plus de l'équivalent de dose ambiant résultant du rayonnement gamma, la dose des neutrons a également été évaluée.

Les résultats de ces mesures, effectuées par l'Institut de Radiophysique (IRA) sur mandat de l'OFSP, n'ont pas signalé de valeur indicative d'un impact notable des installations du CERN pour les emplacements situés à l'extérieur de la clôture. En effet, pour les 8 sites concernés, les équivalents de dose ambiants correspondent à ceux de l'irradiation naturelle (0.01 à 0.02 mSv par trimestre pour les neutrons et environ 0.2 mSv par trimestre pour les gammas).

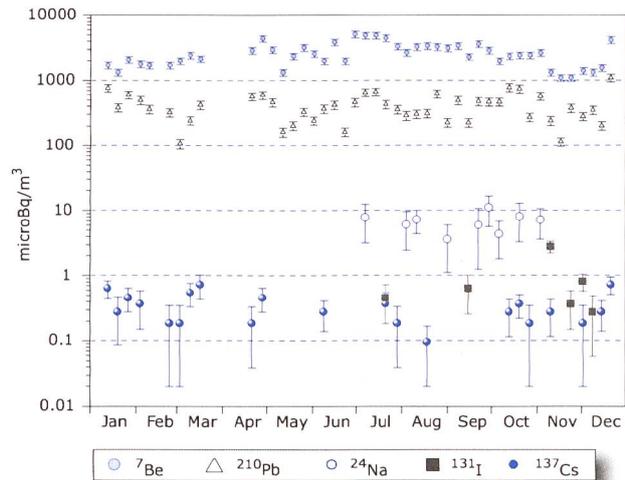
Les relevés instantanés réalisés par l'OFSP à l'aide d'une chambre d'ionisation (Figure 1) au printemps 2010 sur 9 sites du voisinage proche du CERN et 9 sites distants ont confirmé ce constat. Les valeurs du débit d'équivalent de dose ambiant ( $H^*(10)$ ) dû au rayonnement gamma se sont ainsi échelonnées entre 81 et 100 nSv/h et se situent dans le domaine de variation de l'irradiation naturelle (moyenne des sites limitrophes:  $87 \pm 4$  nSv/h; moyenne des sites distants  $88 \pm 6$  nSv/h).



**Figure 1:** Mesures du débit d'équivalent de dose ambiant  $H^*(10)$  effectuées par l'OFSP en 2010 à l'aide d'une chambre d'ionisation placée 1 m au-dessus du sol.

## Mesures dans le milieu atmosphérique

La station de mesure du réseau RADAIR située au CERN et mesurant en continu la radioactivité alpha et bêta des aérosols (voir Chap. 4.1) n'a pas signalé d'anomalie en 2010. Depuis 2007, un moniteur d'iode est également installé sur le site du CERN, pour la surveillance de l' $^{131}\text{I}$  gazeux. Aucune valeur supérieure à la limite de détection de  $0.1 \text{ Bq/m}^3$  n'y a été enregistrée.



**Figure 2:** Concentrations de divers radioisotopes (naturels et artificiels) mesurés dans les aérosols collectés chaque semaine à la station à haut débit située au CERN en 2010.

Les résultats des mesures hebdomadaires des filtres aérosols à haut débit (HVS) du CERN ont confirmé, comme les années précédentes, la prédominance des radioéléments d'origine naturelle, tels que  $^7\text{Be}$  et  $^{210}\text{Pb}$  (cf figure 2). Le cas du  $^7\text{Be}$  est toutefois particulier de par sa double origine: naturelle et anthropogénique (production dans les tunnels du CERN). Le tableau 1 montre que les concentrations de  $^7\text{Be}$  mesurées en 2010 dans les filtres aérosols de la station du CERN ne se sont toutefois pas notablement distinguées de celles enregistrées dans les stations situées hors de son influence. Notons qu'au printemps 2010, le collecteur à haut débit du CERN a connu des problèmes de fonctionnement. Les filtres ont tout de même été analysés à titre indicatif, mais les résultats correspondant n'ont pas été pris en compte pour les évaluations du tableau 1 et ne sont pas représentés sur la figure 2. Des traces de  $^{22}\text{Na}$ , également d'origine naturelle, ont été détectées à plusieurs reprises (valeurs comprises entre 0.1 et  $1 \mu\text{Bq/m}^3$ ).

**Tableau 1:**

Concentrations du  $^{7}\text{Be}$  mesurées en 2010 dans les filtres aérosols de la station à haut débit au CERN et comparaison avec les stations situées hors influence.

Station de collection à haut débit	Valeur min/ max	Moyenne
	(mBq/m <sup>3</sup> )	(mBq/m <sup>3</sup> )
CERN (Meyrin/GE)	1.4 – 6.8	3.5
Oberschrot/FR	1.3 – 7.4	3.6
Klingnau/AG	0.6 – 6.4	3.1
Güttingen/TG	1.1 – 6.8	3.2
Monte Ceneri/TI	0.9 – 7.5	3.6

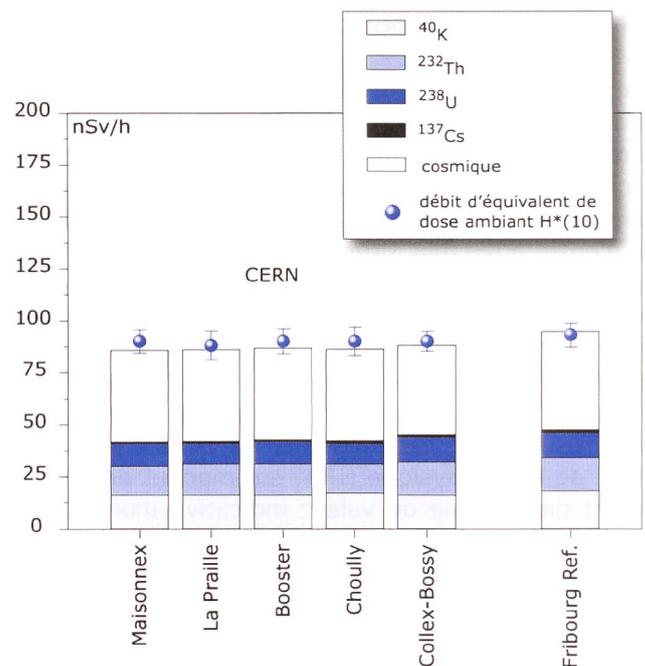
Parmi les radioéléments d'origine artificielle, des traces de  $^{137}\text{Cs}$  (valeur maximale de  $0.8 \pm 0.2 \mu\text{B}/\text{m}^3$ ) dues à la remise en suspension d'anciennes contaminations (retombées des essais nucléaires des années 50 et 60 et de l'accident de Tchernobyl) ont été détectées à plusieurs reprises.

Les seuls radioisotopes attribuables aux activités du CERN sporadiquement mis en évidence dans les filtres aérosols sont le  $^{24}\text{Na}$  et le  $^{131}\text{I}$  (valeurs comprises entre 4 et 13  $\mu\text{Bq}/\text{m}^3$  et entre 0.3 et 3.2  $\mu\text{Bq}/\text{m}^3$  respectivement). Ces radionucléides, d'une demi-vie de 15 h pour le  $^{24}\text{Na}$  et de 8 jours pour le  $^{131}\text{I}$ , sont produits dans les accélérateurs de particules du centre de recherche ( $^{131}\text{I}$  est uniquement produit par l'installation ISOLDE).

Notons encore que l'impact radiologique de ces traces de  $^{24}\text{Na}$  et de  $^{131}\text{I}$  est tout à fait négligeable, puisque les concentrations les plus élevées enregistrées en 2010 pour ces radionucléides ne représentent qu'environ 0.00013% (pour le  $^{24}\text{Na}$ ) et 0.00012% (pour le  $^{131}\text{I}$ ) des limites d'immissions suisses. L'identification d'un aussi faible niveau de radioactivité nécessite des méthodes extrêmement sensibles, comme celles mises en œuvre par l'OFSP.

## Mesures dans le milieu terrestre

Les mesures par spectrométrie gamma in situ permettent de distinguer les contributions d'origine naturelle et artificielle à l'exposition externe du public. Les mesures 2010 n'ont pas indiqué d'apport artificiel attribuable aux activités du CERN: la figure 3 montre en effet que les valeurs mesurées au voisinage du centre de recherche sont tout à fait comparables à celles relevées dans des sites hors de son influence, tel que Fribourg (pour plus de détails sur les mesures in situ, se référer au Chap. 3.1). Les résultats de la mesure effectuée à Maisonnex, à proximité d'un point principal d'évacuation de l'air (PA1) du LHC, ne révèlent par ailleurs aucun im-



**Figure 3:** Contributions individuelles au débit d'exposition ambiante déterminées par spectrométrie gamma in situ pour les sites voisins du CERN examinés en 2010, et comparaison avec les résultats obtenus à Fribourg.

pect notable du fonctionnement du collisionneur en termes d'exposition ambiante ou de production de radionucléides.

Les analyses en laboratoire sur des échantillons de sol, d'herbes et autres produits locaux n'ont pas révélé d'impact notable des installations du CERN. Les résultats sont typiques de ceux obtenus dans des échantillons comparables du Plateau suisse. Outre la détection permanente des radioéléments d'origine naturelle, dont les concentrations prédominent, on y détecte encore les traces des injections artificielles des essais nucléaires des années 50 et 60 et dans une moindre mesure de l'accident de Tchernobyl.

## Mesures dans le milieu aquatique

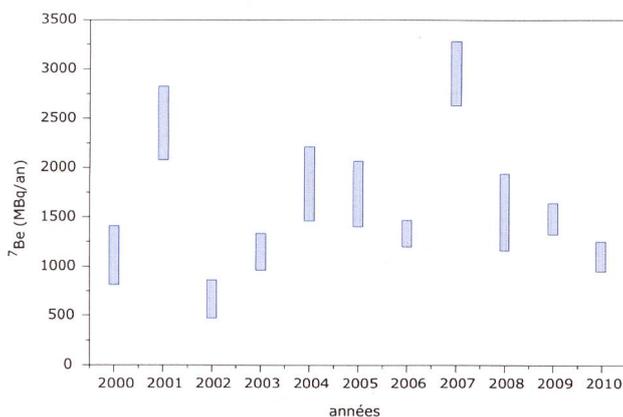
Les échantillons mensuels d'eau du Rhône prélevés à Chancy/GE n'ont pas présenté de radioactivité gamma d'origine artificielle. La valeur maximale de la concentration du tritium enregistrée dans ces mêmes échantillons s'est élevée à  $1.2 \pm 0.7 \text{ Bq}/\text{l}$ . Ces concentrations sont parfaitement conformes à la normale.

Le programme de surveillance du Nant d'Avril conduit par l'Institut F.-A. Forel à l'initiative de l'OFSP depuis 1999 a été poursuivi. Les résultats

des mesures effectuées dans le cadre de ce programme pour la période novembre 2009 à novembre 2010 a fait l'objet d'un rapport spécifique<sup>1</sup>.

En dehors du <sup>40</sup>K et des isotopes des séries primordiales (<sup>238</sup>U, <sup>235</sup>U, <sup>232</sup>Th), 3 radioisotopes ont été détectés dans les échantillons d'eau prélevés dans le Nant d'Avril.

Les activités maximales sont celles du <sup>7</sup>Be (maximum de  $0.37 \pm 0.03$  Bq/l), avec une moyenne de 0.15 Bq/l lorsque l'isotope est présent. Les plus fortes activités spécifiques de <sup>7</sup>Be sont mesurées entre les mois de juillet et d'octobre. Ces activités spécifiques maximales sont plus faibles que celles enregistrées les années antérieures. L'échantillonnage des eaux ayant été réalisé en fonction du débit, il est possible d'estimer le flux d'un isotope en multipliant les débits (exprimés en m<sup>3</sup>/période) par l'activité spécifique du radionucléide. Le flux annuel estimé de <sup>7</sup>Be pour la période 2009 - 2010 est de 960 MBq au minimum et de 1'180 MBq au maximum. Comme le montre la figure 4, ces valeurs se situent dans la moyenne inférieure des périodes de mesure précédentes. La contribution anthropogénique (CERN) du <sup>7</sup>Be est difficile à estimer. En 2005 l'utilisation des accélérateurs du CERN était particulièrement basse tandis que 2010 était l'année avec la plus grande utilisation jamais enregistrée (comm. P. Vojtyla). La correspondance des concentrations du <sup>7</sup>Be et de l'utilisation des accélérateurs ne se reflètent pas (figure 4).



**Figure 4:** Estimation des flux annuels minimum et maximum de <sup>7</sup>Be dans le Nant d'Avril pour les années 2000 à 2010 (données provenant de l'Institut Forel).

Le deuxième radionucléide mis en évidence dans les eaux du Nant d'Avril est le <sup>137</sup>Cs (maximum de 4 mBq/l). Ce radionucléide a été détecté exclusivement sur les particules (mesuré sur les filtres), ce qui montre qu'il est fortement associé à celles-ci, malgré une acidification de l'échantillon. Le <sup>137</sup>Cs provient de l'érosion des sols, qui entraîne des particules contaminées par les retombées des essais nucléaires dans l'atmosphère (maximum des retombées en 1963 - 1964) et la catastrophe de Tchernobyl (1986).

Le troisième radionucléide est le <sup>22</sup>Na, détecté à deux reprises. Les activités spécifiques sont légèrement supérieures à la limite de détection, avec une valeur maximale de 5 mBq/l. La présence de ce radionucléide peut être attribuée aux activités du CERN. L'activité maximale du <sup>22</sup>Na mesurée dans les eaux du Nant d'Avril en 2010 ne représente toutefois que 0.008% de la limite d'immissions fixée par la législation suisse (ORaP) pour les eaux accessibles au public.

L'analyse des sédiments prélevés mensuellement dans le Nant d'Avril a révélé la présence de <sup>7</sup>Be et de <sup>137</sup>Cs dans tous les échantillons. Les activités mesurées pour ces deux isotopes sont résumées dans le tableau 2. L'activité spécifique maximale détectée dans les sédiments d'octobre 2010 est la valeur la plus élevée jamais enregistrée dans le cadre des suivis du Nant d'Avril. Une augmentation sensible de l'activité en <sup>210</sup>Pb est également observée dans cet échantillon ce qui laisserait supposer une origine naturelle à cette forte valeur. Notons encore que depuis la période 2004 - 2005, aucune trace de <sup>54</sup>Mn, de <sup>65</sup>Zn ou des isotopes de cobalt (<sup>57</sup>Co, <sup>58</sup>Co, <sup>60</sup>Co) n'a plus été détectée dans les sédiments du Nant d'Avril.

**Tableau 2:**

Résumé des résultats des mesures effectuées par l'Institut F.-A. Forel dans les sédiments du Nant d'Avril durant la période novembre 2009 à novembre 2010 (12 échantillons analysés).

Isotope	Min- Max	Moyenne	Médiane
	[Bq/kg]	[Bq/kg]	[Bq/kg]
<sup>7</sup> Be	315 - 4'600	1'050	670
<sup>137</sup> Cs	3.1 - 22.7	7.9	6.0

Afin de mettre en évidence d'éventuelles augmentations des immissions radioactives dans le milieu aquatique dues au fonctionnement du LHC, des sédiments et des bryophytes ont par ailleurs été prélevés une fois au cours de l'année aux 8 principaux points de rejets des eaux du LHC et analysés par l'Institut Forel. Les activités mesurées dans

<sup>1</sup> J.-L. Loizeau et Ph. Arpagaus, Rapport N°11 sur les mesures de la radioactivité dans le Nant d'Avril (Genève), Novembre 2009 - Novembre 2010; Institut F.-A. Forel (Déembre 2010).

les échantillons de sédiments se sont échelonnées entre 37 et 729 Bq/kg pour le  $^7\text{Be}$  et entre 3.2 et 24.3 Bq/kg pour le  $^{137}\text{Cs}$ . Pour les bryophytes, les résultats montrent des activités spécifiques en  $^7\text{Be}$  variant entre  $< 70$  et 1'900 Bq/kg et entre  $< 2$  et 13.5 Bq/kg pour le  $^{137}\text{Cs}$ . La comparaison de ces résultats avec ceux des années précédentes, alors que le LHC n'était pas en fonction (programme point zéro LHC), n'a pas révélé la présence de nouveaux radio-isotopes ni d'augmentation significative de l'activité des radionucléides présents.

En résumé, si l'on exclut le  $^7\text{Be}$  dont la fraction produite par les installations du CERN est incertaine, le seul radionucléide attribuable aux activités du centre de recherche décelé dans le milieu aquatique en 2010 est le  $^{22}\text{Na}$ . Les radioéléments produits par les installations du CERN tels que  $^{65}\text{Zn}$ ,  $^{57}\text{Co}$ ,  $^{58}\text{Co}$ ,  $^{60}\text{Co}$ ,  $^{54}\text{Mn}$ , mis en évidence par le passé dans le Nant d'Avril, n'ont en effet été retrouvés ni dans les eaux, ni dans les sédiments, ni dans les bryophytes durant l'année sous revue.

## Conclusions

Le programme de surveillance mené de manière indépendante par l'OFSP, en collaboration avec l'institut F.-A. Forel, a confirmé que l'impact radiologique des activités du CERN sur l'environnement et la population avoisinante est resté très faible en 2010.

A l'image des examens in situ de la figure 3, l'ensemble des résultats ont montré la prédominance des radioéléments d'origine naturelle. La détection de traces de radionucléides attribuables aux activités du CERN ( $^{24}\text{Na}$ ,  $^{131}\text{I}$  dans l'air ou  $^{22}\text{Na}$  dans l'eau) n'a été possible que grâce à la mise en œuvre de techniques de prélèvement et de mesure d'une très grande sensibilité, dépassant le cadre des contrôles réglementaires. Les activités maximales des radio-isotopes artificiels provenant des activités du CERN sont en effet nettement inférieures aux limites suisses et donc sans conséquence d'un point de vue radiologique.

# 8.7 Rejets et environnement du CERN (Mesures CERN)

**P. Vojtyla et F. Malacrida**

CERN

Organisation européenne pour la recherche nucléaire

Unité santé et sécurité au travail et protection de l'environnement (HSE),

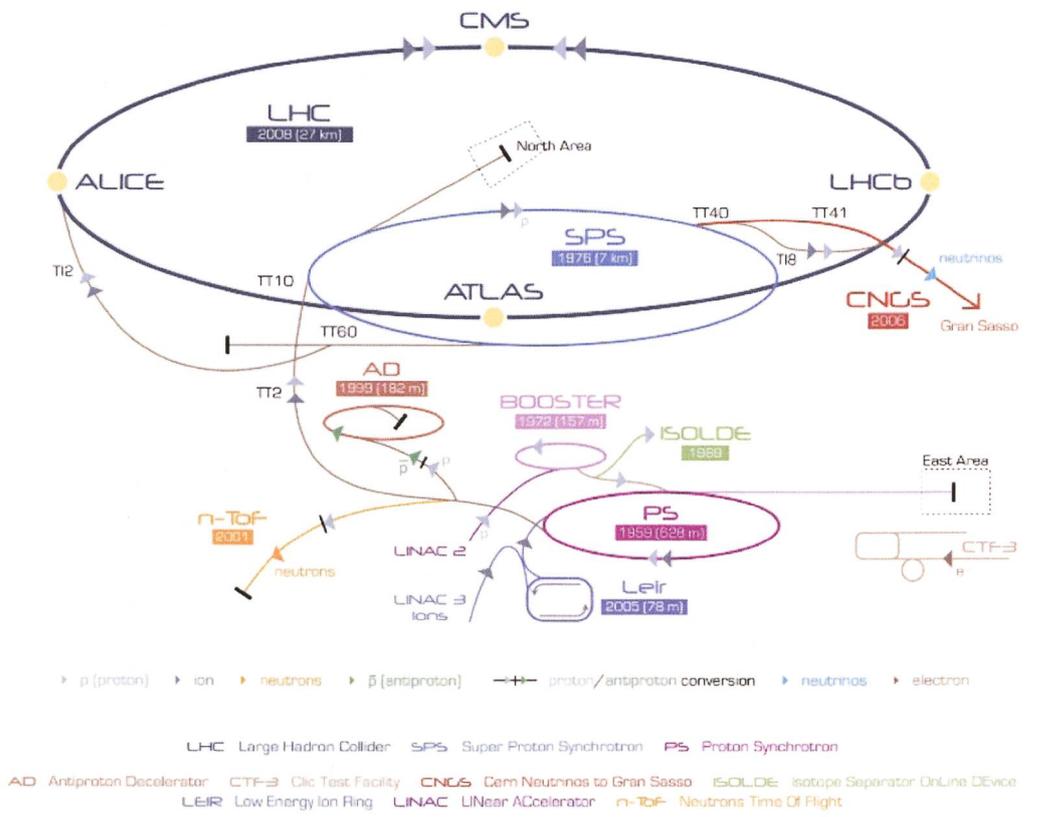
1211 Genève 23

## Résumé

Les résultats du programme de surveillance du CERN combinés aux calculs de dose pour les populations des groupes de référence ont démontré, à l'instar des années précédentes, que l'Organisation a respecté la valeur directrice de 0.3 mSv/a pour l'année 2010. La dose effective délivrée aux membres du public a été inférieure à 0.013 mSv, soit <4.3% de la valeur directrice. Les concentrations de radionucléides dans tous les échantillons environnementaux sont restées inférieures à 4% des limites applicables. De fait, l'impact écologique du CERN a été négligeable.

## Le CERN

Le CERN, l'Organisation européenne pour la recherche nucléaire, est l'un des plus grands et des plus prestigieux laboratoires scientifiques du monde. Il a pour vocation la physique fondamentale, la découverte des constituants et des lois de l'Univers. Il utilise des instruments scientifiques complexes pour sonder les constituants ultimes de la matière: les particules fondamentales. En étudiant ce qui se passe lorsque ces particules entrent en collision, les physiciens appréhendent les lois de la Nature. Les instruments qu'utilise le CERN sont des accélérateurs et des détecteurs de particules. Les accélé-



**Figure 1:** Le complexe des accélérateurs du CERN (voir Glossaire).

8.7 Rejets et environnement du CERN (Mesures CERN) - @OFSP 2011

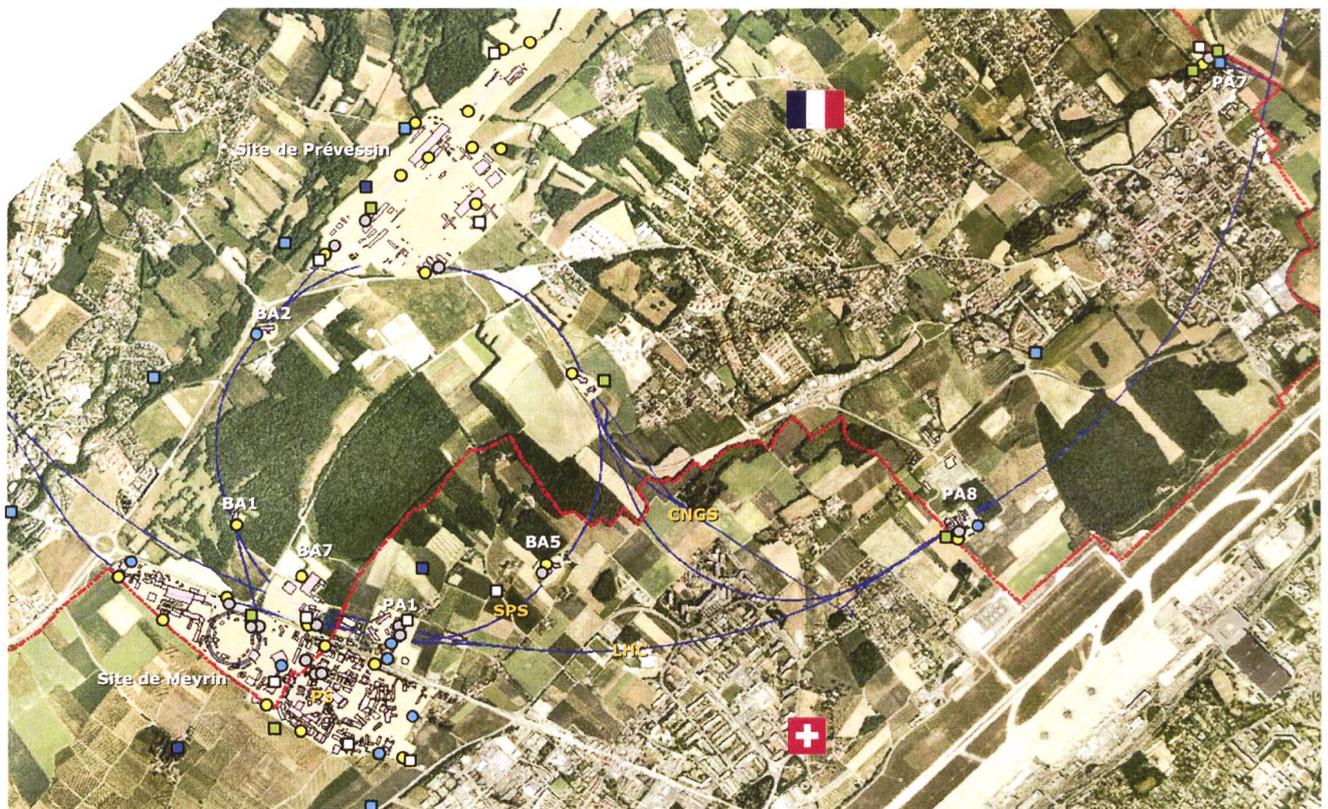
rateurs portent des faisceaux de particules à des énergies élevées pour les faire entrer en collision avec d'autres faisceaux ou avec des cibles fixes. Les détecteurs, eux, observent et enregistrent le résultat de ces collisions.

Plusieurs accélérateurs sont situés sur site CERN ainsi que sous terre le long de la frontière franco-suisse, au nord-ouest de Genève. Les particules y sont accélérées puis transférées, via des tunnels, à des accélérateurs de plus hautes énergies ou à des zones expérimentales. Ce qui suit présente les installations susceptibles de générer un impact radiologique sur l'environnement. Pour l'année 2010, la configuration était la suivante (voir Figure 1) : le LINAC 2, situé en surface du site de Meyrin, prépare le faisceau pour le Proton Synchrotron Booster (PSB, surface, site de Meyrin), qui fournit l'expérience ISOLDE et le Proton Synchrotron (PS, surface, site de Meyrin). Le PS fournit du faisceau à trois zones expérimentales aussi situées sur le site de Meyrin, soit n-TOF, AD et East Hall. Il sert aussi d'injecteur au Super Proton Synchrotron (SPS), dont la majeure partie se situe en sous-sol côté France. Les protons accélérés par le SPS peuvent atteindre des énergies de 450 GeV et la majorité d'entre eux alimentent l'installation CNGS et les

zones expérimentales du site CERN de Prévessin (North Area) en France. Une fraction de ces protons est injectée dans les deux anneaux de stockage aux sens de rotation opposés du Large Hadron Collider (LHC). Les particules y atteignent une énergie de 3.5 TeV et circulent pendant plusieurs heures, durant lesquelles elles entrent en collision. Ces points de collision se situent au milieu de quatre grands détecteurs : ATLAS, ALICE, CMS et LHC-b. Le LHC et ses détecteurs se situent profondément sous terre, majoritairement en France. Pour un complément d'information, se référer au site web du CERN [www.cern.ch](http://www.cern.ch).

### Aspects environnementaux

L'interaction de particules de hautes énergies avec la matière génère des radiations ionisantes et produit des nucléides instables, c'est-à-dire radioactifs. Ces interactions se produisent lorsque les particules en percutent d'autres ou percutent des cibles fixes, ainsi que lors d'accélération, d'extraction et de collimation des faisceaux. Les accélérateurs sont blindés et les plus puissants d'entre eux sont situés profondément sous terre, de manière à ce que seule



**Figure 2:** Région frontalière franco-suisse : sites de Meyrin et de Prévessin du CERN, implantation de l'anneau du Super synchrotron à proton (SPS), de l'installation CERN Neutrinos to Gran Sasso (CNGS) et du Grand collisionneur d'hadrons (LHC), situation des stations de surveillance et lieux d'échantillonnage qui concernent le territoire suisse.

une fraction infime des rayonnements traverse ces protections; ce type de rayonnement est nommé rayonnement diffusé. Les tunnels des accélérateurs et les zones expérimentales nécessitent d'être ventilés et une fraction de la radioactivité produite dans l'air peut être émise dans l'atmosphère par le biais de cheminées. De manière similaire, l'eau de refroidissement des systèmes ainsi que l'eau d'infiltration des tunnels souterrains doivent être évacuées. Ces effluents peuvent contenir des substances radioactives. Les rayonnements diffusés, les rejets gazeux et les effluents sont surveillés en continu (voir ci-dessous).

En termes d'impact environnemental, le risque radiologique induit par des installations mettant en jeu des accélérateurs est très faible. Maintenir un faisceau de particules en orbite requière une instrumentation parfaitement ajustée et la moindre dérive, un événement normal et récurrent, engendre des pertes concertées de faisceau. Ces écarts sont immédiatement détectés et, en fonction de leur amplitude, peuvent conduire à un arrêt automatique quasi instantané des machines. Les radionucléides produits sont des émetteurs gamma et beta de relativement courtes demi-vies et de faible radiotoxicité. Une contamination à long terme de l'environnement est donc impossible. Pour plus d'information, se référer au site : <http://environmental-impact.web.cern.ch/environmental-impact/fr/Radiation/Radiation-fr.html>.

## Programme de surveillance

Le CERN, en tant que responsable de ses installations, se doit de réaliser son propre programme de surveillance environnemental, qui est élaboré en fonction des sources d'émission avérées et potentielles. Des stations de surveillance des rayonnements diffusés se situent aux lieux où ces rayonnements ont pu être observés ou prédits. Chaque station est équipée d'une chambre d'ionisation dédiée à la mesure en continu des photons et des particules chargées et pénétrantes, comme les muons, ainsi que d'un moniteur à neutrons. En 2010, 42 stations de ce type étaient en opération. Les positions des stations situées en bordure de site CERN et qui concernent le territoire suisse sont identifiées en figure 2 par des points jaunes. Les points d'extraction d'air pouvant émettre des substances radioactives sont équipés de stations de surveillance qui mesurent en continu les radionucléides gazeux à demi-vie courte et échantillonnent les aérosols sur des filtres périodiquement analysés en laboratoire. En 2010, 28 stations étaient en opération ; les positions des stations qui concernent le territoire suisse

sont identifiées en figure 2 par des points gris. De manière similaire, les points de rejet d'eau claire sont équipés de stations de surveillance de l'eau (15 stations en 2010). Ces stations mesurent en continu les radionucléides de demi-vie courte et collectent des échantillons d'eau analysés périodiquement en laboratoire (points bleus, figure 2).

Les niveaux de rayonnements diffusés mesurés, le bilan des rejets vers l'atmosphère et les cours d'eau sont utilisés pour quantifier l'impact dosimétrique, par le biais de modèles environnementaux et radiologiques largement reconnus [1, 2]. Un mécanisme de contrôle supplémentaire consiste en la surveillance des immissions, un processus impliquant la collecte d'échantillons environnementaux et leur analyse en laboratoire. Les résultats doivent corrélérer avec les prédictions, confirmant ainsi qu'aucun rejet incontrôlé n'a pu être effectué et que les modèles utilisés sont corrects. Cette surveillance implique un échantillonnage en continu des aérosols contenus dans l'air ambiant (12 stations, carrés blancs en figure 2), des échantillons d'herbe (12 lieux d'échantillonnage, carrés verts en figure 2), d'eau, de bryophytes (mousses) et de sédiments dans les cours d'eau (carrés bleus en figure 2), de l'eau des nappes phréatiques (carrés bleus foncés en figure 2), ainsi que des échantillons de produits d'agriculture locaux, tels que blé, graines de tournesol, asperges, vin etc.

## Résultats 2010

### Opération d'accélérateurs 2010

En 2010, tous les accélérateurs du CERN ont été en opération de février à début décembre. Les installations n-TOF et CNGS ont reçu un nombre record de protons. Le LHC a progressivement augmenté l'intensité de ses faisceaux, atteignant un maximum en quatrième trimestre et terminant avec un premier faisceau d'ions plomb. Une intensité moyenne de 13% de l'intensité nominale du faisceau a pu être atteinte, pour une énergie des faisceaux de protons atteignant la moitié de l'énergie nominale, soit 2 x 3.5 TeV. En comparaison avec les conditions nominales, les conditions 2010 correspondent à 7.5% de ce qui avait été anticipé en termes de production de rayonnement diffusé et de radioactivité; cependant, dû à l'excellente qualité du faisceau, les diffusions de faisceau ont été inférieures aux prédictions. Seules quelques émissions de radionucléides gazeux de demi-vie courte provenant du site LHC-PA7 (Collex-Bossy) ont pu être mises en évidence, en quantités très largement inférieures aux limites légales. Aucun autre impact du LHC n'a pu être détecté.

### Rayonnement diffusé

La figure 3 présente la dose ambiante équivalente mesurée par les moniteurs de rayonnements diffusés qui concernent le territoire suisse. Les moniteurs situés autour des sites du SPS ont uniquement enregistré des fluctuations de l'ordre du bruit de fond naturel. Les stations PMS122 et PMS123 sont situées le long de vignes, à la barrière sud du site CERN de Meyrin. Cette zone est inhabitée. La quasi-totalité de la dose neutronique mesurée par ces stations est due aux rayonnements diffusés provenant de la section d'extraction du faisceau du PS où des interactions localisées de faisceau avec les éléments de l'accélérateur surviennent. Cette section du PS se situe proche de ces stations. Aucune valeur mesurée autour du site de Meyrin n'a excédé 15% de la limite de dose annuelle [3, 5]. La valeur de dose équivalente ambiante enregistrée par la station de surveillance PMS163 est utilisée pour la détermination de la dose effective aux membres du public du groupe de référence du site de Meyrin.

### Rejets de substances radioactives dans l'atmosphère

Les rejets par les cheminées de substances radioactives dans l'atmosphère concernant le territoire suisse sont résumés au tableau 1. Dû à la faible hauteur des cheminées ainsi qu'aux courtes demi-vies des radionucléides émis, l'impact, qui est minime, reste local. La sommation des rejets est donc dénuée de sens, car à chaque point de rejet correspond un groupe de référence et des facteurs de conversion (Sv/Bq) propres. Les radionucléides se répartissent en quatre catégories : les gaz radioactifs de demi-vie courtes  $^{11}\text{C}$ ,  $^{13}\text{N}$ ,  $^{14}\text{O}$ ,  $^{15}\text{O}$ , et  $^{41}\text{Ar}$ ; le

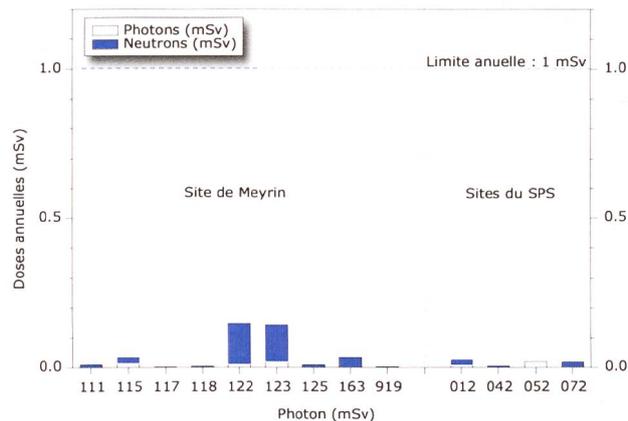
d'émissions en iode ( $^{124}\text{I}$ ,  $^{126}\text{I}$ , et  $^{131}\text{I}$ ) ainsi qu'en émetteurs alpha de demi-vie courte ( $^{212}\text{Pb}$ ) provenant de l'installation ISOLDE ne figurent pas dans le tableau 1 : 3.6 MBq d'iode radioactif et 54 kBq de  $^{212}\text{Pb}$ . Aucun émetteur alpha de demi-vie longue n'a été émis par l'installation.

### Rejets de substances radioactives dans les cours d'eau

Les effluents du CERN sont rejetés dans plusieurs cours d'eaux qui rejoignent finalement le bassin du lac Léman ou le Rhône. Cependant, l'impact de chaque point de rejet doit être déterminé spécifiquement car les membres du public peuvent être exposés à un point de rejet unique. Les radionucléides rejetés se répartissent en deux catégories: (a) le tritium sous forme aqueuse (HTO) et (b) l'activité beta total imputable en grande majorité au  $^{22}\text{Na}$ . Le tableau 2 présente les rejets de 2010, mais seulement pour les points de rejet où des radionucléides en concentrations supérieures aux limites de détection ont été mesurés. La sommation de ces rejets est dénuée de sens car, en règle générale, les différents groupes de population sont exposés de manière distincte. La dose résultante est négligeable. En 2010, aucun membre du public n'a pu recevoir une dose supérieure à 0.00003 mSv par le biais des rejets de substances radioactives provenant des sites CERN dans les cours d'eau (<0.01% de la limite).

### Surveillance des immissions

Le  $^7\text{Be}$  est un radioélément faiblement radiotoxique, produit dans l'air par les particules de hautes énergies. Il possède une grande affinité aux aérosols, ce qui permet de l'utiliser comme marqueur de rejets dans l'atmosphère de particules radioactives en suspension dans l'air provenant des accélérateurs (voir tableau 1). Cependant, ce radioélément est également produit naturellement par les rayonnements cosmiques en atmosphère. Aux latitudes moyennes, la concentration en  $^7\text{Be}$  dans l'air varie au cours de l'année, avec des maximums en début d'été et en été, lorsque la tropopause, une couche se situant entre la troposphère et la stratosphère, se rompt. L'air provenant de la stratosphère, riche en radioéléments produits par rayonnements cosmiques, est alors injecté dans la troposphère. Les pluies influencent aussi la concentration naturelle en  $^7\text{Be}$ , car elles précipitent les aérosols en suspension dans l'air. La figure 4 montre la concentration de  $^7\text{Be}$  dans l'air ambiant collecté dans deux types de stations : (a) des stations situées autour du CERN pouvant capter des rejets d'accélérateurs et (b) des stations de référence éloignées (PSA951) voire très éloignées des accélérateurs (HVS Oberschrot/FR). Toutes les courbes suivent la même tendance, prouvant ainsi que la majeure partie de



**Figure 3:** Doses ambiantes annuelles nettes enregistrées par les moniteurs de rayonnements diffusés (CERN, 2010).

$^7\text{Be}$  ; l'activité beta total (majoritairement  $^{32}\text{P}$ ,  $^{33}\text{P}$ ) et le tritium ( $^3\text{H}$ ). Les valeurs tritium sont surestimées car elles dérivent d'une méthode d'évaluation très conservatrice. L'impact radiologique du tritium est cependant négligeable (voir plus loin). Les valeurs

**Tableau 1:**  
Radioactivité du CERN rejetée dans l'air en 2010.

Origine du rejet	Station	Air rejeté	$^{11}\text{C}, ^{13}\text{N}, ^{14}\text{O},$ $^{15}\text{O}, ^{41}\text{Ar}$	$^7\text{Be}$ aérosol	Bêta aérosol	Tritium
		$10^6 \text{ m}^3$	TBq	MBq	MBq	GBq
Anneau principal PS	PMV174	352	3.0	144	5.3	3.2
TT10 injection PS-SPS	PMV11	231	7.6	230	8.7	9.7
Ventilation SPS, BA5	PMV51	370	0.6	0.003	0.0	5.6
ISOLDE	PMV170	84	6.6	6.1	0.6	1.7
n-TOF	PMV171	5.5	4.3	0.02	0.04	2.2
TT60 extr. SPS-Ouest <sup>1)</sup>	PMV172	69	0.0	0.0	0.0	0.0
TT70 transfert, PS-SPS	PMV173	69	0.4	0.05	0.0	58
TI2 transfert, SPS-LHC	PMV200	113	0.0	0.0	0.0	0.0
LHC PA1	PMV901	610	0.0	0.0	0.0	0.0
LHC PA1, ATLAS	PMV911-14	728	0.0	0.0	0.0	0.0
LHC PA8, LHC-b	PMV982	361	0.0	0.0	0.0	0.0
LHC PA7, collimateurs	PMV907	659	0.045	0.0	0.0	0.0

<sup>1)</sup> pas de faisceau dans le tunnel

**Tableau 2:**  
Radioactivité du CERN rejetée dans l'eau en 2010.

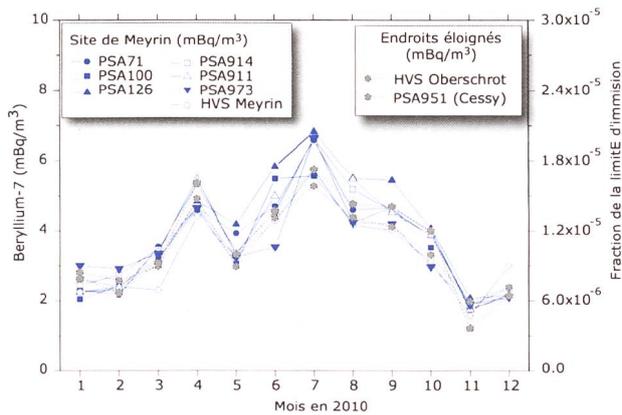
Origine du rejet	Station	Quantité d'eau	Tritium	Bêta/gamma ( $^{22}\text{Na}$ )	Rejeté dans:
		$10^6 \text{ m}^3$	GBq	MBq	
Site de Prévessin, SPS	PMW21	0.22	19.6	31.7	Le Lion (F)
Refroidissement du SPS	PMW62	0.15	0.16	1.30	Nant d'Avril (CH)
Site de Meyrin Sud-est	PMW101	1.23	3.3	4.8	Nant d'Avril (CH)
Site de Meyrin Nord-est	PMW102	0.11	1.6	0.0	Nant d'Avril (CH)
Site de Meyrin Ouest	PMW103	0.34	1.1	0.0	Le Lion (F)
AD infiltration	PMW104	0.003	0.054	2.7	STEP Satigny <sup>2)</sup>
Site SPS BA6 + site LHC PA1	PMW910	2.29	5.8	33	Nant d'Avril (CH)
CNGS, rejet par le site du LHC PA8	PMW980	0.002	0.65	0.0	Le Nant (F)

<sup>2)</sup> Station d'épuration d'eau Bois-de-Bay à Satigny/GE.

l'activité en  $^7\text{Be}$  mesurée est d'origine naturelle. La contribution provenant des accélérateurs du CERN n'a en aucun cas excédé  $1.3 \text{ mBq/m}^3$ , soit  $0.0004\%$  des limites d'immissions suisses [5]. La mesure de l'échantillonneur d'aérosols à haut volume PSA973 situé au LHC-PA7 a été suffisamment sensible pour détecter le  $^{22}\text{Na}$  naturel, aussi produit par rayonnements cosmiques. Les quantités mesurées, soit  $<0.0009 \text{ mBq/m}^3$ , correspondent à celles mesurées avant que le LHC ne soit en opération. Les mesures des filtres d'aérosols de la station de ventilation PMV907 n'ont pas mis de  $^{22}\text{Na}$  en évidence.

Concernant l'environnement aquatique, seuls trois échantillons provenant de cours d'eau récepteurs des effluents du CERN ont présenté une concentration en tritium supérieure aux valeurs habituelles ;

deux échantillons d'eau proviennent de la rivière le Lion (FR), en aval du point de rejet PMW21 (comparer avec le tableau 2), et un échantillon provient du ruisseau le Nant (FR). Dans le premier cas, les concentrations en tritium ont été respectivement de  $45 \pm 2 \text{ Bq/l}$  et  $12 \pm 1.3 \text{ Bq/l}$ , dans le second de  $7.5 \pm 1.2 \text{ Bq/l}$ . Le tritium provient respectivement des zones expérimentales du site de Prévessin du CERN et de l'installation CNGS. La limite d'immission suisse pour le tritium dans l'eau est de  $12'000 \text{ Bq/l}$  [5]; la valeur la plus élevée ne représente donc que  $0.38\%$  de la limite [5]. Les bryophytes (mousses) sont d'excellent bioaccumulateurs de pollution; alors que la mesure de l'eau de rivière est une valeur instantanée, ces végétaux, qui peuvent être assimilés à des collecteurs, permettent d'identifier des radionucléides ayant été présents dans



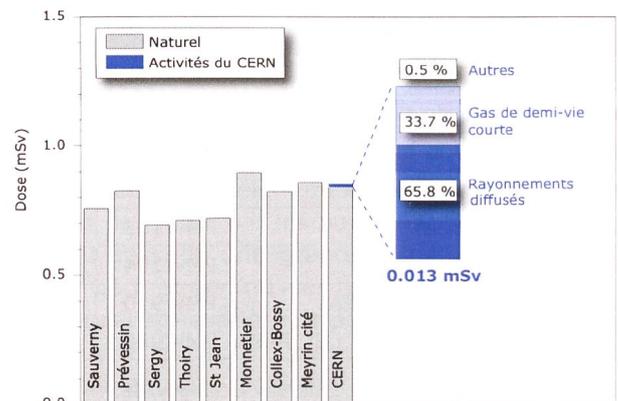
**Figure 4:** Activités en <sup>7</sup>Be mesurées par le biais de 9 stations d'échantillonnage dont 7 sont situées sur ou proches des sites du CERN. PSA71: Site du SPS BA-7. PSA100: Site CERN de Meyrin. PSA126: Proche du PS. PSA914: Site du LHC PA1. PSA911: Proche d'une ferme de Meyrin. PSA973: Échantillonneur CERN à haut débit sur le site du LHC PA7 proche de Collex-Bossy/GE. HVS Meyrin, HVS Oberschrot: Échantillonneurs OFSP à haut débit sur le site CERN de Meyrin et à Oberschrot/FR [4]. PSA951: Cessy, France.

l'eau. Les mesures des bryophytes collectées dans le Lion ont permis de mettre en évidence des faibles traces de <sup>54</sup>Mn (demi-vie de 312 jours) dans deux échantillons:  $9 \pm 3$  Bq/kg et  $28 \pm 4$  Bq/kg (échantillons séchés). A ces mêmes points de collecte et en dehors du tritium, aucun autre radionucléide n'a pu être détecté dans les échantillons d'eau et de sédiments. Tous les échantillons susmentionnés ont été collectés en octobre, pratiquement à la fin de la période d'exploitation des accélérateurs. La concentration maximale mesurée ne représente que 0.28% de la limite d'exemption suisses [5]. Bien que les radionucléides aient été mesurés dans des échantillons provenant du territoire Français, ils sont mentionnés dans ce présent rapport car la rivière le Lion rejoint l'Allondon qui termine son cours dans le Rhône. Le Nant rejoint le Marquet qui se déverse dans le lac Léman. Aucun radionucléide provenant des effluents du CERN n'a pu être mesuré dans le Nant d'Avril, dont le flux est principalement alimenté par les eaux de rejet du CERN durant les périodes sèches. Cette rivière fait depuis 1998 l'objet de contrôles réguliers par l'Institut Forel de l'Université de Genève. En 2010, leurs méthodes de détection caractérisées par leur extrême sensibilité ont permis de révéler à deux reprises du <sup>22</sup>Na dans l'eau de rivière, imputable au CERN. Les concentrations sont restées inférieures à 0.005 Bq/l [6], soit 0.008% de la limite d'immission [5]; concernant ce sujet, voir le chapitre 8.5.

Aucun radionucléide produit au CERN n'a pu être mis en évidence dans aucun des autres des échantillons environnementaux; l'impact écologique du CERN a été insignifiant.

## Impact radiologique

La dose effective, reçue par les membres du groupe de référence pour le site de Meyrin du CERN en 2010, a été calculée à partir des valeurs enregistrées par le moniteur de rayonnements diffusés PMS163, situé à proximité du groupe de référence pour le site de Meyrin, ainsi que des activités des substances rejetées dans l'air et l'eau, en utilisant un modèle de diffusion amélioré basé sur les directives [1, 2]. La valeur de dose résultante est de 0.013 mSv, qui doit être comparée avec la valeur guide pour les membres du public de 0.3 mSv, comme définie en [3] (<4.3%). De fait, en 2010 et à l'instar des années précédentes, le CERN a entièrement respecté les réglementations relatives à la radioprotection. La dose effective totale de 0.013 mSv a consisté pour 66% en rayonnements diffusés et pour 34% en rejets de radionucléides gazeux à demi-vie courte. Les autres radionucléides et voies d'exposition, incluant les rejets en eau (<0.00003 mSv), ont contribué à peine 0.5%. Les deux contributeurs majeurs sont surveillés en continu, garantissant ainsi un temps de réaction optimal en cas de dégradation de fonctionnement des installations.



**Figure 5:** Contribution à la dose annuelle des activités du CERN sur le site CERN de Meyrin, comparée aux variations des doses externes naturelles dans des communes françaises et suisses situées à proximité. La contribution du CERN de 0.013 mSv doit être comparée à la valeur directrice de dose liée à la source de 0.3 mSv [3].

## Conclusions

- Les résultats du programme de surveillance effectué par le CERN, combinés aux calculs de dose pour les populations des groupes de référence ont démontré, à l'instar des années précédentes, que l'Organisation a respecté largement la valeur directrice de 0.3 mSv/a pour l'année 2010;
- Des techniques de mesure sensibles ont permis de détecter des radionucléides en faibles concentrations dans certains échantillons environnementaux. Les valeurs de concentration sont néanmoins restées inférieures à 0.4% des limites applicables. De fait, l'impact écologique du CERN a été négligeable;
- En 2010, 99% de la dose effective aux membres du public des groupes de référence provenait d'aspects environnementaux qui sont surveillés en continu. De manière à confronter l'impact dosimétrique des activités du CERN aux valeurs typiques d'expositions naturelles, la Figure 5 compare la dose susmentionnée de 0.013 mSv avec la dose équivalente annuelle mesurée en plusieurs endroits éloignés des sites CERN.

## Référence

- [1] Hauptabteilung für die Sicherheit der Kernanlagen (HSK), Berechnung der Strahlenexposition in der Umgebung aufgrund von Emissionen radioaktiver Stoffe aus Kernanlagen, HSK-R-41/d (Juli 1997).
- [2] Generic Models for Use in Assessing the Impact of Discharges of Radioactive Substances to the Environment, Safety Reports Series No. 19, IAEA, Vienna (2001).
- [3] Code F Rev., Radioprotection – Manuel de radioprotection, CERN (2006).
- [4] S. Estier et al, Surveillance de la radioactivité dans l'environnement: Résultats des mesures 2010 de la section URA, Office fédéral de la santé publique, Unité de direction Protection des consommateurs, Division radioprotection, Berne (2011).
- [5] Ordonnance sur la radioprotection (ORaP), 814.501, Berne (2011), Annexe 3.
- [6] J.-L. Loizeau, Ph. Arpagaus et K. Loizeau, Rapport No 11 sur les mesures de la radioactivité dans le Nant d'Avril (Genève), Novembre 2009 – Novembre 2010, Université de Genève, Genève (2010) p. 8.

## Glossaire

<b>AD</b>	Décélérateur d'antiprotons
<b>CLIC</b>	Compact Linear Collider, projet impliquant un collisionneur linéaire
<b>CNGS</b>	CERN neutrinos to Gran Sasso, source de neutrinos pour les expériences souterraines situées au Gran Sasso (IT)
<b>CTF3</b>	CLIC Test Facility, installation de test pour le projet CLIC
<b>ISOLDE</b>	Isotope Separator On-Line Device – Séparateur de radio-isotopes en ligne
<b>LEIR</b>	Low Energy Ion Ring, stockage des ions lourds avant leur accélération par le PS
<b>LHC</b>	Large Hadron Collider – Grand collisionneur d'hadrons
<b>LINAC2</b>	Accélérateur linéaire pour les protons, injecteur du PSB
<b>LINAC3</b>	Accélérateur linéaire d'ions lourds, injecteur du LEIR
<b>n-TOF</b>	neutron Time-Of-Flight, expérience impliquant une source de neutrons de spallation
<b>PSB</b>	Proton Synchrotron Booster – accélérateur injecteur pour le PS et pour l'ISOLDE
<b>PS</b>	Synchrotron à protons
<b>SPS</b>	Super synchrotron à protons

