

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: - (2000)

Rubrik: Überwachung der Kernanlagen : Emissionen und Immissionen

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>

8. Überwachung der Kernanlagen: Emissionen und Immissionen (Zusammenfassung)

F. Cartier, A. Leupin

Hauptabteilung für die Sicherheit der Kernanlagen, HSK, 5232 VILLIGEN-HSK

Zusammenfassung

Die Abgaben radioaktiver Stoffe mit Abwasser und Abluft lagen im Jahr 2000 für die vier Schweizer Kernkraftwerke Beznau (KKB), Gösgen (KKG), Leibstadt (KKL) und Mühleberg (KKM) sowie für das Paul-Scherrer-Institut (PSI) deutlich unterhalb der Jahres- und Kurzzeit-Abgabelimite. Die aus den tatsächlichen Abgaben für jedes Werk errechnete Strahlenexposition für Erwachsene und Kleinkinder in unmittelbarer Nähe der Anlage liegt selbst unter Berücksichtigung der Ablagerungen aus den Vorjahren weit unterhalb des quellenbezogenen Dosisrichtwerts von 0.2 mSv pro Jahr.

Im diesjährigen Bericht sind die Zeitreihen der Dosismessungen am Zaun von KKL und der ^{14}C -Abgaben aus dem KKL näher erörtert. Eine detaillierte Analyse der Dosiswerte am Zaun zeigt, dass seit Betriebsaufnahme von KKL die Dosis im Bereich von $\pm 20\%$ konstant ist. An der meistexponierten Stelle am Zaun beträgt die Dosis im Jahr 2000 etwa 2,8 mSv. – Die ^{14}C -Abgaben des KKL werden seit Mitte des Jahres 1998 mit einem erneuerten und aufgrund der Resultate einer internationalen Vergleichsmessung neu kalibrierten System bestimmt. Die Änderung der Kalibrierung führte dazu, dass die für Einzelpersonen der Bevölkerung errechnete Dosis seit 1998 etwas angestiegen ist.

Im KKM ist seit dem Herbst 2000 eine Erhöhung der Dosisleistung im Maschinenhaus und am Zaun feststellbar. Dies ist eine Folge der geänderten Reaktorwasserchemie, die einen zusätzlichen Schutz der Reaktoreinbauten vor Korrosion bezweckt. An den meistexponierten Stellen am Zaun beträgt die Dosis ca. 60 % des in der HSK-Richtlinie R-11 festgelegten Dosisrichtwerts von 0.1 mSv pro Woche.

Die externe Strahlung ist mit dem Messnetz zur automatischen Dosisleistungsüberwachung in der Umgebung der Kernkraftwerke (MADUK) ständig überwacht worden. Die Messwerte der 57 MADUK-Sonden werden alle 10 Minuten in die zentrale Auswertstelle der HSK übertragen und automatisch auf Abweichungen vom natürlichen Schwankungsbereich analysiert, gegebenenfalls erhält der mit dem Pikett Beauftragte eine

Meldung. Die im Berichtsjahr erkannten, nicht meteorologisch bedingten Abweichungen liessen sich mit Kalibrierungsarbeiten an NADAM-Sonden erklären.

Im Rahmen des permanenten Probenahme- und Messprogramms für Immission wurden die wichtigsten Expositionspfade radioaktiver Stoffe in der Umgebung überwacht.

Im aquatischen Milieu zeigten Wasser- und Sedimentproben Spuren von künstlichen Radioisotopen, wie ^{54}Mn , ^{58}Co , ^{60}Co und ^{65}Zn , welche aus den Abgaben der Kernanlagen stammen, sowie von primär aus Tschernobyl herrührendem ^{137}Cs .

Für die luftgetragenen Emissionen können die gemessenen künstlichen Radionuklide im allgemeinen mit den Atomwaffentests (^{90}Sr) oder mit dem Reaktorunfall in Tschernobyl (^{137}Cs) in Verbindung gebracht werden. Die Spuren von ^{60}Co , die im Boden in der Umgebung des KKM gemessen wurden, korrelieren mit den Messungen der Vorjahre und es gibt keine Hinweise auf aktuelle Abgaben. Die langjährige Messreihe von ^{14}C in Baumblättern aus der Umgebung der Kernanlagen wurde von der Universität Bern fortgesetzt.

In Lebensmitteln konnte keine Erhöhung von künstlichen Radionukliden gemessen werden, die auf den Betrieb der schweizerischen Kernanlagen zurückzuführen ist.

8.1. Emission aus den Kernanlagen

F. Cartier, A. Leupin, J.Löhle, W. Baur und M. Schibli

Hauptabteilung für die Sicherheit der Kernanlagen, HSK, 5232 VILLIGEN-HSK

Die Abgabe der schweizerischen Kernkraftwerke der letzten fünf Jahre sind in Figur 1 für Abluft und Abwasser im Vergleich zu den Jahreslimiten dargestellt. In dieser Zeitspanne haben alle Kernkraftwerke die Jahres- und die Kurzzeitlimiten eingehalten. Tabelle 1a zeigt die Zahlenwerte sowie die unter ungünstigen Annahmen errechnete Personendosis für Erwachsene und Kleinkinder im Jahr 2000. Die Abgaben des Paul Scherrer Instituts und die daraus in gleicher Weise berechnete Dosiswerte sind in Tabelle 1b zusammengestellt. Die Aktivitätsabgaben mit dem Abwasser sind in Tabelle 1c, mit der Abluft in den Tabellen 1d und 1e nuklidspezifisch aufgelistet. Die Fussnoten zu den Tabellen geben Hinweise zu den Limiten, den Messungen und den bei der Berechnung der Jahresdosis verwendeten Annahmen.

Die Abgabemessungen der Kernkraftwerke wurden mit insgesamt mehr als 100 Proben durch die Behörden kontrolliert. Stichprobenweise wurden Aerosol- und Jodfilter sowie Abwasserproben analysiert. Die Ergebnisse stimmen gut überein und zeigen, dass die Abgabereglemente beachtet werden. Figur 2a und 2b zeigt die vom Labor IRA ermittelten Strontium- und Aktiniden-Konzentrationen in Abwasserproben, die als Mischproben über einen Monat erhoben wurden. Die Konzentrationen betragen nur einen Bruchteil der in der Strahlenschutzverordnung angegebenen Freigrenze für die spezifischen Aktivität.

Die aus den Emissionen der Kernkraftwerke errechnete Jahresdosis für Einzelpersonen der Bevölkerung in unmittelbarer Nähe der Anlagen beträgt unter Berücksichtigung der Ablagerungen aus den Vorjahren beim KKB ungefähr 0.002 mSv, beim KKG weniger als 0.002 mSv, beim KKL weniger als 0.005 mSv und beim KKM ungefähr 0.006 mSv, wobei der Dosisbeitrag aufgrund der Abgaben im Jahr 2000 beim KKM unter 0.002 mSv liegt. Die berechneten Dosiswerte für Einzelpersonen der Bevölkerung betragen im Jahre 2000 somit einen Bruchteil des quellenbezogenen Dosisrichtwerts von 0.2 mSv pro Jahr.

Bei den Kernkraftwerken ergeben die ^{14}C -Abgaben im Jahr 2000 den grössten Dosisanteil. Dieses Nuklid entsteht im Reaktor durch Kernreaktionen von Neutronen mit Stickstoff, Kohlenstoff und Sauerstoff. Die Produktionsrate in den Kernkraftwerken ist primär von der Reaktorleistung abhängig. Die HSK berücksichtigt bei den Dosisberechnungen die ^{14}C -Abgaben, da diese in Jahren mit

geringen Gesamtabgaben die Dosis weitgehend bestimmen. KKL führt aus eigener Veranlassung ^{14}C Messungen durch und hat Mitte 1998 das System zur Messung von ^{14}C erneuert und aufgrund der Resultate einer internationalen Vergleichsmessung neu kalibriert. Die Änderung der Kalibrierung führte dazu, dass die errechnete Dosis seit 1998 etwas angestiegen ist (Fig. 1 im Kap. 8.3). Bei den andern schweizerischen Kernkraftwerken werden bei der Dosisberechnung für die ^{14}C -Abgaben Messergebnisse aus früheren Jahren eingesetzt, die in den nächsten Jahren Gegenstand einer Überprüfung sein werden.

Die Kernkraftwerke waren für Revisionsarbeiten während folgender Perioden abgestellt: KKB I vom 21. Juli bis 7. Oktober, KKB II vom 1. bis 13. Juli, KKG vom 8. Juli bis 4. August, KKL vom 31. Juli bis zum 25. August und KKM vom 4. bis 23. August 2000.

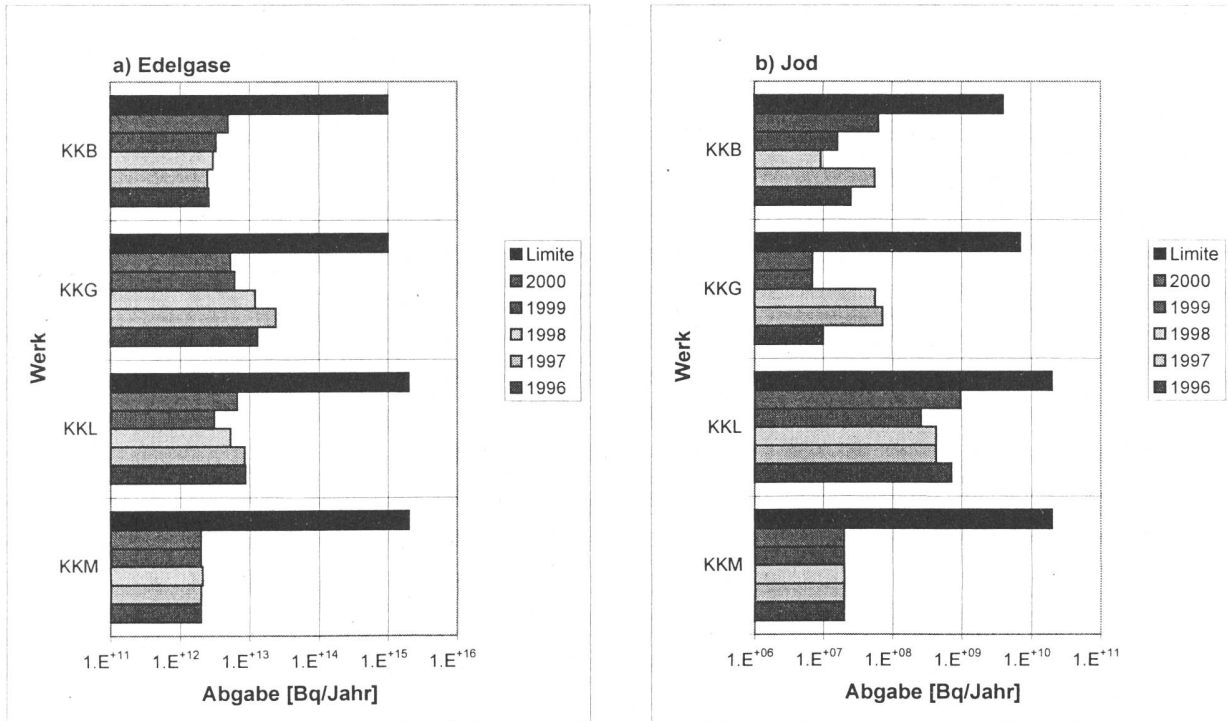
Das PSI ist aufgrund der Bewilligung für die Abgaben radioaktiver Stoffe und die Direktstrahlung verpflichtet, sowohl für die einzelnen Anlageteile als auch für die Gesamtanlage des PSI Berechnungen über die aus den Abgaben resultierenden Dosiswerte in der Umgebung durchzuführen. Beim PSI errechnet die HSK eine Jahresdosis für Einzelpersonen in der Umgebung von ca. 0.005 mSv. Beinahe die gesamte Dosis ergibt sich hier durch die Abgabe von kurzlebigen radioaktiven Gasen aus den Teilchenbeschleunigern im Westteil. Die vom PSI und von der HSK unabhängig voneinander durchgeführten Berechnungen zeigen, dass selbst unter ungünstigen Annahmen die Jahresdosis für Einzelpersonen der Bevölkerung in der Umgebung deutlich unterhalb des Dosisrichtwerts von 0,2 mSv pro Jahr liegt.

Im Berichtsjahr wurde die Bewilligung für die Abgaben radioaktiver Stoffe und die Direktstrahlung aus dem PSI revidiert, wobei der quellenbezogene Dosisrichtwert für das PSI von 0,2 mSv pro Jahr auf den Dosisanteil von 0,15 mSv pro Jahr reduziert wurde. Gemäss der Strahlenschutzverordnung sind bei der Festlegung des quellenbezogenen Dosisrichtwerts am Standort auch die Abgaben radioaktiver Stoffe und die Direktstrahlung aus benachbarten Betrieben zu berücksichtigen. Durch den Bau und die formale Inbetriebnahme des Zentralen Zwischenlagers (ZZL) ergab sich diesbezüglich in der unmittelbaren Nachbarschaft des PSI eine wesentliche Änderung. In Zukunft soll die Verbrennung radioaktiver Abfälle

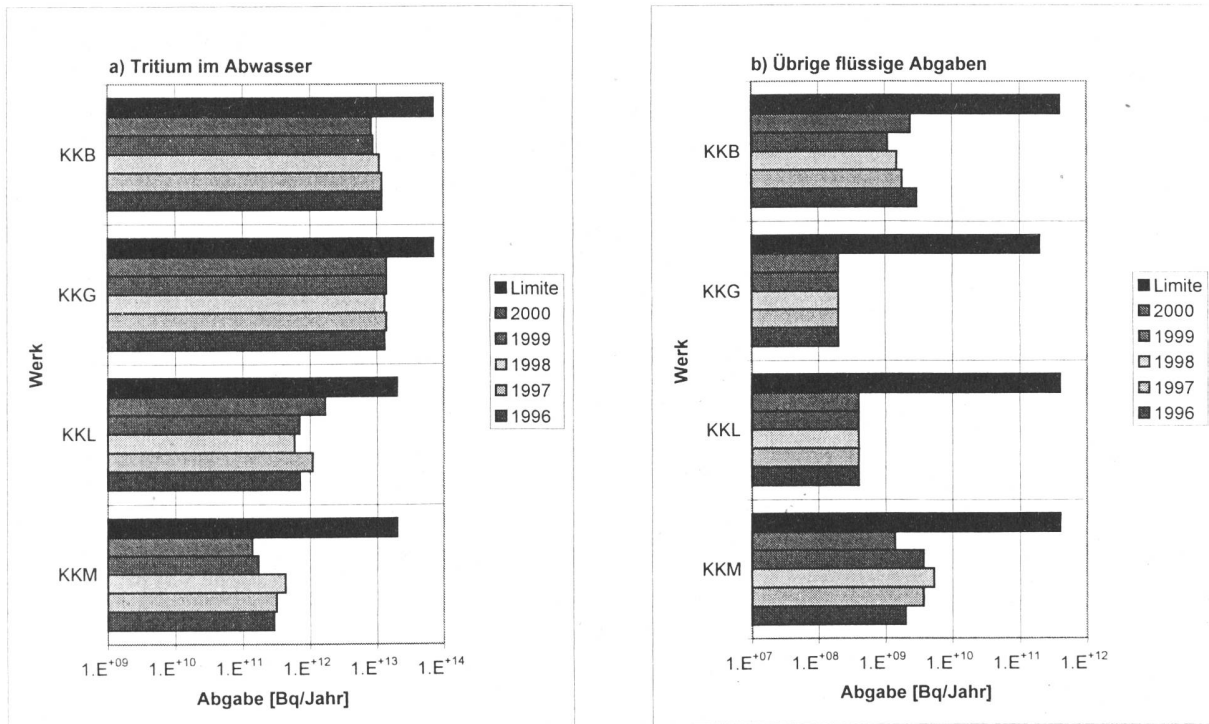
nicht mehr am PSI sondern im ZZL durchgeführt werden. Dem ZZL wurde ein Dosisanteil von 0.05 mSv pro Jahr zugeordnet, so dass der quellenbe-

zogene Dosisrichtwert von 0.2 mSv pro Jahr für den Standort unverändert bleibt.

1. Abluft



2. Abwasser



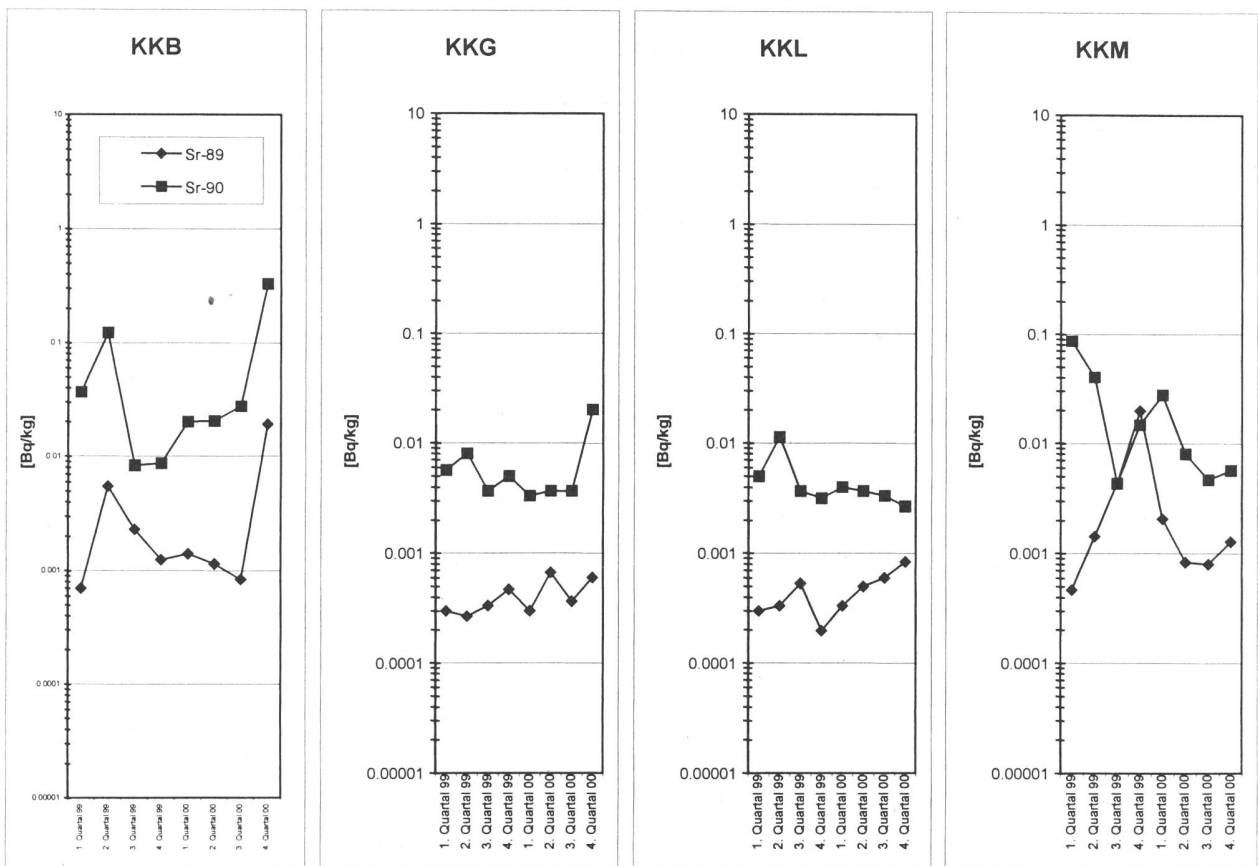
Figur 1: Abgaben der schweizerischen Kernkraftwerke in den letzten fünf Jahren im Vergleich mit den Abgabelimiten. (Siehe Tabelle 1a)

Tabelle 1a: Zusammenstellung der Abgaben radioaktiver Stoffe der Kernkraftwerke an die Umgebung im Jahr 2000 und die daraus berechnete Dosis für Einzelpersonen der Bevölkerung (*Fussnoten auf Seite 8.1.9*)

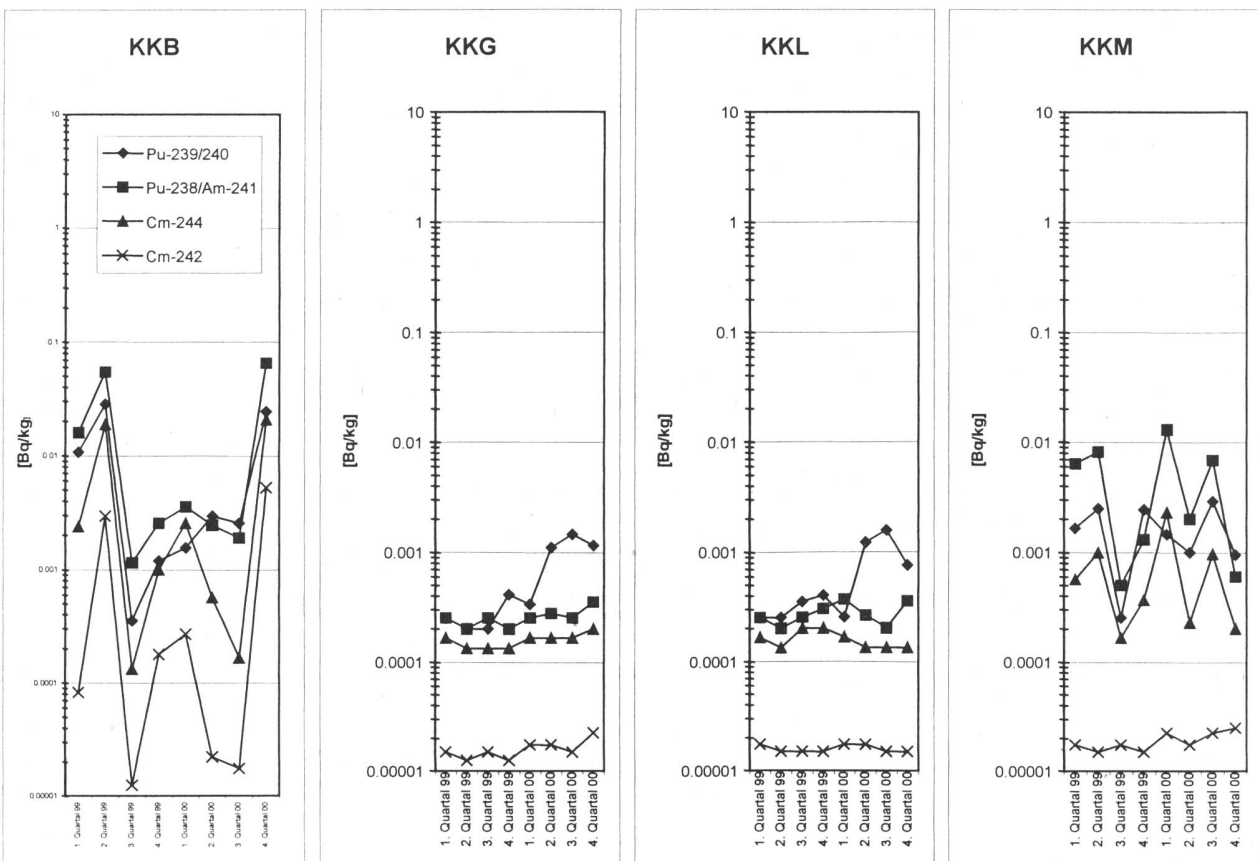
Anlage	Medium	Art der Abgaben ⁴	Abgabe- limite ¹	Tatsächliche Abgaben ²		Berechnete Jahresdosis ³	
			Bq/a	Bq/a (±50%)	Prozent der Limite	Erwachsener mSv/a	Kleinkind mSv/a
KKB 1 + KKB 2	Abwasser 3690 m ³	Nuklidgemisch	4·10 ¹¹	2.4·10 ⁹	0.6%	<0.001	<0.001
		Tritium	7·10 ¹³	8.8·10 ¹²	11.9%	<0.001	<0.001
	Abluft	Edelgase	1·10 ¹⁵	4.9·10 ¹²	0.5%	<0.001	<0.001
		Aerosole	6·10 ⁹	-	<0.1%	<0.001	<0.001
		¹³¹ I	4·10 ⁹	6.3·10 ⁷	1.6%	<0.001	<0.001
		¹⁴ C	-	4.0·10 ¹⁰	-	0.0011	0.0018
KKM	Abwasser 5627 m ³	Nuklidgemisch	4·10 ¹¹	1.4·10 ⁹	0.3%	<0.001	<0.001
		Tritium	2·10 ¹³	1.4·10 ¹¹	0.7%	<0.001	<0.001
	Abluft	Edelgase	2·10 ¹⁵	-	<0.1%	<0.001	<0.001
		Aerosole	2·10 ¹⁰	-	<0.1%	0.0059	0.0047
		¹³¹ I	2·10 ¹⁰	2.0·10 ⁷	<0.1%	<0.001	<0.001
		¹⁴ C	-	2·10 ¹¹	-	<0.001	0.0011
KKG	Abwasser 7730 m ³	Nuklidgemisch	2·10 ¹¹	-	<0.1%	<0.001	<0.001
		Tritium	7·10 ¹³	1.4·10 ¹³	20.0%	<0.001	<0.001
	Abluft	Edelgase β-total-Messung	1·10 ¹⁵	<5.3·10 ¹² <4.6·10 ¹²	0.5%	<0.001	<0.001
		Aerosole	1·10 ¹⁰	-	<0.1%	<0.001	<0.001
		¹³¹ I	7·10 ⁹	-	<0.1%	<0.001	<0.001
		¹⁴ C	-	1.0·10 ¹¹	-	<0.001	0.0011
KKL	Abwasser 16236 m ³	Nuklidgemisch	4·10 ¹¹	-	<0.1%	<0.001	<0.001
		Tritium	2·10 ¹³	1.7·10 ¹²	8.5%	<0.001	<0.001
	Abluft	Edelgase	2·10 ¹⁵	6.6·10 ¹²	0.3%	<0.001	<0.001
		Aerosole	2·10 ¹⁰	2.1·10 ⁷	0.1%	<0.001	<0.001
		¹³¹ I	2·10 ¹⁰	9.6·10 ⁸	4.8%	<0.001	<0.001
		¹⁴ C	-	5.1·10 ¹¹	-	0.0026	0.0043

Tabelle 1b: Zusammenstellung der Abgaben des Paul Scherrer Instituts im Jahr 2000 und der daraus berechneten Dosis für Einzelpersonen der Bevölkerung. (Fussnoten auf Seite 8.1.9)

Gesamtanlage des PSI	Abwasser PSI	Tritiumhütte	Injektor II	Injektor I	Zentrale Fortluftanlage PSI West	Bundeszwischenlager	Betriebsgebäude für radioaktive Abfälle	Saphir	Verbrennungsanlage	Hochkamin	
Abgaben im Abwasser ^{2), 4)} [Bq]	3,4·10 ⁸ 1,0·10 ¹⁰	-	-	-	-	-	-	-	-	-	Nuklidgemisch ohne Tritium
											Tritium
Abgaben über die Abluft ^{2), 4)} [Bq]	-	-	8,2·10 ¹⁰ 3,4·10 ⁶	7,3·10 ⁹ -	1,1·10 ¹⁴ 1,1·10 ¹⁰	-	-	-	-	5,1·10 ¹¹ 7,2·10 ⁸	Edelgase und andere Gase
											β/γ-Aerosole (ohne Iod, Halbwertszeit > 8 Std)
											α-Aerosole
											Iod (I-131-aeq.)
											Tritium (tritiertes Wasser)
Jahresdosis ³ [mSv/Jahr] für:	<0,00015 <0,00015	<0,00015 <0,00015	<0,00015 <0,00015	<0,00015 <0,00015	0,0030 0,0030	<0,00015 <0,00015	<0,00015 <0,00015	<0,00015 <0,00015	<0,00015 0,0002	<0,00015 <0,00015	Erwachsene
											Kleinkinder
Anteil am quellenbezogenen Dosisrichtwert ¹	<0,1%	<0,1%	<0,1%	<0,1%	2,0%	<0,1%	<0,1%	<0,1%	<0,13 %	<0,1%	<3,0%



Figur 2a: Strontium-Analysen von über einen Monat gemittelten Abwasserproben im Jahr 1999 und 2000 (Gemessen durch IRA)



Figur 2b: Alpha-Analysen von über einen Monat gemittelten Abwasserproben im Jahr 1999 und 2000 (Gemessen durch IRA)

Tabelle 1c: Flüssige Abgaben der Kernanlagen an die Aare oder den Rhein, 2000: Summe der bei Einzelmessungen nachgewiesenen Aktivitätsabgaben ²⁾ (Fussnoten auf Seite 8.1.9)

Nuklid β/γ-Strahler	Abgaben [Bq im Jahr]				
	Beznau	Gösgen	Leibstadt	Mühleberg	PSI
³ H	8.3·10 ¹²	1.4·10 ¹³	1.7·10 ¹²	1.4·10 ¹¹	1.0·10 ¹⁰
⁷ Be					9.5·10 ⁶
²² Na					9.0·10 ⁵
²⁴ Na	1.2·10 ⁸				
³⁵ S					1.8·10 ⁶
⁵¹ Cr	1.8·10 ⁸			3.2·10 ⁷	
⁵⁴ Mn	1.9·10 ⁸		9.2·10 ⁶	3.4·10 ⁸	7.1·10 ⁵
⁵⁹ Fe	9.9·10 ⁵				
⁵⁷ Co	2.1·10 ⁸				4.3·10 ⁵
⁵⁸ Co	3.0·10 ¹⁰		3.2·10 ⁶	2.8·10 ⁸	4.7·10 ⁵
⁶⁰ Co	3.1·10 ⁹	2.6·10 ⁶	1.3·10 ⁸	1.7·10 ⁹	1.3·10 ⁸
⁶⁵ Zn	1.3·10 ⁷		3.2·10 ⁶	5.3·10 ⁸	1.6·10 ⁶
⁸⁹ Sr	3.3·10 ⁷			1.7·10 ⁹	
⁹⁰ Sr/ ⁹⁰ Y	1.7·10 ⁷			9.1·10 ⁵	1.8·10 ⁸
⁹⁵ Zr	4.0·10 ⁶				
⁹⁷ Zr	6.9·10 ⁶				
⁹⁵ Nb	4.5·10 ⁷		9.1·10 ⁵	6.2·10 ⁶	
⁹⁹ Mo	9.2·10 ⁶				
^{99m} Tc	2.1·10 ⁷				
¹⁰³ Ru	4.4·10 ⁶				
¹⁰⁹ Cd					
^{110m} Ag	1.3·10 ⁸				
¹²² Sb	9.7·10 ⁷				
¹²⁴ Sb	3.3·10 ⁹				3.0·10 ⁶
¹²⁵ Sb	3.0·10 ⁹				3.8·10 ⁷
^{123m} Te		4.7·10 ⁶			
¹³² Te	3.0·10 ⁶				
¹²⁵ I					2.5·10 ⁸
¹²⁶ I					
¹³¹ I	2.3·10 ⁸		2.3·10 ⁷		
¹³³ I	7.3·10 ⁶				
¹³⁴ Cs	5.6·10 ⁸		2.6·10 ⁷		1.3·10 ⁷
¹³⁶ Cs	1.2·10 ⁷				
¹³⁷ Cs	1.7·10 ⁹		5.3·10 ⁷	3.0·10 ⁹	1.9·10 ⁸
¹⁴⁰ Ba	7.7·10 ⁵				
¹³³ Ba					7.4·10 ⁶
¹⁴⁰ La	2.7·10 ⁶				
¹⁴¹ Ce	3.6·10 ⁵		5.4·10 ⁶		
¹⁴⁴ Ce	2.0·10 ⁶				
¹⁵² Eu					2.0·10 ⁶
¹⁵⁴ Eu					1.8·10 ⁷
α-Strahler		1.0·10 ⁵	1.2·10 ⁶		
²²⁴ Ra					3.0·10 ⁷
^{234/238} U					2.5·10 ⁶
^{239/240} Pu					6.2·10 ⁵
²³⁸ Pu/ ²⁴¹ Am					2.4·10 ⁵
²⁴⁴ Cm					

Tabelle 1d: Abgaben der Kernanlagen mit der Abluft, 2000: Summe der bei Einzelmessungen nachgewiesenen Aktivitätsabgaben
(Fussnoten auf Seite 8.1.9)

Nuklid β/γ -Strahler	Abgaben [Bq im Jahr]				
	Beznau	Gösgen	Leibstadt	Mühleberg	PSI
Tritium			$1.3 \cdot 10^{12}$		$1.0 \cdot 10^{12}$
^{11}C					$2.1 \cdot 10^{13}$
^{14}C			$5.1 \cdot 10^{11}$		
^{13}N					$2.1 \cdot 10^{13}$
^{15}O					$6.3 \cdot 10^{13}$
^{41}Ar				$7.3 \cdot 10^9$	$4.1 \cdot 10^{12}$
^{85}Kr				$7.3 \cdot 10^{10}$	$5.1 \cdot 10^{11}$
$^{85\text{m}}\text{Kr}$	$1.9 \cdot 10^{11}$		$1.6 \cdot 10^{11}$	$5.6 \cdot 10^{10}$	
^{87}Kr			$5.5 \cdot 10^{10}$	$2.5 \cdot 10^9$	
^{88}Kr				$3.5 \cdot 10^9$	
$^{131\text{m}}\text{Xe}$					
^{133}Xe	$5.4 \cdot 10^{12}$	$3.7 \cdot 10^{12}$	$7.9 \cdot 10^{12}$	$4.1 \cdot 10^{10}$	
$^{133\text{m}}\text{Xe}$					
^{135}Xe	$2.1 \cdot 10^{12}$	$4.6 \cdot 10^{11}$	$2.8 \cdot 10^{12}$	$3.9 \cdot 10^{10}$	
$^{135\text{m}}\text{Xe}$			$2.7 \cdot 10^{12}$	$7.0 \cdot 10^{10}$	
^{137}Xe					
^{138}Xe			$3.1 \cdot 10^{11}$	$1.7 \cdot 10^{11}$	
EG-Aequiv. ⁴⁾				$6.8 \cdot 10^{10}$	
Andere	$2.9 \cdot 10^{11}$	$4.6 \cdot 10^{11}$			
Jod					
^{123}I					$9.3 \cdot 10^7$
^{124}I					$5.0 \cdot 10^6$
^{125}I					$1.7 \cdot 10^8$
^{126}I					$3.0 \cdot 10^6$
^{131}I	$5.8 \cdot 10^7$		$9.6 \cdot 10^8$	$1.4 \cdot 10^7$	$3.3 \cdot 10^7$
^{133}I	$2.7 \cdot 10^7$				

Tabelle 1e: Abgaben der Kernanlagen mit der Abluft, 2000 (Fortsetzung)

Nuklid β/γ -Aerosole	Abgaben [Bq im Jahr]				
	Beznau	Gösgen	Leibstadt	Mühleberg	PSI
³⁸ S					$3.3 \cdot 10^9$
³⁸ Cl					$4.9 \cdot 10^{10}$
³⁹ Cl					$8.2 \cdot 10^9$
⁵¹ Cr				$2.4 \cdot 10^4$	
⁵⁴ Mn			$1.1 \cdot 10^5$		
⁵⁷ Co					
⁶⁰ Co		$1.7 \cdot 10^5$	$6.7 \cdot 10^4$	$1.4 \cdot 10^6$	$1.7 \cdot 10^6$
⁶⁵ Zn				$3.6 \cdot 10^5$	$1.2 \cdot 10^7$
⁶⁹ Ge					$1.0 \cdot 10^6$
⁷⁴ As					$1.2 \cdot 10^6$
⁷⁵ Se					$3.8 \cdot 10^6$
⁷⁶ Br					$2.0 \cdot 10^7$
⁷⁷ Br					$4.2 \cdot 10^6$
⁸² Br					$4.7 \cdot 10^8$
⁹⁰ Sr					
^{99m} Tc					$7.2 \cdot 10^8$
¹⁰⁶ Ru/Rh					$2.6 \cdot 10^5$
^{110m} Ag					$8.3 \cdot 10^6$
^{123m} Te					$1.2 \cdot 10^6$
^{125m} Te					$2.8 \cdot 10^7$
¹²⁴ Sb					
¹²⁵ Sb					$4.4 \cdot 10^5$
¹³¹ I			$3.5 \cdot 10^7$	$1.3 \cdot 10^4$	
¹³⁴ Cs					$1.0 \cdot 10^5$
¹³⁷ Cs			$1.4 \cdot 10^4$	$6.5 \cdot 10^6$	$5.6 \cdot 10^6$
¹⁴⁰ Ba			$2.1 \cdot 10^7$	$6.2 \cdot 10^5$	
¹⁴¹ Ce			$3.9 \cdot 10^7$		
¹⁸¹ Re					$3.6 \cdot 10^7$
¹⁸² Re					$1.0 \cdot 10^8$
¹⁸³ Re					$2.5 \cdot 10^5$
¹⁸² Os					$2.0 \cdot 10^8$
¹⁸³ Os					$1.4 \cdot 10^8$
^{183m} Os					$1.4 \cdot 10^8$
¹⁸⁵ Os					$9.6 \cdot 10^6$
¹⁹¹ Os					$2.9 \cdot 10^5$
¹⁹² Au					$2.0 \cdot 10^9$
¹⁹³ Au					$2.8 \cdot 10^8$
¹⁹² Hg					$8.7 \cdot 10^8$
^{193m} Hg					$2.4 \cdot 10^8$
¹⁹⁵ Hg					$3.3 \cdot 10^9$
^{195m} Hg					$1.0 \cdot 10^8$
^{197m} Hg					$1.2 \cdot 10^8$
²⁰³ Hg					$5.4 \cdot 10^6$
Beta-Total	$4.0 \cdot 10^5$				
α -Aerosole		$3.1 \cdot 10^4$	$4.6 \cdot 10^4$		
²¹⁰ Po					$8.6 \cdot 10^5$

Fussnoten der Tabellen 1

1. **Abgabelimiten** gemäss Bewilligung der jeweiligen Kernanlage. Die Abgabelimiten wurden für die Kernkraftwerke so festgelegt, dass die radiologische Belastung der kritischen Bevölkerungsgruppe in der Umgebung unter 0,2 mSv/Jahr bleibt. Für das Paul Scherrer Instituts (PSI) sind die Abgaben gemäss Bewilligung 6/2000 direkt durch 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 PSI. Die Messgenauigkeit beträgt ca. $\pm 50\%$. Abgaben unterhalb 0,1% der Jahresabgabelimite werden von der HSK als nicht relevant betrachtet.
3. Die **Jahresdosis** ist berechnet für Personen, 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. Sie wird für Erwachsene und Kleinkinder (Altersklasse 1 Jahr) getrennt und unter Berücksichtigung der Ablagerungen aus den Vorjahren ermittelt. Die Berechnungen erfolgten nach den in der HSK-Richtlinie R-41 angegebenen Modellen und mit den ebenfalls dort festgelegten Parametern. 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, obwohl die kritischen Orte der einzelnen Abgabestellen im allgemeinen nicht zusammenfallen.
4. Bei der **Art der Abgaben** ist folgendes zu präzisieren:
 - **Abwasser:** Die radioaktiven Abgaben sind 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.
 - **Edelgase:** Die radioaktiven Abgaben sind in Bq/Jahr normiert auf einen Referenz-CA-Wert von $2 \cdot 10^5$ Bq/m³ angegeben. Die CA-Werte für die Edelgasnuklide sind dem Anhang 3 der Strahlenschutzverordnung (StSV) entnommen. Ein CA-Wert von $2 \cdot 10^5$ Bq/m³ entspricht einem Referenz-Nuklid mit einem Immersions-Dosisfaktor von $4,4 \cdot 10^{-7}$ (Sv/Jahr)/(Bq/m³).
 - Beim KKG wird für die Bilanzierung der Edelgase eine β -total-Messung durchgeführt; für die Aequivalent-Umrechnung wurde in diesem Fall ein Gemisch von 80% ¹³³Xe, 10% ¹³⁵Xe und 10% ⁸⁸Kr angenommen. Dieses Gemisch wird auch zur Berechnung der Dosis verwendet.
 - **Gase:** Beim PSI handelt es sich vorwiegend um die Nuklide ¹¹C, ¹³N, ¹⁵O und ⁴¹Ar; deren Halbwertszeiten sind kleiner als zwei Stunden. Hier ist für die Abgaben die Summe der Radioaktivität ohne Normierung auf einen Referenzwert angegeben.
 - **Aerosole:** Die angegebenen Abgaben entsprechen der Summe der Aerosolaktivität ohne Normierung auf einen Referenzwert.
 - Der Dosisbeitrag von Aerosolen mit Halbwertszeiten kleiner 8 Tagen ist bei den Kernkraftwerken vernachlässigbar.
 - Beim KKB wird bei der Dosisberechnung der Aerosole ein Gemisch von 50% ⁶⁰Co und 50% ¹³⁷Cs angenommen.
 - Beim KKM ergibt sich der Hauptbeitrag zur Dosis durch die Bodenstrahlung von Aerosolen, die im Jahre 1986 durch eine unkontrollierte Abgabe in die Umgebung gelangten. Der Dosisbeitrag der Aerosolabgaben im Berichtsjahr ist demgegenüber vernachlässigbar und liegt in der Grössenordnung der anderen schweizerischen Kernkraftwerke.
 - **Iod:** Beim PSI ist die Abgabe als ¹³¹I-Aequivalent durch gewichtete Summation der Aktivität der abgegebenen Iod-Nuklide angegeben, wobei sich der Gewichtungsfaktor aus dem Verhältnis des Ingestionsdosisfaktors des jeweiligen Nuklides zum Ingestionsdosisfaktor von ¹³¹I ergibt. Die Ingestionsdosisfaktoren sind der StSV entnommen.
 - **Kohlenstoff-14:** Die angegebenen Abgaben von ¹⁴C basieren beim KKL auf aktuellen Messungen, bei KKB, KKM und KKG auf temporären Messungen in früheren Jahren.

8.2 Ortsdosisleistung in der Umgebung der Kernanlagen

F. Cartier, A. Leupin, W. Baur und M. Schibli

Hauptabteilung für die Sicherheit der Kernanlagen, HSK, 5232 VILLIGEN-HSK

Die externe Strahlung ist mit dem Messnetz zur automatischen Dosisleistungsüberwachung in der Umgebung der Kernkraftwerke (MADUK) ständig überwacht worden. Um das KKB und das PSI sind 18, beim KKG 16, beim KKL und KKM je 12 MADUK-Sonden in bis 5 km Abstand in Betrieb. Die MADUK-Sonden messen die Ortsdosisleistung. Die Messwerte werden alle 10 Minuten in die Zentrale der HSK übertragen und automatisch analysiert. Abweichungen vom natürlichen Schwankungsbereich werden signalisiert und dem HSK-Pikett gemeldet.

In den Figuren 1 und 2 sind die Monatsmittelwerte mit den tiefsten und den höchsten Tagesmittelwerten aller MADUK-Sonden dargestellt. Sonden mit deutlich tieferem Messwertniveau z.B. Bo⁶ stehen auf Gebäudedächern oder einem Untergrund mit geringem natürlichem Aktivitätsgehalt. Im Berichtsjahr sind keine sehr hohen Tagesmittelwerte festgestellt worden. Tiefe Tagesminima sind nur bei einigen Stationen in der Umgebung von Mühleberg im Januar zu erkennen. Die Strahlenexposition durch die natürlichen Radioaktivität im Boden ist hier von Schnee abgeschwächt worden. In der zweiten Jahreshälfte sind die Tagesmaxima etwas höher. Während starken, länger andauernden Niederschlägen werden die natürlichen, radioaktiven Zerfallsprodukte des Radon in der Luft ausgewaschen, dadurch wird die natürliche Strahlenexposition am Boden etwas höher.

Die Kalibrierung aller MADUK-Sonden ist mit einer radioaktiven Quelle überprüft worden und als in Ordnung beurteilt. Während vorangemeldeten Kalibrierungsarbeiten an den NADAM-Sonden zeigten die nahe stehenden MADUK-Sonden in vier Fällen erhöhte Messwerte. Datenausfälle entstanden einzig bei der MADUK-Sonde G-04 in Niedergösgen (4 Tage). Ausserordentliche, lokale Gewitterregen führten im Verlauf des Jahres 2000 bei drei Sonden knapp zu einer Überschreitung des Schwellwertes für Dosisleistungserhöhungen, der bei netto 50 nSv/h liegt. Bei zwei Sonden traten einzelne erhöhte Messwerte infolge von Gerätestörungen auf.

Im Berichtsjahr wurden die Dosismessungen mit Thermolumineszenz-Dosimeter (TLD) in der Umgebung der Kernanlagen und des PSI fortgeführt ebenso die vierteljährlichen von der HSK stichprobenweise erhobenen Dosisleistungsmessungen. Im Nahbereich der Siedewasserreaktoren Mühleberg und Leibstadt ist die Ortsdosisleistung

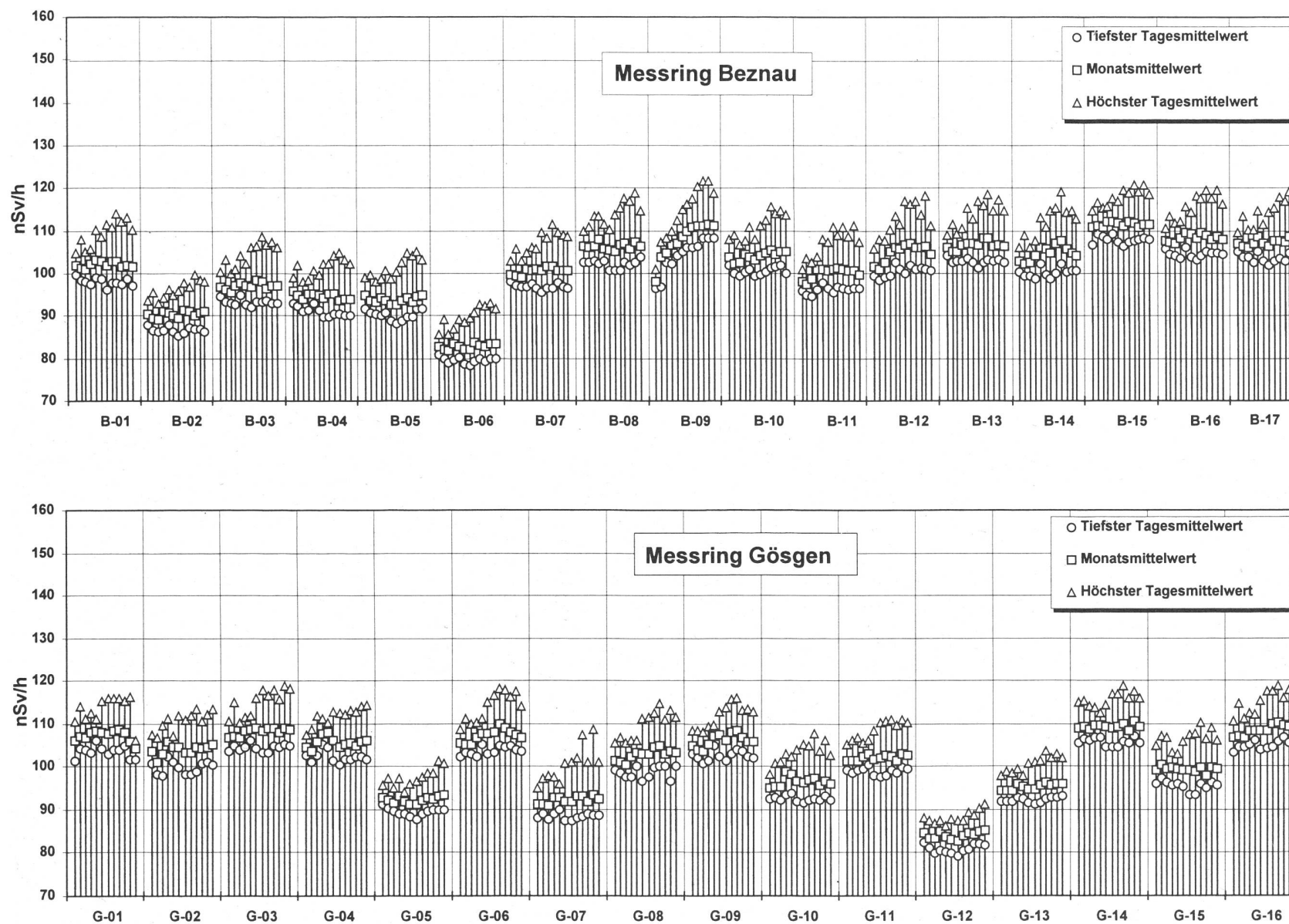
durch Direkt- und Streustrahlung aus dem Maschinenhaus erhöht.

Beim Siedewasserreaktor Mühleberg trägt auch das Abfallager zu einer erhöhten Ortsdosis bei. Seit dem Herbst des Jahres 2000 ist die Dosisleistung im Maschinenhaus und am Zaun des KKM höher. Dies ist eine Folge der geänderten Wasserchemie im Reaktor, die einen zusätzlichen Schutz der Reaktoreinbauten vor Korrosion bezweckt. Der dem Speisewasser zugegebene Wasserstoff bewirkt eine grössere Flüchtigkeit des Stickstoffs, der mit dem Dampf aus dem Reaktor in die Turbine getragen wird. So ergibt sich durch die zusätzlichen Zerfälle des kurzlebigen Nuklids ¹⁶N eine Erhöhung der Dosisleistung im Maschinenhaus und am Zaun. Gemessen wurden Dosisleistungen zwischen 0.08 µSv/h (entspricht dem natürlichen Untergrund) und 0.58 µSv/h. Die hohen Dosisleistungen traten jedoch nur während wenigen Stunden auf. Im Wochenmittel ergaben sich Nettowerte von 0.061 mSv pro Woche. Dies entspricht ca. 60 % des in der HSK-Richtlinie R-11 festgelegten Dosisrichtwerts von 0.1 mSv pro Woche. Die vom KKM ausgewerteten Thermolumineszenz-Dosimeter (TLD), die an mehreren Stellen am Zaun die Dosis messen, weisen für das Berichtsjahr einen Höchstwert von 1.6 mSv auf.

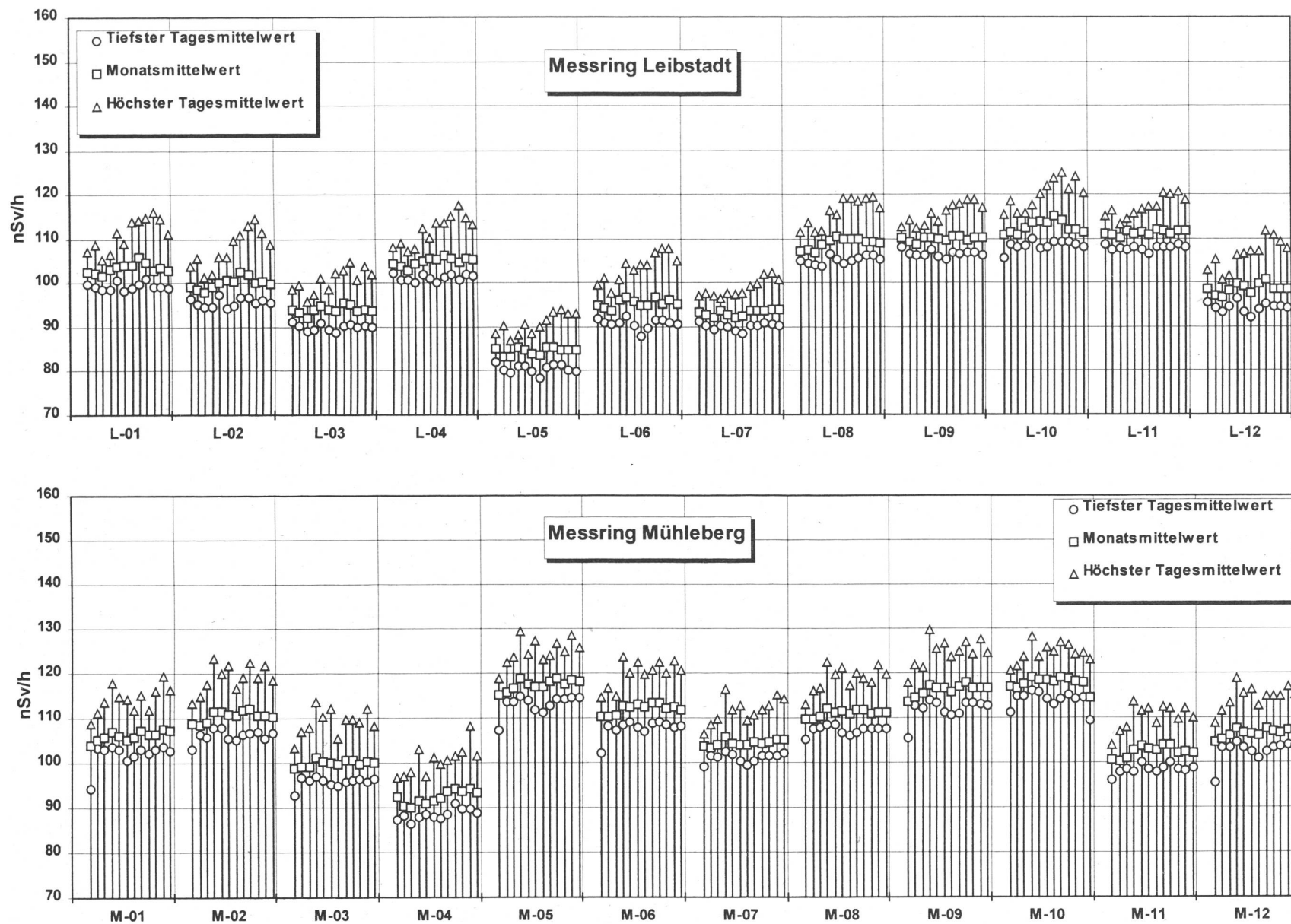
Beim KKL wurden am Zaun Dosisleistungen zwischen 0.08 µSv/h (natürlicher Untergrund) und 0.28 µSv/h gemessen. Dieser Wert ergibt umgerechnet auf ein Jahr und unter Berücksichtigung der Betriebszeit eine Dosis von 1.6 mSv pro Jahr. Bei dieser Dosis ist der natürliche Untergrund abgezogen. Die von KKL ausgewerteten Thermolumineszenz-Dosimeter (TLD) am Zaun, ergaben im Berichtsjahr einen Höchstwert von 2.8 mSv. Eine detaillierte Datenanalyse zeigt, dass seit Betriebsaufnahme des KKL die Dosis am Zaun im Bereich von +/- 20% konstant ist.

Im Jahr 2000 betrug am PSI-Zaun der höchste Wert netto 1.4 mSv. Dieser Messpunkt liegt beim Abfallager im PSI-Ost. In der Nahumgebung des PSI-West ist infolge der Beschleuniger die Neutronendosis leicht erhöht. Bei der etwa 100 Meter entfernten Scheune betrug der Wert 0.07 mSv/Jahr.

Der Grenzwert von 5 mSv pro Jahr für die Ortsdosis im Freien blieb überall eingehalten (StSV, Art. 102)



Figur 1: Dosisleistung an den MADUK-Stationen im Jahr 2000



Figur 1 (Fortsetzung): Dosisleistung an den MADUK-Stationen im Jahr 2000

8.3. Les installations nucléaires et l'environnement

Ch. Murith, A. Gurtner

Section surveillance de la radioactivité, SUER
Office fédéral de la santé publique
Ch. du Musée 3, 1700 FRIBOURG

Résumé

L'évaluation de l'impact radioécologique et dosimétrique des installations nucléaires commence par le contrôle de leur bon fonctionnement. Ce contrôle relève de la DSN (8.1). L'OFSP participe à une intercomparaison périodique des quantités de radionucléides présents dans les effluents atmosphériques et liquides mesurables en phase de rejet avant leur dispersion et dilution dans l'environnement. Ces contrôles renseignent sur les contaminants les plus susceptibles de marquer l'environnement. L'impact des rejets de radionucléides sur l'homme est quantifié à l'aide de la dose. Celle-ci est habituellement calculée à partir des rejets réels de l'installation au moyen de modèles, d'hypothèses et de scénarios spécifiques du transfert des radionucléides en question jusqu'à l'homme. Afin de garantir qu'aucune contribution à la dose n'a été sous-estimée par la modélisation, divers compartiments de l'environnement sont examinés en particulier les aérosols, les eaux, les sédiments, les sols, les végétaux et les aliments. Ces examens permettent de détecter des niveaux infimes d'intensité des rayonnements émis, insignifiants du point de vue du risque qu'ils représentent pour le public. Le cas échéant, les concentrations significatives mesurées peuvent directement entrer dans l'évaluation réaliste de l'impact des rejets d'une installation nucléaire et servir à améliorer les modélisations évoquées précédemment.

8.3.1 Méthodologie

Dans le cas d'un suivi de l'environnement, deux aspects peuvent être pris en compte: l'un radioécologique 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 [1]. La spectrométrie γ permet de détecter et de quantifier la plupart des radionucléides naturels et artificiels présents dans des échan-

tilons sans longues préparations (séparation chimique...) contrairement à la mesure des émetteurs α et β . Le résultat d'une mesure est normalement rapporté à la matière sèche. Néanmoins pour certains radionucléides de courte période comme ^{131}I , la spectrométrie γ peut s'effectuer rapidement sur des produits frais.

8.3.2 Résultats

Mesures à la source

Les mesures parallèles de l'exploitant, de la DSN 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 le respect des limites réglementaires par l'exploitant en 2000 (chap. 8.1). Comme le montre en synthèse la figure 1, l'impact des rejets est en réalité nettement inférieur à la limite de dose liée à la source de 0.2 mSv par an (directive R-11).

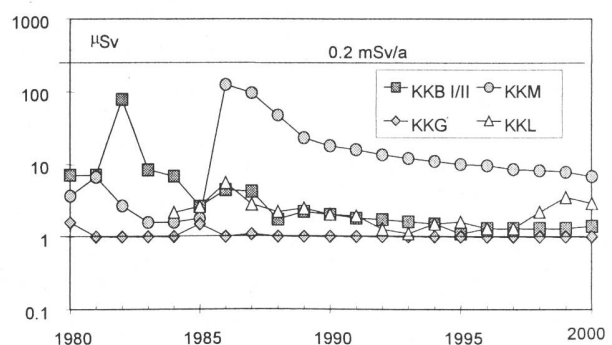


Figure 1:

Dose (calculée) accumulée par la personne fictive (adulte) la plus exposée dans le voisinage de chacune des centrales nucléaires de 1980 à 2000 (Données DSN; les valeurs inférieures à $1\mu\text{Sv}$ ne sont pas représentées dans la ligne).

- [1] IPSN (1998) Les Installations Nucléaires et l'Environnement", 171p.
Luc Foulquier et Françoise Bretheau.

Mesures de l'exposition ambiante

Les résultats de la surveillance continue de l'exposition ambiante par le réseau MADUK sont donnés au chapitre 8.2. Les mesures périodiques de la DSN à la clôture et de l'OFSP dans un voisinage plus étendu des installations (figure 2) ont montré que toutes les installations nucléaires ont respecté la valeur limite de 5mSv pour le rayonnement direct. Comme le montre la figure 2, ce rayonnement est perceptible (voir aussi chap. 3.3) et ressort en particulier lors des modifications d'exploitation à Mühleberg, visant à améliorer la chimie de l'eau afin de réduire la corrosion dans les structures du réacteur. Les maxima annuels (fond naturel inclus) KKB (0.72 mSv), KKG (0.85 mSv), KKL (3.5 mSv), et KKM (2.2 mSv) enregistrés à la clôture par intégration trimestrielle des dosimètres à thermoluminescence (TLD) confirment le respect de la valeur limite pour ce rayonnement.

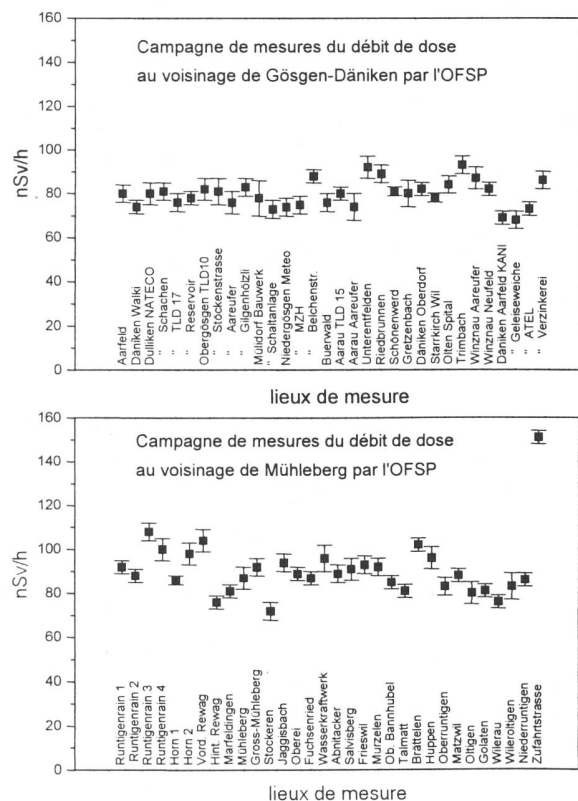


Figure 2: Contrôles de l'exposition ambiante

Mesures dans le milieu terrestre

Les mesures dans le milieu terrestre concernent d'abord le milieu atmosphérique (aérosols de l'air et précipitations par l'autorité de contrôle ainsi que dépôts sur plaques de vaseline par l'exploitant). Ces mesures n'ont pas signalé la présence de radionucléides gamma, dont l'origine ne soit naturelle ou attribuable à la remise en suspension d'anciennes contaminations. La figure 3 montre le suivi

mensuel du ^3H , radionucléide directeur dans les précipitations, pour les stations de Niedergösgen (REP KKG) et Full (REB KKL). Les résultats des stations de Niederruntigen (REB KKM) et Beznau (REP KKB) sont similaires.

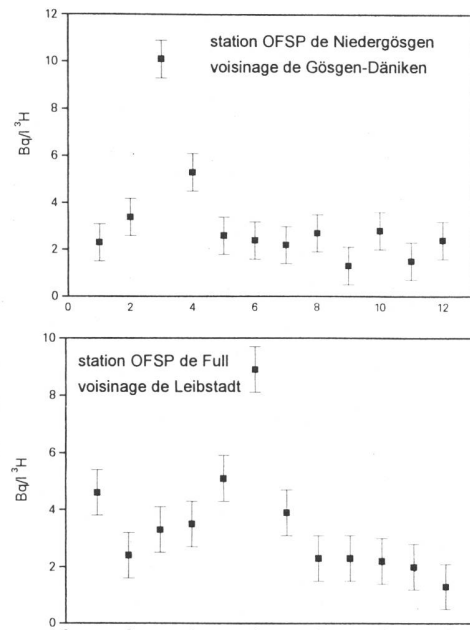


Figure 3: Suivi du tritium dans les précipitations (niveau global ~ 2-4 Bq/l)

L'impact des rejets atmosphériques est également examiné dans l'herbe et en particulier dans le sol, excellent intégrateur de pollution, afin de tenir compte de phénomènes d'accumulation à long terme. Les figures 4 et 5 illustrent l'inventaire Bq/m^2 ^{137}Cs des sols prélevés en 2000 par l'OFSP.

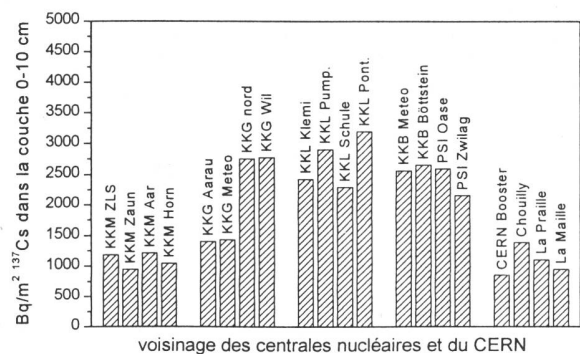


Figure 4: Inventaire ^{137}Cs dans la couche 0-10 cm de sol

Les campagnes d'échantillonnages de sol réalisées par l'OFSP en 2000 ont confirmé l'information très ponctuelle des prélèvements. Au col Gotthard par exemple, l'inventaire dans la couche 0-10 cm de deux échantillons voisins a indiqué 570 Bq/m^2 ^{137}Cs dans l'un et 5470 Bq/m^2 ^{137}Cs dans l'autre. De

même comme le montre la figure 5, la distribution de l'activité ^{137}Cs dans les profils est très variable. Ainsi la couche 0-10 cm concentre selon les sites examinés en 2000, 20 à 99% de l'intégral du total de l'activité ^{137}Cs déposée dans la couche de 0 à 30 cm. Cela montre qu'il convient d'interpréter avec précaution les résultats de l'échantillonnage et qu'il est plus pertinent d'obtenir une information moyenne sur un site par spectrométrie gamma in situ (Chap. 3.1). En particulier l'accumulation du ^{137}Cs dans des points chauds d'une taille de quelques cm^2 , comme ceux mis en évidence dans le Mercantour, n'est pas représentative de la contamination d'ensemble du site ni de l'exposition moyenne qui en résulte. Des mesures complémentaires se trouvent chap. 4.3 et 7.2 en particulier sur les teneurs en Pu, Am et ^{90}Sr .

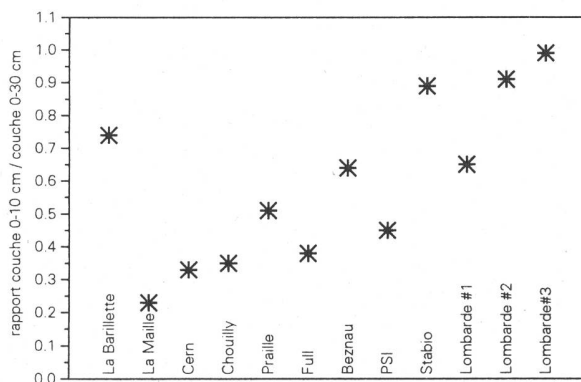


Figure 5: Distribution du ^{137}Cs dans le sol

Les denrées alimentaires constituent le prochain maillon susceptible de transférer les radionucléides jusqu'à l'homme. L'ensemble de ces mesures coordonnées par l'OFSP en étroite collaboration avec les laboratoires cantonaux (chap. 5) ne mettent pas en évidence un marquage du milieu terrestre attribuable à l'exploitation des centrales nucléaires. Les mesures additionnelles de l'OFSP en particulier celles du programme germano-suisse au voisinage de Leibstadt dans les produits agricoles et les poissons confirment ce constat. Pour le reste, un impact des rejets atmosphériques des centrales nucléaires est avant tout perceptible pour le ^{14}C , dont les résultats sont présentés au chap. 7.1. Les doses qui en résultent par ingestion de denrées alimentaires locales ne représentent cependant que quelques μSv . L'intérêt des mesures ^{14}C se situe aussi dans l'utilisation de ce traceur atmosphérique pour une meilleure compréhension des processus environnementaux et sert donc à affiner et à valider les modèles de dispersion des rejets atmosphériques.

Mesures dans le milieu aquatique

Les principaux résultats de l'examen des systèmes aquatiques sont présentés dans le chap. 4.2. Dans l'eau l'impact des rejets liquides des installations nucléaires se mesure en particulier pour les isotopes du cobalt (^{58}Co et ^{60}Co). La confrontation des activités mensuelles rejetées déclarées par l'exploitant avec celles calculées à partir des concentrations mesurées dans les échantillons d'eau et des écoulements mensuels indique une bonne concordance. Un rejet a été coordonné avec la centrale de Beznau afin de valider le modèle de dispersion par des mesures dans l'Aar plusieurs kilomètres en aval de la centrale. Au niveau de la distribution entre l'eau et les colloïdes, environ 7 à 8 % du cobalt s'est avéré lié sous forme colloïdale. De même dans les trappes à sédiments, les injections de ^{58}Co , ^{60}Co , ^{54}Mn et ^{65}Zn redonnent l'image des activités rejetées. Par contre la remobilisation des dépôts ^{137}Cs de Tchernobyl explique pour ce radionucléide l'absence partielle de corrélation entre les activités rejetées et les valeurs de mesure. Dans les poissons hormis le ^{40}K et le ^{137}Cs , aucun autre radionucléide n'a été détecté. Enfin les examens des eaux de la nappe n'ont signalé la présence d'aucun radionucléide d'origine artificielle. Les résultats complémentaires des mesures ^3H de l'OFSP dans l'eau de l'Aar en aval de Mühleberg (première centrale nucléaire sur son cours) et dans l'eau du Rhin (Weil/D) en aval de Leibstadt (dernière centrale nucléaire sur son cours en Suisse) sont tout à fait normales (figure 6).

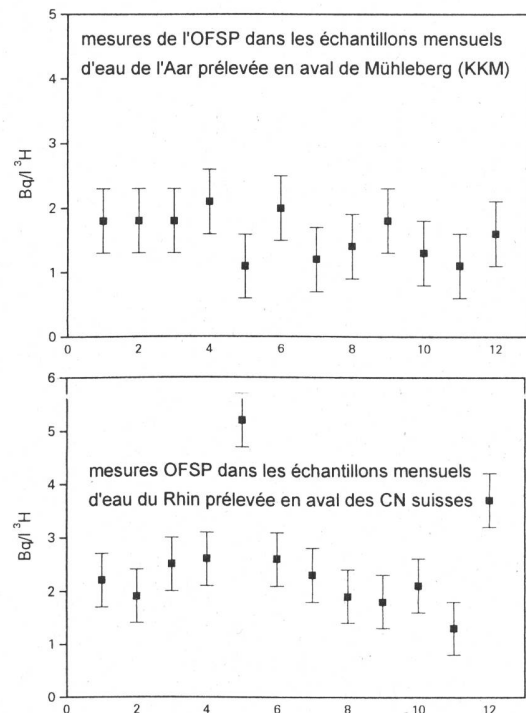


Figure 6: ^3H dans l'Aar et le Rhin

La surveillance du site démantelé de l'ancienne centrale nucléaire expérimentale de Lucens soustrait à la législation sur les installations nucléaires n'a signalé aucune activité gamma et ^{90}Sr supérieure aux limites de détection ($< 0.8 \text{ Bq/l } ^{137}\text{Cs}$ et $< 0.01 \text{ Bq/l } ^{90}\text{Sr}$). Les mesures de tritium sur le mélange des prélèvements trimestriels ont indiqué des valeurs entre 16 et 20 Bq/l.

8.3.3 Conclusions

L'impact des installations nucléaires suisses sur l'environnement a été très faible en 2000. La détection du rayonnement direct, du ^{14}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 qui en résultent 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'avère insignifiant. Comme le montre le suivi de la figure 1, les calculs effectués à partir des rejets effectifs et des modèles de transfert jusqu'à l'homme des radionucléides rejetés confirment que l'impact en terme de doses des installations en question n'a pas dépassé la valeur directrice de 0.2 mSv et s'est situé en 2000 entre 0.002 et 0.007 mSv. La contribution majeure provient des rejets atmosphériques (essentiellement du ^{14}C), avec à Mühleberg une contribution rémanente des résines rejetées en 1986, dont l'impact très localisé a constamment diminué depuis.

Les mesures environnementales permettent de détecter la radioactivité à des niveaux infimes qui peuvent être à la limite sans aucune signification biologique. 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. La surveillance de l'environnement sans cesse améliorée au voisinage des installations nucléaires répond aussi au besoin de vérifier que la modélisation des transferts n'engendrent pas d'erreur sur les estimations dosimétriques réalisées à partir des rejets réels. Elle permet le suivi temporel des concentrations dans l'environnement, en particulier les processus possibles d'accumulation locale dans certains écosystèmes (sols, sédiments, feuillages). Enfin elle peut orienter des études nécessaires à la connaissance des processus de transfert, utiles en premier lieu à la maîtrise de situations accidentelles. Les évolutions au cours des dernières années ont porté sur le

développement de technique de prélèvements et de mesures visant à abaisser les seuils de détection afin de permettre la mise en évidence de traces et d'utiliser certains radionucléides directeurs à la compréhension des processus environnementaux et à la validation de modèles sur lesquels reposent les prévisions en situation accidentelle.

Sites Internet



www.admin.ch/bag
www.cern.ch
www.eawag.ch
www.hospvd.ch/public/instituts/ira
www.hsk.psi.ch
www.vbs.admin.ch/acls

www.ipnsn.fr
www.opri.fr
www.sfrp.asso.fr
www.cea.fr
www.cogema.fr
www.edf.fr



centrales nucléaires suisses

Gösgen: www.kkg.ch
Leibstadt: www.kkl.ch
Beznau: www.nok.ch
Mühleberg: www.bkw.ch

8.4. Rejets et environnement du CERN

C. Murith

Section de surveillance de la radioactivité, SUER
Ch. du Musée 3, 1700 FRIBOURG

P. Vojtyla et D. Wittekind

CERN TIS, 1211 GENEVE 23

Synthèse

La radioactivité de l'environnement autour de l'Organisation Européenne pour la Recherche Nucléaire (CERN) et les doses de rayonnements qui en résultent pour la population avoisinante sont contrôlées par la division TIS du CERN et de manière indépendante par les autorités compétentes des deux Etats Hôtes, l'Office de Protection contre les Rayonnements Ionisants (OPRI) côté France et l'Office Fédéral de la Santé Publique (OFSP) côté Suisse. L'ensemble des mesures effectuées en 2000 prouve que le fonctionnement des installations du CERN est resté sans conséquence radiologique sur l'environnement et la population. Le contrôle des émissions montre que les rejets effectifs se situent également en 2000 nettement en-dessous des limites réglementaires. Ce constat est confirmé par le contrôle des immissions dans l'environnement. L'ensemble de ces résultats atteste que le CERN a bien respecté en 2000 comme dans les années précédentes la valeur directrice de dose liée à la source fixée à 0.3 mSv/an [1]. L'impact réel représente en fait moins de 4% de cette valeur comme l'indique l'estimation pour le groupe critique de l'ordre de 0.01 mSv/an.

8.4.1. Objets de la surveillance

Les contrôles réalisés en 2000 par le CERN et de manière indépendante par les autorités de surveillance ont porté essentiellement sur :

- les mesures de la radioactivité émise dans l'air et dans l'eau à partir des différentes installations du CERN et des sites dans leur ensemble (émission),
- les mesures des rayonnements diffusés produits par l'exploitation des accélérateurs du CERN ainsi que la mesure de la radioactivité contenue dans différents échantillons prélevés dans l'environnement et susceptibles d'être influencés par le rayonnement ou la radioactivité produits par le CERN (immission).

8.4.2. Contrôle des émissions du CERN

Les rejets de la radioactivité dans l'environnement par la ventilation de différentes installations des accélérateurs du CERN sont contrôlés par des moniteurs de l'air installés aux points de rejet de l'air. Les stations sont composées des chambres à ionisation pour la mesure directe de l'activité bêta et des échantillonneurs d'aérosols qui les collectent sur des filtres en fibre de verre (PMVxx, voir figure 1). Les échantillons sont mesurés au laboratoire par des compteurs bêta de grande surface et des détecteurs de germanium pour une spectroscopie gamma afin de mesurer les activités bêta et gamma de longue demi-vie.

Les rejets radioactifs par la voie d'eau sont contrôlés par des moniteurs consistant en cristaux de NaI(Tl) immergés dans des réservoirs d'eau installés aux points de rejet d'eau du CERN pour une mesure continue de l'activité gamma. Ces mesures sont complétées à tous les points du CERN où les eaux quittent les sites par des dispositifs automatiques de prélèvement d'eau en continu afin de les analyser au laboratoire à un faible bruit de fond (SWxx, voir figure 1). Outre les mesures de tritium, un litre est mesuré par spectrométrie gamma une fois par mois et quatre litres d'un échantillon sont évaporés pour une analyse de la radioactivité à faible niveau permettant des mesures de l'activité bêta totale.

Les résultats des mesures concernant les émissions de radioactivité dans l'air pour les points de rejets sur le Site de Meyrin sont présentés dans le tableau 1. Comme on le verra dans la figure 4, l'impact radiologique en terme d'immission n'est notable que pour les activités bêta/gamma dans l'air d'une période radioactive $T < 1$ jour (^{11}C , ^{13}N , ^{15}O , ^{41}Ar). Sauf pour l'évaporateur d'eau V_0 les résultats pour le tritium ont été estimés à partir des concentrations maximales mesurées dans les points de ventilation. Ils sont de ce fait très majorants. Les résultats de la radioactivité dans les rejets d'eau vers la Suisse sont présentés dans le tableau 2. Leur contribution à l'impact radiologique du CERN sur l'environnement est comme pour toutes les années précédentes tout à fait négligeable.

Tableau 1 : Les rejets de la radioactivité attachée aux aérosols et dans l'air en 2000.

Moniteur	Air rejeté	Bêta aérosol	⁷ Be aérosol	Tritium HTO	¹¹ C, ¹³ N, ¹⁵ O, ⁴¹ Ar dans l'air	Points de rejet
	10 ⁶ m ³	MBq	MBq	GBq	TBq	
PMV74	264	0.64	22	< 2.6	0.70	Anneau Principal PS
PMV72	27	0.17	0.2	< 41	0.14	TT60 extr. Ouest, PS
PMV73	44	0.04	0.9	< 44	0.54	TT70 transfert e ⁻ , PS
PMV170	83	1.98	77	< 4.7	4.5	ISOLDE
PMV11	66	0.37	12	< 3.3	0.17	TT10 injection Ouest
V ₀	—	—	—	2.2	—	Evaporateur V ₀
Total	484	3.2	112	< 98	6.1	Site de Meyrin

Tableau 2 : Les rejets de la radioactivité du CERN dans l'eau vers la Suisse en 2000.

Point de rejet	Quantité d'eau	³ H	Bêta/gamma (²² Na)	Rejeté dans :
	10 ⁶ m ³	MBq	MBq	
SWN1	6.4	—	—	Nant d'Avril
SWN2	0.96	—	—	Nant d'Avril
SWN3	3.7	—	—	Nant d'Avril
SW901	1.7	—	—	Nant d'Avril
SWNA	0.030	512	13	Peney*)
Total	12.8	512	13	

*) Usine de traitement d'eau

8.4.3. Contrôle des immissions du CERN

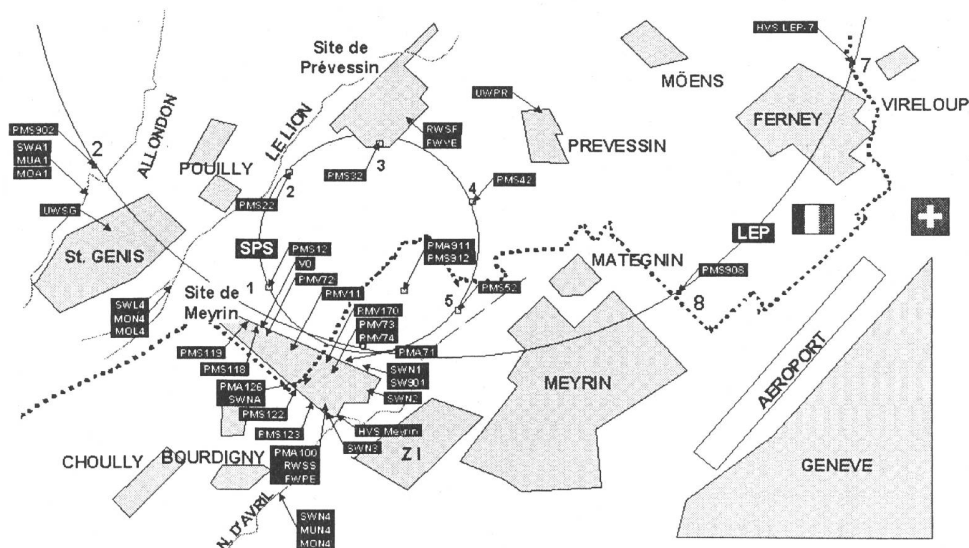
Dans ce rapport, les résultats de mesures concernant en particulier le territoire suisse. Plus de détails sur les résultats du programme complet se trouvent dans le rapport annuel du Groupe Radioprotection [2].

8.4.3.1. Mesures effectuées par le CERN

La situation géographique des sites du CERN est présentée dans la figure 1.

Figure 1 :

Les sites de Meyrin et de Prévessin du CERN ainsi que l'implantation de l'anneau du super synchrotron à proton (SPS) et du grand collisionneur électron-positon (LEP) dans la région frontalière entre la France et la Suisse. Pour tous les points de mesure à l'intérieur des sites, consulter le rapport annuel du Groupe Radioprotection [2].



Les accélérateurs du CERN sont des sources de rayonnements diffusés. Pour leur contrôle en continu, des stations de moniteurs de site (PMSxx, voir figure 1) sont installées sur les sites du CERN et dans l'environnement et se composent d'une chambre à ionisation remplie d'argon d'une pression de 20 bars pour détecter des photons ou des particules chargées (muons) et d'un compteur BF₃ entouré d'un modérateur (rem compteur) pour mesurer les neutrons diffusés.

Les aérosols sont collectés sur des filtres en fibre de verre (PMAxx) et sont ensuite mesurés au laboratoire à l'aide de détecteurs proportionnels de grande surface et de détecteurs de germanium pour une spectroscopie gamma. Les échantillons des eaux potables (FWxx) et souterraines (UWxx) sont prélevés sur les sites du CERN et dans les villages autour du CERN, à Prévessin, Saint Genis et Versonnex respectivement. L'eau pluviale des précipitations est collectée sur le site de Meyrin, en Suisse (RWSS), et sur le site de Prévessin, en France (RWSF). Les eaux de rivières (SWxx) sont

analysées au laboratoire en activité bêta totale et gamma. Enfin, d'autres échantillons sont prélevés périodiquement dans l'environnement en vue d'une analyse de leur teneur en substances radioactives : les sédiments de cours d'eau (MUxx), les herbes, un échantillon de vin et dernièrement la mousse dans l'eau des rivières (MOxx) pris aux mêmes endroits que l'eau de surface et les sédiments (voir figure 1).

Les doses intégrées totales en millisievert, ainsi que les contributions des rayonnements gamma et neutron à ces doses, telles qu'elles ont été mesurées par les moniteurs de rayonnements (PMS) tout autour des sites sont présentées dans la figure 2. Ces résultats sont cohérents avec ceux des contrôles suivants effectués en 2000 par l'OFSP :

- 11 dosimètres TLD (0.74 à 0.96 mSv),
- mesures en 20 sites avec chambre d'ionisation de la figure 5 (0.73 à 0.96 mSv).

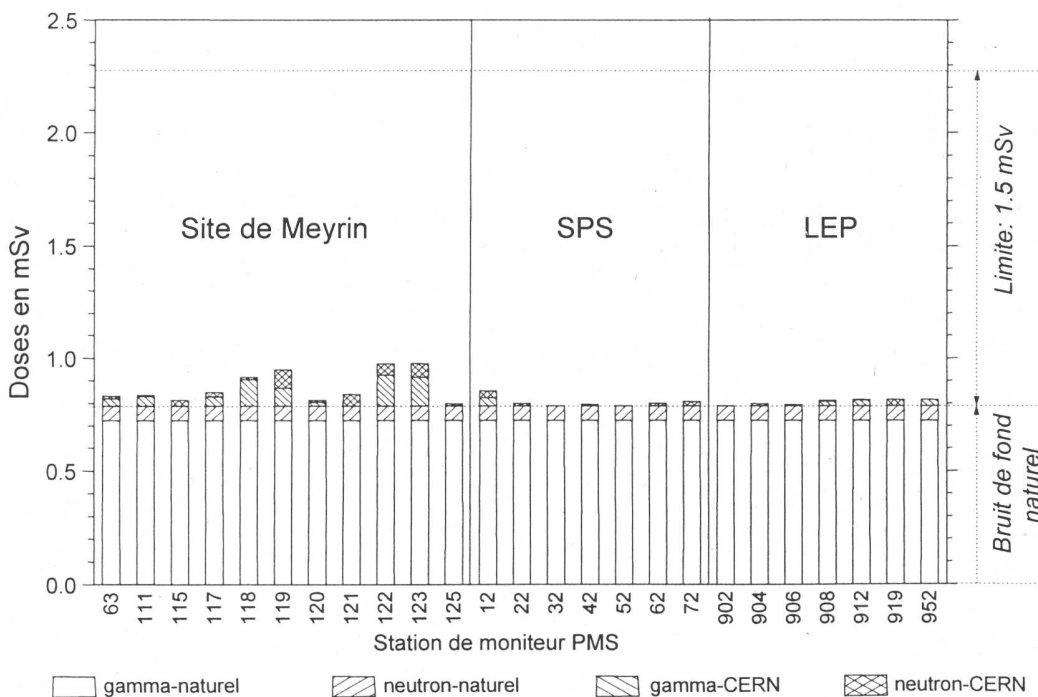


Figure 2

Doses annuelles des moniteurs de rayonnements diffusés en 2000.

L'influence du fonctionnement des accélérateurs du CERN n'est visible que pendant l'opération des accélérateurs en certaines stations de mesure situées à la clôture du site de Meyrin. Les lectures des moniteurs PMS118 et PMS119 sont influencées par la proximité du tunnel de transfert vers la zone expérimentale ouest et les moniteurs PMS122 et PMS123 se trouvent à la clôture proche du PS. Les doses mesurées ne dépassent pas 12% de la limite pour les rayonnements diffusés fixée à 1.5 mSv/an.

Pour prouver que l'influence radiologique des rejets du CERN reste négligeable dans son voisinage, la Section de l'environnement du CERN procède à des mesures de radioactivité sur des échantillons de toutes sortes pris à l'extérieur des sites de l'Organisation. On a trouvé des traces de la radioactivité qui peut provenir du CERN seulement dans certains échantillons d'aérosol et dans le sédiment et la mousse de la rivière Nant d'Avril.

Le seul radionucléide identifié dans l'air et provenant du CERN est le ^7Be présent dans l'aérosol. Ce radionucléide d'une très faible toxicité radiologique peut être produit dans l'air des tunnels des accélérateurs à haute énergie lors de leur fonctionnement. Le ^7Be est aussi produit naturellement dans l'atmosphère par les interactions des rayonnements cosmiques avec l'azote et l'oxygène de l'air. Les variations de concentration en ^7Be dans l'air au voisinage du CERN et aux trois endroits distants (PMA951 à Cessy, France, LEP Point 7 à Collex-Bossy/GE, et Oberschrot/FR) sont présentées dans la figure 3. Les endroits distants sont loin de toutes sources artificielles de ^7Be et peuvent de ce fait être considérés comme des stations représentatives du bruit de fond naturel. Les concentrations naturelles en ^7Be sont plus élevées les mois d'été à cause des convections de l'air de la stratosphère, riche en ^7Be , à la troposphère. Elles ne dépendent pas seulement du flux des masses d'air de la stratosphère à la troposphère, mais aussi de l'ampleur de la remise en suspension du radionucléide par les courants de convection, c'est à dire de l'effet de la réintroduction d'aérosol déjà déposé, par exemple par le vent ou par le trafic routier. Cet effet est bien illustré par la comparaison des données des trois stations de bruit de fond. Tandis que les stations HVS LEP-7 et HVS Oberschrot situées dans des milieux ruraux indiquent les concentrations en ^7Be les plus basses, les mesures de la station de bruit de fond de Cessy, qui se trouve au centre du village, sont légèrement plus élevées et suivent bien celles du voisinage du CERN. Cela signifie que l'impact des rejets du ^7Be sur l'environnement ne peut pas être distingué de l'effet de la remise en suspension du ^7Be de l'origine naturelle, en raison de la proximité des zones asphaltées et à fort trafic routier dans le voisinage du CERN. Il faut mentionner, que les valeurs mesurées sont tout à fait négligeables du point de vue radiologique. La plus forte concentration en ^7Be observée ne représente que 0.0015% de la limite d'immission suisse [3].

A part la radioactivité exclusivement naturelle, le seul radionucléide montrant une activité notable dans les échantillons du sédiment et de la mousse de la rivière Nant d'Avril est le ^7Be . S'il existe une contribution du CERN aux flux de ^7Be dans les rivières, celle-ci doit être faible et bien inférieure aux apports naturels [4]. Dans la mousse de cet rivière, des traces du ^{54}Mn , ^{57}Co , ^{58}Co et ^{60}Co provenant du CERN sont détectées. Cependant, leurs concentrations sont négligeables car les pourcentages de la limite d'exemption [3] ne dépassent pas 0.2%.

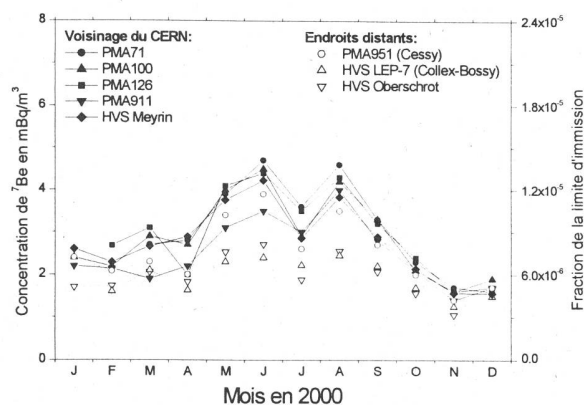


Figure 3 :

Activité de ^7Be dans les aérosols de 8 stations de mesure dont 5 au voisinage des points de rejet du CERN en 2000. Station de mesure PMA71 : Site du SPS BA-7. PMA100 : Site CERN de Meyrin. PMA126 : Proche du PS. PMA911 : Près d'une ferme de Meyrin. HVS Meyrin, HVS Oberschrot/FR : Echantillonneurs OFSP à haut débit sur le Site de Meyrin et à Oberschrot/FR. PMA951 : Cessy, France. HVS LEP-7 : Echantillonneur CERN à haut débit à Collex-Bossy/GE.

Comme le montre la figure 4, les contributions des activités du CERN à la dose efficace pour le groupe critique qui vit à la clôture de l'Organisation correspondent à environ 2% de la dose externe due aux sources naturelles (rayonnements cosmiques et terrestres) mesurée dans des communes proches du CERN. En effet, la valeur annuelle de 0.011 mSv, dont 81% sont dus aux rayonnements ionisants directs, peut être comparée aux variations des doses naturelles qui sont de l'ordre de 0.2 mSv dans le bassin lémanique.

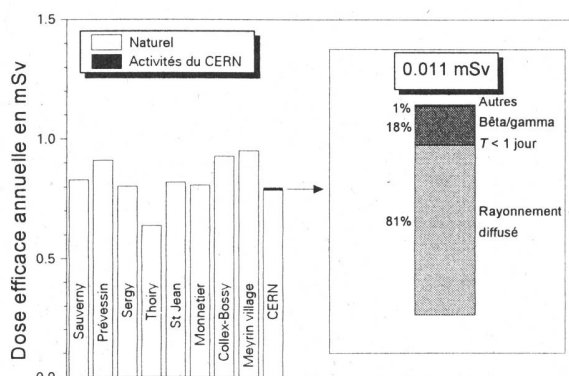


Figure 4 :

Contributions dues aux activités du CERN à la dose annuelle sur le Site de Meyrin comparées aux variations des doses externes naturelles dans des communes françaises et suisses à proximité.

8.4.3.2. Mesures effectuées par l'OFSP

La surveillance de l'environnement réalisée de manière indépendante par l'OFSP autour du CERN concerne essentiellement l'exposition ambiante (11 dosimètres à thermoluminescence évalués par IRA à Lausanne, et parcours de mesures instantanées avec chambre d'ionisation en 10 sites limitrophes du CERN et 10 sites de référence distants), les aérosols (mesure continue alpha/bêta de la station RADAIR et mesure gamma hebdomadaire des filtres du collecteur à haut débit), les eaux (Rhône à Chancy et Nant d'Avril), les sols (spectrométrie gamma in situ et en laboratoire) ainsi que les végétaux et certains produits locaux (comme le ^3H dans le vin).

Le contrôle de l'exposition ambiante basé sur les dosimètres TLD en 11 emplacements au voisinage du CERN n'a pas signalé de valeurs indicatives d'un impact notable des installations du CERN. En 2000 ces valeurs ont été comprises entre 0.74 et 0.95 mSv. Elles indiquent une très bonne cohérence avec celles reportées par le CERN dans la figure 2, où les différentes composantes sont distinguées selon leur origine. On y constate que l'influence du rayonnement direct est très faible par rapport à la contribution d'origine naturelle. De même, les relevés instantanés réalisés par l'OFSP à l'aide d'une chambre d'ionisation (figure 5) le 10.2.2000 ont indiqué des valeurs du débit d'exposition ambiante s'échelonnant de 84 à 110 nSv/h, soit 0.73 à 0.96 mSv/a (moyenne des 10 sites limitrophes : 94 ± 5 nSv/h; moyenne des 10 sites de référence : 95 ± 8 nSv/h). Ces valeurs s'inscrivent dans le domaine habituel de l'exposition naturelle et de ses fluctuations.

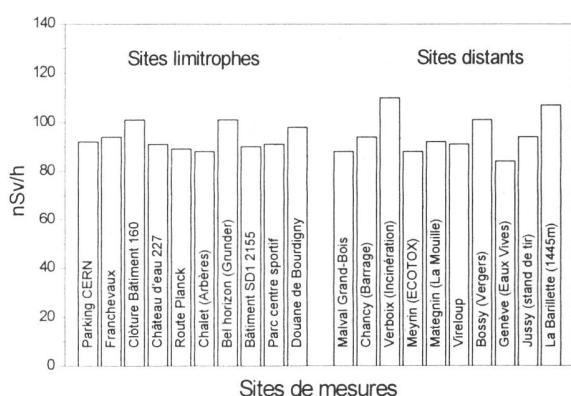


Figure 5 :

Mesures OFSP du débit d'exposition ambiante à l'aide d'une chambre d'ionisation.

Les résultats de la surveillance de l'air réalisée par l'OFSP en continu à la station du réseau d'alarme RADAIR et au niveau de traces à l'aide du collecteur à haut débit sont confrontés dans la figure 3 aux résultats des mesures du CERN pour l'indicateur ^7Be . Les concentrations hebdomadaires fluctuent autour de quelques mBq/m³ et suivent les tendances saisonnières du ^7Be naturel enregistrées dans la station de référence d'Oberschrot/FR.

La surveillance du milieu aquatique n'a pas montré d'impact des installations du CERN sur les concentrations de l'indicateur ^3H . Celles-ci ont été comprises entre 0.8 et 2.3 Bq/l dans les échantillons mensuels collectés dans le Rhône à Chancy. Les résultats du projet de collaboration initié par l'OFSP et le CERN avec l'Institut Forel concernant des mesures spécifiques dans le Nant d'Avril ont fait l'objet d'un rapport de surveillance d'octobre 1999 à octobre 2000 [3]. L'OFSP a procédé à des mesures comparatives de l'eau et des sédiments qui confirment des traces provenant très probablement des activités du CERN. Il s'agit de ^{22}Na (~mBq/l) dans l'eau et de ^{60}Co (3 à 7 Bq/kg sec) dans les sédiments. Pour les sédiments on mesure également la part rémanente de ^{137}Cs (essais nucléaires et Tchernobyl) de l'ordre de 30 à 40 Bq/kg sec et les radionucléides naturels suivants : ^{40}K : 500 Bq/kg; série ^{232}Th : 40 Bq/kg; ^{228}Ac et série ^{238}U : 60 Bq/kg ^{226}Ra et 390 Bq/kg ^{210}Pb . Ces premiers résultats sont utilisés pour définir la suite du programme de surveillance.

La surveillance du milieu terrestre (sols, végétaux et produits locaux) examinés en 2000 a indiqué comme les années précédentes des résultats typiques de ceux d'échantillons comparables du Plateau suisse. Outre la détection permanente des radionucléides d'origine naturelle, dont les concentrations prédominent, on y détecte encore les traces des injections artificielles des essais nucléaires et dans une moindre mesure de l'accident de Tchernobyl, dont les retombées ont été plus faibles dans le bassin lémanique. Pour les échantillons du voisinage immédiat du CERN examinés en 2000, on trouve les domaines de concentrations résumés dans le tableau 3. Les valeurs sont tout à fait compatibles avec celles mesurées sur le Plateau suisse. Par contre, le site distant La Barillette, en altitude (Jura 1445 m) se distingue par des concentrations naturelles de ^{226}Ra et des concentrations artificielles de ^{137}Cs nettement supérieures à celles mesurées dans les sites du voisinage immédiat du CERN. L'inventaire du ^{137}Cs varie de 2000 à 4000 Bq/m² dans la couche 0–30 cm des sols du voisinage immédiat du CERN et est voisin de 8600 Bq/m² dans la couche 0–20 cm du sol de La Barillette.

Tableau 3 : Radionucléides naturels et artificiels dans les échantillons examinés par l'OFSP le 12–13.7.2000 (en Bq/kg sec).

Echantillon	Frais/sec	Radionucléide				
		⁷ Be	⁴⁰ K	¹³⁷ Cs	²²⁶ Ra	²²⁸ Ac
Herbe 1 m ²	3.0 ± 0.5	290–380	420–1170	< 5	–	–
Sol : voisinage immédiat	1.6 ± 0.3	–	440–580	5–18	20–38	30–35
Sol : La Barillette	Ø < 2 mm	–	430	30–100	280–320	44–47

Le même constat ressort des mesures de spectrométrie gamma in situ. Cette méthode offre l'avantage de déterminer des concentrations moyennes sur un site plus représentatives que lors d'un échantillonnage et d'en apprécier les contributions individuelles au débit d'exposition ambiante. Pour les 4 sites au voisinage du CERN, le rapport moyen de l'exposition ambiante calculée à partir des spectres in situ à celle mesurée globalement à l'aide d'une chambre d'ionisation indique en tenant compte de la part cosmique 0.97 ± 0.03 . Ce rapport est considéré comme un critère de qualité de la mesure de spectrométrie gamma in situ. S'il se situe dans une marge de $\pm 10\%$, la mesure est considérée comme représentative. Le rapport le plus défavorable (0.93) a été enregistré dans l'enceinte du CERN rue Booster, où il n'est pas exclu selon les activités du CERN en cours qu'un rayonnement diffusé échappe au domaine énergétique d'analyse de 50 keV à 2 MeV. Cette très faible contribution équivaldrait si elle était constante dans l'année à 0.04 mSv/an dans ce site interne du CERN. Ainsi la valeur annuelle de 0.011 mSv estimée par le CERN pour le groupe critique qui vit à la clôture de l'Organisation et provenant pour l'essentiel des rayonnements ionisants directs semble réaliste. La faible influence des installations locales a parfois été confirmée dans le site en question par la détection dans l'air de traces d'⁴¹Ar identifiées dans le spectre in situ, qui ne sont pas décelables par mesure globale du débit d'exposition vu de leur très faible contribution dosimétrique.

L'ensemble des résultats des mesures de contrôle réalisées par l'OFSP dans le voisinage du CERN ne se distingue pas notablement de ceux enregistrés dans les stations de référence hors influence d'installations nucléaires. Sur leur base, l'impact du CERN s'avère en réalité nettement inférieur à la limite prescrite. A l'image des examens in situ de la figure 6, les contributions d'origine naturelle prédominent. Les activités du CERN sont donc aussi restées en 2000 sans conséquence radiologique préjudiciable à l'environnement et à la population avoisinante.

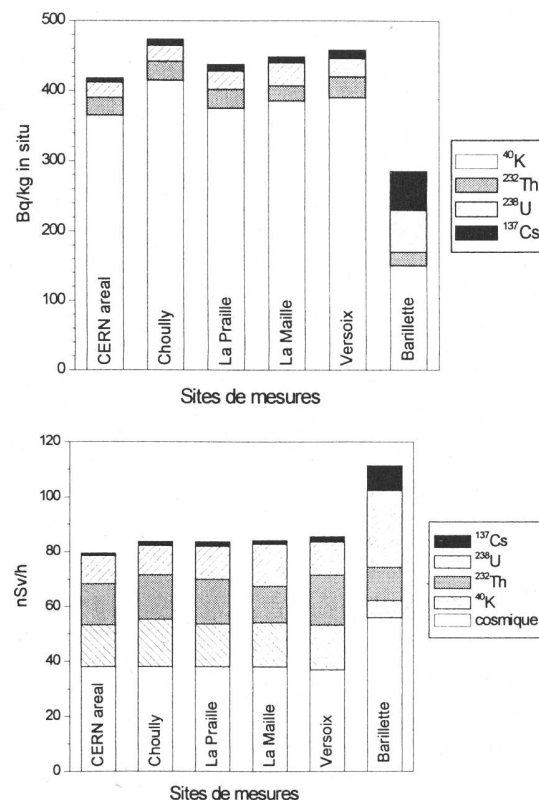


Figure 6 :

Concentrations et contributions individuelles au débit d'exposition ambiante dans les sites examinés par l'OFSP par spectrométrie gamma in situ au voisinage du CERN.

8.4.4. Conclusions

- L'ensemble des résultats de mesures du CERN et du contrôle indépendant de l'OFSP atteste que le CERN a bien respecté en 2000 comme dans les années précédentes la valeur directrice de dose liée à la source fixée à 0.3 mSv/an [1, 5].
- Les dispositifs de surveillance (prélèvements et mesures) mis en œuvre par le CERN et l'OFSP permettent de détecter des niveaux de radioactivité très faibles liés au fonctionnement des accélérateurs du CERN. Les résultats doivent cependant être regardés dans le contexte de leur impact radiologique sur la population avoisinante. Les activités des radionucléides attribuables aux activités du CERN n'ont pas dépassé 0.2% des limites suisses.
- Pour une estimation des doses efficaces annuelles, le groupe critique de la population vivant à proximité du site de Meyrin a été identifié. Ensuite les doses efficaces à partir des rayonnements ionisants et des rejets des radionucléides du site de Meyrin ont été calculés à l'aide de la Directive HSK-R-41/d [6]. Le résultat de cet exercice présenté dans la figure 4 montre que l'impact radiologique sur le groupe critique qui vit à la clôture du CERN représente 0.011 mSv en 2000. La valeur correspondante en 1999 était de 0.012 mSv. Ces doses correspondent à environ 2% de la dose externe due aux sources naturelles.
- En plus des contrôles d'ordre réglementaire, les mesures d'ordre radioécologique effectuées dans le Nant d'Avril par l'Institut Forel ont confirmé que l'impact du CERN est très faible [4]. La collaboration avec cet institut sera poursuivie en 2001.

Les informations plus détaillées peuvent être consultées dans le rapport annuel 2000 du Groupe Radioprotection [2].

8.4.5. Remerciements

Nous remercions les instituts intervenant dans le programme de mesure au voisinage du CERN, en particulier l'IRA à Lausanne ainsi que l'Institut Forel. Notre reconnaissance s'adresse également à toutes les personnes qui ont favorisé le bon déroulement de nos prélèvements et mesures dans la région de Genève.

8.4.6. Référence

- [1] Hauptabteilung für die Sicherheit der Kernanlagen (HSK), Ziele für den Schutz der Personen vor ionisierender Strahlung im Bereich von Kernkraftwerken, HSK-R-11/d (Mai 1980).
- [2] H. Menzel (editor), Radiation Protection Group Annual Report (2000), CERN-TIS-2001-004-RP (2001) - disponible du CERN.
- [3] Ordonnance sur la radioprotection (ORaP), 814.501, Berne (2000), Annexe 3.
- [4] W. Wildi, J.-L. Loizeau et Ph. Arpagaus, Rapport sur les mesures de la radioactivité dans le Nant d'Avril (Genève), Octobre 1999 - Octobre 2000, Institut F.-A. Forel (2000).
- [5] Manuel de Radioprotection 1996, CERN, (1996).
- [6] Hauptabteilung für die Sicherheit der Kernanlagen (HSK), Berechnung der Strahlenexposition in der Umgebung aufgrund von Emissionen radioaktiver Stoffe aus Kernanlagen, HSK-R-41/d (1997).

8.4.7. Glossaire

PS	Synchrotron à protons
SPS	Super synchrotron à protons
LEP	Grand collisionneur électron-positon
ISOLDE	Isotope Separator On-Line Device
TT10	Tunnel d'injection de faisceau du PS au SPS
TT60	Tunnel d'extraction de faisceau du SPS à la hall expérimentale Ouest
TT70	Tunnel de transfert d'électrons du PS au SPS