

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: - (1996)

Rubrik: Überwachung der Kernanlagen : Emissionen und Immissionen

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. 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. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. [Mehr erfahren](#)

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. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. [En savoir plus](#)

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. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. [Find out more](#)

Download PDF: 15.02.2026

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

8. Überwachung der Kernanlagen: Emissionen und Immissionen

(Zusammenfassung)

F. Cartier Hauptabteilung für die Sicherheit der Kernanlagen, HSK
5232 VILLIGEN-HSK

Zusammenfassung

Die Abgaben radioaktiver Stoffe mit Abwasser und Abluft lagen im Jahr 1996 für die vier Schweizer Kernkraftwerke Beznau (KKB), Gösgen (KKG), Leibstadt (KKL) und Mühleberg (KKM) sowie für das Paul-Scherrer-Institut (PSI) deutlich unterhalb den Jahres- und Kurzzeit-Abgabegrenzwerte. Die aus den tatsächlichen Abgaben errechnete Strahlenexposition liegt selbst unter Berücksichtigung der Ablagerungen aus den Vorjahren für Erwachsene und Kleinkinder weit unterhalb des quellenbezogenen Dosisrichtwertes (Art. 7 der StSV) von 0,2 mSv pro Jahr (siehe auch B.1.2.).

Zu Beginn des Berichtsjahres wurden für alle Schweizer Kernkraftwerke neu überarbeitete Abgabereglemente in Kraft gesetzt. Die Änderungen betrafen vorwiegend Anpassungen an die neue Strahlenschutzverordnung. Beim Umgebungsüberwachungsprogramm wurden aufgrund einer EAWAG-Studie (im Auftrag der HSK) Änderungen bezüglich des aquatischen Milieus vorbereitet.

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 17, beim KKG 16 und beim KKL und KKM je 12 Ortsdosisleistungs-Messonden bis zu einem Abstand von ca. 5 km im Betrieb. Die Messwerte dieser MADUK-Sonden werden alle 10 Minuten in die Zentrale übertragen und automatisch analysiert. Gegebenenfalls werden Abweichungen vom natürlichen Schwankungsbereich signalisiert und automatisch dem HSK-Pikett gemeldet. Die im Berichtsjahr erkannten, nicht meteorologisch bedingten Abweichungen liessen sich grösstenteils mit in der Nähe der MADUK-Sonden durchgeführten Schweißnahtprüfungen oder mit Kalibrierungsarbeiten an NADAM-Sonden erklären.

Die langjährigen Messreihen mit TLD-Ortsdosimetern an den Arealzäunen und in der weiteren Umgebung sind weitergeführt worden. Die gemessenen Ortsdosiswerte liegen im Bereich der Vorjahre. Der höchste Wert beträgt 1,5 mSv pro Jahr und liegt am PSI-Zaun bei den Abfallagern.

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

Im aquatischen Milieu zeigten Wasser- und Sedimentproben Spuren von künstlichen Radioisotopen, wie Mn-54, Co-58 und Co-60, welche aus den Abgaben der Kernanlagen stammen, sowie von Cs-137.

Für die luftgetragenen Emissionen können die gemessenen künstlichen Radionuklide im allgemeinen mit den Atomwaffentests (Sr-90) oder mit dem Reaktorunfall in Tschernobyl (Cs-137) in Verbindung gebracht werden. Die Spuren von Co-60, 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 der UNI-Bern von C-14 in Baumblättern der Umgebung der Siedewasserreaktoren wurde beim KKL zwecks Überprüfung von Rechenprogrammen für die Ausbreitung intensiviert.

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 (Tabellen 1a bis d)

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

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

Im Jahr 1996 wurden die Abgabegrenzwerte für die Schweizerischen Kernkraftwerke und für das Paul-Scherrer-Institut sowohl für die Kurzzeit- wie für die Jahresabgaben eingehalten. Die gemessenen Abgaben radioaktiver Stoffe mit dem Abwasser und der Abluft sowie die daraus für die Umgebungsbevölkerung unter ungünstigen Annahmen errechnete Personendosis im Jahr 1996 sind in den Tabellen 1a und 1b zusammengestellt. Nuklidspezifische Angaben für die Emissionen über Abwasser und Abluft können den Tabellen 1c und 1d entnommen werden. Zusätzliche Hinweise über Berechnungsart, Definitionen und einige verwendete Annahmen geben die Fussnoten zu den Tabellen.

Die Abgabemessungen der Kernkraftwerke wurden mit insgesamt mehr als 100 Proben aus dem Abwasser sowie der Abluft mit Aerosol- und Iodfiltern stichprobenweise durch die Behörden kontrolliert. Die Ergebnisse stimmten gut überein und zeigten, dass die Bestimmungen der Abgabereglemente eingehalten blieben.

Die aus den Emissionen errechnete Jahresdosis für Erwachsene und Kleinkinder (Altersklasse 1 Jahr) liegt selbst unter Berücksichtigung der Ablagerungen aus den Vorjahren weit unterhalb des quellenbezogenen Dosisrichtwertes (Art. 7 der StSV) von 0,2 mSv pro Jahr. Sie beträgt für das KKB weniger als 0,002 mSv, beim KKM weniger als 0,010 mSv, beim KKG weniger als 0,002 mSv, beim KKL weniger als 0,003 mSv und für die Summe aller Abgabestellen des PSI weniger als 0,006 mSv. Durch die Abgaben im Berichtsjahr errechnet sich auch beim KKM eine Dosis von weniger als 0,002 mSv. Im allgemeinen wird für die Kernkraftwerke die Dosis durch die C-14-Abgaben des laufenden Jahres dominiert. Verglichen mit dem Vorjahr sind die signifikanten Dosiswerte für Kleinkinder und Erwachsene fast unverändert geblieben. Beim PSI hat die Dosis aus den Edelgasabgaben (0,004 mSv) infolge der Leistungserhöhung der Teilchenbeschleuniger etwas zugenommen.

Die Kernkraftwerksblöcke befanden sich für Revisionsarbeiten während folgender Perioden des Berichtsjahres 1996 im Stillstand: KKB I vom 30. Juni bis 16. August, KKB II vom 21. September bis 1. November, KKG vom 8. Juni bis 2. Juli, KKL vom 27. Juli bis 5. September und KKM vom 22. Juli bis 30. August.

Das Felslabor Grimsel der Nationalen Genossenschaft für die Lagerung radioaktiver Abfälle liegt im Aufsichtsbereich der HSK obwohl es keine Kernanlage ist. Der im Jahre 1994 bewilligte Migrationsversuch mit Cs-137 als Tracer ist im Berichtsjahr abgeschlossen worden. Die Abwässer aus diesem Langzeitversuch wurden in den Jahren 1995 und 1996 ständig überwacht. Als *Korrigendum* zum letztjährigen Bericht ist zu vermerken, dass die Konzentration im Entwässerungsgraben des Hauptzugangsstollens nach Einleitung des extrahierten Wassers maximal 0,04 bis 0,06 Bq/l betrug. Somit war die Konzentration nach der Einleitung ins öffentlich zugängliche Gewässer im Wochenmittel wesentlich kleiner als der nach StSV Art. 102 geforderte Immissionsgrenzwert von 1/50 LE resp. 14 Bq/l für Cs-137.

Tabelle 1a: Zusammenstellung der Abgaben radioaktiver Stoffe der Kernkraftwerke an die Umgebung für das Jahr 1996 und die daraus resultierenden Dosen für Einzelpersonen der Bevölkerung. (Fussnoten am Ende der Tabelle).

Anlage	Medium	Art der Abgaben	Abgabelimiten (AL) (gem. Reglement) ¹⁾	Tatsächliche Abgaben ²⁾ ; (±50%)		Berechnete Jahresdosis ³⁾	
				Bq/Jahr	Bq/Jahr	Erwachsener mSv/Jahr	Kleinkind mSv/Jahr
KKB 1+ KKB 2	Abwasser (36000 m ³)	Nuklidgemisch (ohne Tritium) ⁴⁾	$4 \cdot 10^{11}$	$3,0 \cdot 10^{09}$	<0,001	<0,001	
		Tritium	$7 \cdot 10^{13}$	$1,2 \cdot 10^{13}$	<0,001	<0,001	
	Abluft	Edelgase ⁴⁾	$1 \cdot 10^{15}$	$2,6 \cdot 10^{12}$	<0,001	<0,001	
		Aerosole ⁵⁾ (ohne I-131, Halbwertszeit>8 Tage)	$6 \cdot 10^{09}$	<0,1% AL	<0,001	<0,001	
		Jod-131 ⁴⁾	$4 \cdot 10^{09}$ (nur I-131)	$2,5 \cdot 10^{07}$	<0,001	<0,001	
		Kohlenstoff-14 ⁶⁾	–	$4,0 \cdot 10^{10}$	0,0011	0,0018	
KKM	Abwasser (5978 m ³)	Nuklidgemisch (ohne Tritium) ⁴⁾	$4 \cdot 10^{11}$	$2,0 \cdot 10^{09}$	<0,001	<0,001	
		Tritium	$2 \cdot 10^{13}$	$2,9 \cdot 10^{11}$	<0,001	<0,001	
	Abluft	Edelgase ⁴⁾	$2 \cdot 10^{15}$	<0,1% AL	<0,001	<0,001	
		Aerosole ⁵⁾ (ohne I-131, Halbwertszeit>8 Tage)	$2 \cdot 10^{10}$	<0,1% AL	0,0089	0,0066	
		Jod-131	$2 \cdot 10^{10}$	<0,1% AL	<0,001	<0,001	
		Kohlenstoff-14 ⁶⁾	–	$2,0 \cdot 10^{11}$	<0,001	0,0011	
KKG	Abwasser (7358 m ³)	Nuklidgemisch (ohne Tritium) ⁴⁾	$2 \cdot 10^{11}$	<0,1% AL	<0,001	<0,001	
		Tritium	$7 \cdot 10^{13}$	$1,3 \cdot 10^{13}$	<0,001	<0,001	
	Abluft	Edelgase ⁴⁾ - β-total-Messung	$1 \cdot 10^{15}$	$(<1,3 \cdot 10^{13})$ $(<1,1 \cdot 10^{13})$	<0,001	<0,001	
		Aerosole ⁵⁾ (ohne I-131, Halbwertszeit>8 Tage)	$1 \cdot 10^{10}$	<0,1% AL	<0,001	<0,001	
		Jod-131	$7 \cdot 10^{09}$	$1,0 \cdot 10^{07}$	<0,001	<0,001	
		Kohlenstoff-14 ⁶⁾	–	$1,0 \cdot 10^{11}$	<0,001	0,0011	
KKL	Abwasser (16822 m ³)	Nuklidgemisch (ohne Tritium) ⁴⁾	$4 \cdot 10^{11}$	<0,1% AL	<0,001	<0,001	
		Tritium	$2 \cdot 10^{13}$	$7,1 \cdot 10^{11}$	<0,001	<0,001	
	Abluft	Edelgase ⁴⁾	$2 \cdot 10^{15}$	$8,7 \cdot 10^{12}$	<0,001	<0,001	
		Aerosole ⁵⁾ (ohne I-131, Halbwertszeit>8 Tage)	$2 \cdot 10^{10}$	<0,1% AL	<0,001	<0,001	
		Jod-131	$2 \cdot 10^{10}$	$7,1 \cdot 10^{08}$	<0,001	<0,001	
		Kohlenstoff-14 ⁶⁾	–	$2,2 \cdot 10^{11}$	0,0011	0,0018	

Tabelle 1b: Zusammenstellung der Abgaben radioaktiver Stoffe des Paul-Scherrer-Instituts an die Umgebung für das Jahr 1996 und die daraus resultierenden Dosen für Einzelpersonen der Bevölkerung (Fussnoten am Ende der Tabelle)

Anlage	Medium	Art der Abgaben	Abgabelimiten (AL) ¹⁾			Tatsächliche Abgaben ^{2), (±50%)}			Erwachsener mSv/Jahr			Berechnete Jahressosis ³⁾		
			Bq/Jahr			Bq/Jahr						Kleinkind mSv/Jahr		
PSI-OST	Abwasser (18448m ³)	Nuklidgemisch (ohne Tritium) ⁴⁾	2·10 ⁺¹¹ (für gesamtes PSI)			<0,1% AL			<0,001			<0,001		
		Tritium	2·10 ⁺¹³ (für gesamtes PSI)			<0,1% AL			<0,001			<0,001		
	Abluft	Edelgase/Gase (Ar-41-aeq.) ⁴⁾	Hochka-min-Ost	Verbren-nungsanl.	Uebrige-Ost ⁷⁾	Hochka-min-Ost	Verbren-nungsanl.	Uebrige-Ost ⁷⁾	Hochka-min-Ost	Verbren-nungsanl.	Uebrige-Ost	Hochka-min-Ost	Verbren-nungsanl.	Uebrige-Ost
		β/γ-Aerosole ⁵⁾ (ohne Jod, Halbwertszeit>8 Tage)	-	4·10 ⁺¹²	5·10 ⁺¹¹	1,5·10 ⁺¹⁰	-	-	<0,001	-	-	<0,001	-	-
		β/γ-Aerosole ⁵⁾ (8 Std.<Halbwertszeit<8 Tage)	1·10 ⁺¹⁰	1·10 ⁺⁰⁹	1·10 ⁺⁰⁸	<0,1% AL	4,9·10 ⁺⁰⁷	-	>	>	>	>	>	>
		α-Aerosole	-	-	-	-	-	-	<0,001	0,0015	-	<0,001	0,0017	-
		Jod (I-131-aeq.) ⁴⁾	3·10 ⁺⁰⁸	5·10 ⁺⁰⁷	2·10 ⁺⁰⁶	-	3,3·10 ⁺⁰⁵	-	-	-	-	-	-	-
		Tritium (tritiertes Wasser)	3·10 ⁺¹⁰	2·10 ⁺⁰⁹	2·10 ⁺⁰⁸	-	2,0·10 ⁺⁰⁷	-	-	-	-	-	-	-
			-	4·10 ⁺¹²	2·10 ⁺¹²	2,4·10 ⁺⁰⁸	<0,1% AL	8,0·10 ⁺¹¹	<0,001	<0,001	-	<0,001	<0,001	-
			-	-	-	2,3·10 ⁺¹⁰	-	-	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001
PSI-WEST	Abwasser (78 m ³)	Nuklidgemisch (ohne Tritium) ⁴⁾	vgl. PSI-Ost			<0,1% AL			<0,001			<0,001		
		Tritium	vgl. PSI-Ost			<0,1% AL			<0,001			<0,001		
	Abluft	Edelgase/Gase (Ar-41-aeq.) ⁴⁾	Zentr. Ab-luft-West	Doppel-kamin	Uebrige-West ⁷⁾	Zentr. Ab-luft-West	Doppel-kamin	Uebrige-West ⁷⁾	Zentr. Ab-luft-West	Doppel-kamin	Uebrige-West	Zentr. Ab-luft-West	Doppel-kamin	Uebrige-West
		β/γ-Aerosole ⁵⁾ (ohne Jod und Be-7, T _{1/2} >8 Tage)	2·10 ⁺¹⁴	5·10 ⁺¹²	2·10 ⁺¹²	8,9·10 ⁺¹³	2,0·10 ⁺¹⁰	1,2·10 ⁺¹¹	0,004	<0,001	<0,001	0,004	<0,001	<0,001
		β/γ-Aerosole ⁵⁾ (8 Std.<Halbwertszeit<8 Tage)	2·10 ⁺⁰⁸	5·10 ⁺⁰⁷	2·10 ⁺⁰⁸	4,4·10 ⁺⁰⁷	<0,1% AL	<0,1% AL	>	>	>	>	>	>
		α-Aerosole	1·10 ⁺¹¹	-	-	2,5·10 ⁺⁰⁹	-	-	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001
		Jod (I-131-aeq.) ⁴⁾	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
		Tritium (tritiertes Wasser)	5·10 ⁺⁰⁹	-	1·10 ⁺⁰⁸	4,6·10 ⁺⁰⁸	-	-	-	-	-	-	-	-
			6·10 ⁺¹³	-	2·10 ⁺¹²	4,9·10 ⁺¹¹	-	4,0·10 ⁺¹⁰	<0,001	--	-	<0,001	-	-
			-	-	-	-	-	-	<0,001	-	<0,001	<0,001	-	<0,001

Tabelle 1c: Flüssige Abgaben der Kernanlagen an die Aare oder den Rhein, 1996 (Summe der bei Einzelmessungen nachgewiesenen Aktivitätsabgaben)

Nuklid	Abgaben (Q) ²⁾ [Bq im Jahr]				
	Beznau	Gösgen	Leibstadt	Mühleberg	PSI
β-/γ-Strahler		<0,1% AL (ohne Tritium)	<0,1% AL (ohne Tritium)		<0,1% AL (ohne Tritium)
H-3	$1,2 \cdot 10^{+13}$	$1,3 \cdot 10^{+13}$	$7,1 \cdot 10^{+11}$	$2,9 \cdot 10^{+11}$	$8,1 \cdot 10^{+09}$
Na-22					$2,0 \cdot 10^{+06}$
Na-24	$6,3 \cdot 10^{+06}$			$1,0 \cdot 10^{+07}$	
S-35					$5,8 \cdot 10^{+06}$
Cr-51	$2,4 \cdot 10^{+08}$			$8,0 \cdot 10^{+08}$	
Mn-54	$2,8 \cdot 10^{+08}$		$4,4 \cdot 10^{+06}$	$6,9 \cdot 10^{+08}$	$3,1 \cdot 10^{+05}$
Co-56					$3,7 \cdot 10^{+05}$
Co-57	$7,1 \cdot 10^{+07}$				$4,5 \cdot 10^{+06}$
Co-58	$8,6 \cdot 10^{+09}$		$3,4 \cdot 10^{+06}$	$3,6 \cdot 10^{+08}$	$1,8 \cdot 10^{+06}$
Co-60	$1,1 \cdot 10^{+10}$	$2,8 \cdot 10^{+06}$	$8,2 \cdot 10^{+07}$	$3,8 \cdot 10^{+09}$	$3,7 \cdot 10^{+07}$
Zn-65	$6,1 \cdot 10^{+06}$		$2,5 \cdot 10^{+07}$	$1,1 \cdot 10^{+09}$	
Sr-89	$5,0 \cdot 10^{+07}$			$3,5 \cdot 10^{+08}$	
Sr-90	$2,8 \cdot 10^{+07}$			$2,8 \cdot 10^{+06}$	$1,6 \cdot 10^{+07}$
Y-90				$2,8 \cdot 10^{+06}$	
Zr-95	$4,3 \cdot 10^{+07}$				
Zr-97	$4,5 \cdot 10^{+06}$				
Nb-95	$7,7 \cdot 10^{+07}$			$2,7 \cdot 10^{+07}$	
Tc-99 ^m	$1,2 \cdot 10^{+07}$			$1,0 \cdot 10^{+06}$	
Ru-103	$1,0 \cdot 10^{+07}$				
Ag-110 ^m	$2,0 \cdot 10^{+08}$			$6,7 \cdot 10^{+07}$	
Sb-122	$5,3 \cdot 10^{+06}$				
Sb-124	$1,2 \cdot 10^{+09}$	$4,6 \cdot 10^{+06}$			
Sb-125	$1,1 \cdot 10^{+09}$				$9,0 \cdot 10^{+04}$
Te-123 ^m		$2,5 \cdot 10^{+07}$			$3,7 \cdot 10^{+06}$
I-125					$9,1 \cdot 10^{+06}$
I-131	$3,4 \cdot 10^{+07}$	$1,8 \cdot 10^{+06}$	$2,6 \cdot 10^{+07}$	$3,8 \cdot 10^{+05}$	$2,8 \cdot 10^{+06}$
I-133	$9,1 \cdot 10^{+06}$			$5,5 \cdot 10^{+05}$	
Cs-134	$2,3 \cdot 10^{+07}$		$4,9 \cdot 10^{+07}$		$2,3 \cdot 10^{+07}$
Cs-137	$1,4 \cdot 10^{+09}$		$1,0 \cdot 10^{+08}$	$3,8 \cdot 10^{+09}$	$2,0 \cdot 10^{+07}$
Ba-140					
La-140	$1,8 \cdot 10^{+06}$		$1,4 \cdot 10^{+07}$		
Ce-141	$5,2 \cdot 10^{+06}$		$1,3 \cdot 10^{+07}$		
Ce-144	$9,5 \cdot 10^{+06}$		$2,1 \cdot 10^{+07}$		
α-Strahler		$5,2 \cdot 10^5$	$3,5 \cdot 10^5$		
Ra-224					$5,8 \cdot 10^{+05}$
U-234/238					$3,9 \cdot 10^{+06}$
Pu-239/240					$2,1 \cdot 10^{+06}$
Pu-238/Am-241					$9,9 \cdot 10^{+05}$
Cm-244					$6,9 \cdot 10^{+04}$

Tabelle 1d: Abgaben der Kernanlagen mit der Abluft, 1996.
(Summe der bei Einzelmessungen nachgewiesenen Aktivitätsabgaben)

Nuklid	Abgaben (Q) ²⁾ [Bq im Jahr]				
	Beznau	Gösgen	Leibstadt	Mühleberg	PSI
Gase				<0,1% AL	
Tritium					
C-11					$1,3 \cdot 10^{+12}$
C-14⁶⁾	$4,0 \cdot 10^{+10}$	$1,0 \cdot 10^{+11}$	$2,2 \cdot 10^{+11}$	$2,0 \cdot 10^{+11}$	$2,3 \cdot 10^{+13}$
N-13					$2,3 \cdot 10^{+13}$
O-15					$7,0 \cdot 10^{+13}$
Ar-41					$6,2 \cdot 10^{+12}$
Kr-75					$5,0 \cdot 10^{+07}$
Kr-76					$1,0 \cdot 10^{+11}$
Kr-77					$2,8 \cdot 10^{+09}$
Kr-79					$1,4 \cdot 10^{+11}$
Kr-85					$1,5 \cdot 10^{+12}$
Kr-85m	$9,6 \cdot 10^{+10}$		$4,4 \cdot 10^{+10}$	$5,1 \cdot 10^{+09}$	
Kr-87			$1,1 \cdot 10^{+10}$	$9,3 \cdot 10^{+09}$	
Kr-88			$5,0 \cdot 10^{+09}$	$1,8 \cdot 10^{+10}$	
Kr-89				$1,4 \cdot 10^{+11}$	
Xe-122					$7,3 \cdot 10^{+10}$
Xe-123					$1,5 \cdot 10^{+11}$
Xe-125					$1,2 \cdot 10^{+11}$
Xe-127					$4,9 \cdot 10^{+09}$
Xe-131m					$3,6 \cdot 10^{+05}$
Xe-133	$1,3 \cdot 10^{+12}$	$8,8 \cdot 10^{+12}$	$1,9 \cdot 10^{+12}$		$6,0 \cdot 10^{+11}$
Xe-133m					$6,0 \cdot 10^{+10}$
Xe-135	$1,1 \cdot 10^{+12}$	$1,1 \cdot 10^{+12}$	$3,0 \cdot 10^{+12}$		$3,0 \cdot 10^{+10}$
Xe-135m					$5,2 \cdot 10^{+10}$
Xe-137					$9,1 \cdot 10^{+10}$
Xe-138					$6,3 \cdot 10^{+10}$
EG-Aequiv. ⁴⁾					$1,5 \cdot 10^{+10}$
Andere	$1,7 \cdot 10^{+11}$	$1,1 \cdot 10^{+12}$			$3,9 \cdot 10^{+11}$
Jod				<0,1% AL	
I-122					$6,2 \cdot 10^{+10}$
I-123					$4,1 \cdot 10^{+10}$
I-124					$2,0 \cdot 10^{+08}$
I-125					$2,0 \cdot 10^{+08}$
I-126					$4,4 \cdot 10^{+06}$
I-131	$2,1 \cdot 10^{+07}$	$1,0 \cdot 10^{+07}$	$7,1 \cdot 10^{+08}$	$5,3 \cdot 10^{+06}$	$2,1 \cdot 10^{+07}$
I-133	$1,9 \cdot 10^{+07}$				

Tabelle 1e: Abgaben der Kernanlagen mit der Abluft, 1996. (Fortsetzung)

	Beznau	Gösgen	Leibstadt	Mühleberg	PSI
β-/γ-Aerosole⁵⁾	<0,1% AL	<0,1% AL	<0,1% AL	<0,1% AL	
Cr-51					
Mn-54					
Co-58					
Co-60					
Zn-65					
Ge-69					
As-72					
As-73					
As-74					
Se-75					
Br-76					
Br-77					
Br-82					
Zr-95					
Nb-95					
Mo-99					
Ru-103					
Ru/Rh-106					
Ag-108m					
Ag-110m					
Te-121					
Te-121m					
Te-123m					
Te-125m					
Sb-125					
Cs-134					
Cs-137					
Ba-140					
Ce-141					
Re-182					
Os-182					
Os-183					
Os-185					
Au-193					
Hg-193m					
Hg-195					
Hg-195m					
Hg-197m					
Total β -Aerosole	$1,6 \cdot 10^{+06}$				
α-Aerosole		$4,4 \cdot 10^4$	$1 \cdot 10^5$		
Po-210					$3,3 \cdot 10^{+05}$

Fussnoten zu Tabelle 1a-d

1. Abgabelimiten gemäss Bewilligung der jeweiligen Kernanlage. Die **Abgabelimiten** wurden so festgelegt, dass die radiologische Belastung der kritischen Bevölkerungsgruppe in der Umgebung unter 0.2 mSv/Jahr bleibt. Bei einigen Stoffgruppen und Abgabestellen des PSI wurde auf die Festlegung von Jahresabgabelimiten verzichtet, da auch bei dauernder Ausschöpfung der Kurzzeitabgabelimiten die resultierende Dosis unbedeutend klein ist.
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 Kernkraftwerks ..." resp. des Reglementes "für die Abgabe radioaktiver Stoffe und deren Überwachung in der Umgebung des Paul Scherrer Instituts (PSI)". Die Messgenauigkeit beträgt ca. $\pm 50\%$. Abgaben unterhalb 0,1% der Jahresabgabelimite werden von der HSK als nicht-relevant betrachtet und mit „<0,1% AL“ angegeben. Sofern für ein Nuklidgemisch keine nuklidspezifische Messungen vorliegen, wird für die Dosisberechnung und allfällige Aequivalentumrechnungen von einem Standardnuklidgemisch ausgegangen. Für Aerosole wird beim KKB ein Gemisch von 50% Co-60 und 50% Cs-137 angenommen. Beim KKG wird für die Edelgase eine b-total-Messung durchgeführt (siehe den Wert in Klammern); für die Berechnungen (Abgabe-Aequivalent und Dosis) wurde in diesem Fall ein Gemisch von 80% Xe-133, 10% Xe-135 und 10% Kr-88 angesetzt.
3. **Berechnete Jahressdosis** (effektive Aequivalenzdosis) für Personen, die sich dauernd am kritischen Ort aufhalten, ihre gesamte Nahrung von diesem Ort beziehen und ihren gesamten Trinkwasserbedarf aus dem Fluss unterhalb des Werkes resp. des PSI decken (Wasserführung der Aare in Mühlberg $3,8 \cdot 10^9 \text{ m}^3/\text{Jahr}$, in Gösgen $9,0 \cdot 10^9 \text{ m}^3/\text{Jahr}$, in Würenlingen (PSI) und in Beznau $1,8 \cdot 10^{10} \text{ m}^3/\text{Jahr}$ und des Rheines in Leibstadt $3,3 \cdot 10^{10} \text{ m}^3/\text{Jahr}$). Dosiswerte kleiner als 0,001 mSv - entsprechend einer Dosis, die durch natürliche externe Strahlung in ca. zehn Stunden akkumuliert wird - werden nicht angegeben. Die Berechnungen erfolgten nach den in der HSK-Richtlinie R-41 angegebenen Modellen und mit den ebenfalls dort festgelegten Parametern.
4. Angabe in **Abgabe-Aequivalenten**:
Abwasser: Abgaben in Bq/Jahr normiert auf einen Referenz-LE-Wert von 200 Bq/kg. 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 $5 \cdot 10^{-08} \text{ Sv/Bq}$.
Edelgase: Abgaben in Bq/Jahr normiert auf einen Referenz-CA-Wert von $2 \cdot 10^{+05} \text{ Bq/m}^3$ (für KKW) resp. $5 \cdot 10^{+04} \text{ Bq/m}^3$ (PSI, Argon-41-Aequivalent). Die CA-Werte für die Edelgasnuklide sind dem Anhang 3 der Strahlenschutzverordnung (StSV) entnommen. Ein CA-Wert von $2 \cdot 10^{+05} \text{ Bq/m}^3$ entspricht einem Referenz-Nuklid mit einem Immersions-Dosisfaktor von $4,4 \cdot 10^{-07} (\text{Sv/Jahr})/(\text{Bq/m}^3)$.
Jod (Für das PSI): Jod-131-Aequivalente berechnet durch gewichtete Summation der Abgaben sämtlicher Iod-Nuklide, wobei sich der Gewichtungsfaktor aus dem Verhältnis des Ingestionsdosisfaktors des jeweiligen Nuklides zum Ingestionsdosisfaktor von I-131 ergibt. Die Ingestionsdosisfaktoren sind der StSV entnommen.
5. Der Dosisbeitrag von Aerosolen mit Halbwertszeiten kleiner 8 Tagen ist bei den Kernkraftwerken vernachlässigbar. Beim PSI-West spielen allenfalls die extrem kurzlebigen Aerosole für die Inhalations- und Immersionsdosis sowie für die Dosis aus der Bodenstrahlung eine Rolle. Unter sehr konservativen Annahmen errechnet sich ein Beitrag von ca. 50% zur gesamten Aerosoldosis.
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 durch Aerosolabgaben im Berichtsjahr verursacht wurde, ist demgegenüber vernachlässigbar und liegt in der Größenordnung der anderen schweizerischen Kernkraftwerke.
6. Die angegebenen Abgaben von C-14 basieren mit Ausnahme des KKL (gemessene Werte) auf Abschätzungen der HSK basierend auf temporären Messungen in den Anlagen in früheren Jahren.
7. **Ausbreitungsäquivalente:** Um die Zahl der Abgabelimiten für das PSI zu begrenzen, werden verschiedene Abgabestellen unter "Übrige Ost" respektive "Übrige West" zusammengefasst. Dies ist nur möglich, wenn die tatsächlich gemessenen Abgaben in ausbreitungsäquivalente Werte umgerechnet, d.h. mit Hilfe der Ausbreitungsfaktoren auf die Eigenschaften (Abgabehöhe, Ausstossgeschwindigkeit) einer Referenz-Abgabestelle normiert werden.
Sowohl für die Abgabelimiten wie für die Abgaben sind in der Tabelle für die "Übrigen Ost" resp. "Übrigen West" ausbreitungsäquivalente Werte angegeben.

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 17, beim KKG 16 und beim KKL und KKM je 12 Ortsdosisleistungs-Messonden bis zu einem Abstand von ca. 5 km in Betrieb. Die Messwerte dieser MADUK-Sonden werden alle 10 Minuten in die Zentrale übertragen und automatisch analysiert. Abweichungen vom natürlichen Schwankungsbereich werden signalisiert und dem HSK-Pikett gemeldet, falls folgende Kriterien erfüllt sind:

- Ortsdosisleistung grösser 1 $\mu\text{Sv}/\text{h}$ während 10 Minuten an einer einzelnen MADUK-Station.
- Umgebungsmittelwert grösser 0,18 $\mu\text{Sv}/\text{h}$ während 30 Minuten.(Mittelwert der Ortsdosisleistung der MADUK-Stationen in einer KKW-Umgebung.)
- Netto-Dosisleistung grösser 0,05 $\mu\text{Sv}/\text{h}$ während 30 Minuten an einer einzelnen MADUK-Station, falls diese bei den aktuellen Windverhältnissen im Ausbreitungsgebiet stehen würde. (Die Netto-Dosisleistung wird so berechnet, dass vom aktuellen Messwert der aktuelle Mittelwert aller Stationen einer KKW-Umgebung und ein für den Ort der jeweiligen MADUK-Station ortsspezifischer typischer Dosisleistungsunterschied subtrahiert wird.)

Die Zeitverfügbarkeit des Messnetzes belief sich auf ca. 98.5 % und war somit erfreulich gut. Die Systemausfälle (von 120 Stunden) traten fast ausschliesslich in den letzten zwei Wochen des Berichtsjahres auf. Sie bewirkten Datenausfälle von nur 18 Stunden, da die MADUK-Sonden die Daten vor Ort während 72 Stunden speichern. Im Rahmen der Qualitätssicherung wurden alle MADUK-Sonden mittels einer radioaktiven Quelle erfolgreich überprüft.

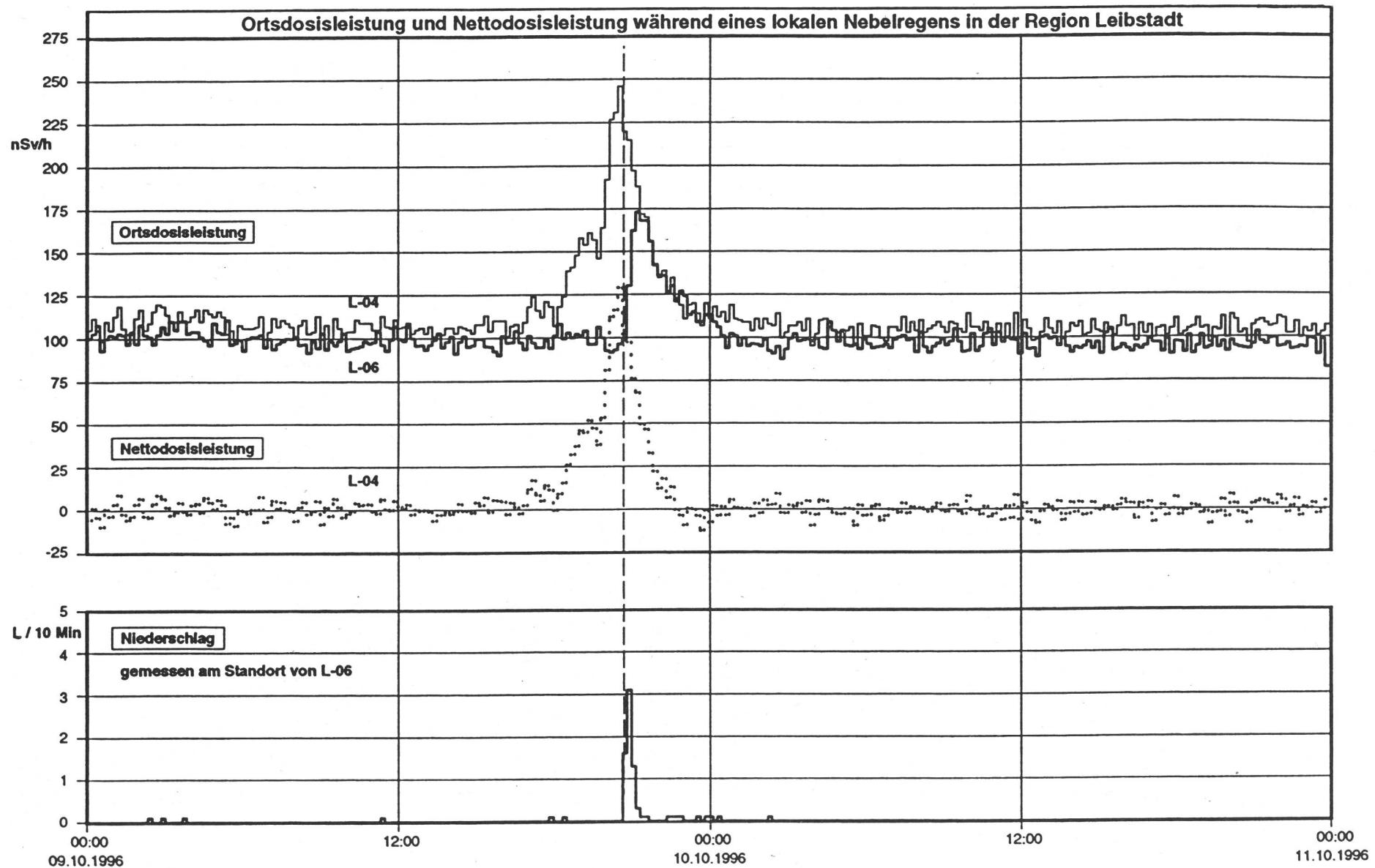
Im Berichtsjahr wurde insgesamt 21 Mal bei einer MADUK-Sonde eine Erhöhung der Ortsdosisleistung festgestellt, die oberhalb des natürlichen Schwankungsbereichs des Jahres 1995 lag. In 17 Fällen handelte es sich um vorangemeldete Arbeiten in unmittelbarer Nähe der MADUK-Sonden, wie Schweissnahtprüfungen an Erdgasleitungen (11 Fälle) oder Kalibrierarbeiten bei den NADAM-Sonden (**Netz für automatische Dosis-Alarmierung und -Meldung**). In einem Fall kann die Erhöhung eindeutig auf einen natürlichen Einfluss zurückgeführt werden, nämlich auf eine extreme Wetterlage mit örtlich intensivem Nebelregen. Dadurch erhöhten sich die Messwerte von ca. 0,1 auf bis 0,24 $\mu\text{Sv}/\text{h}$ (Figur 1). Bei den restlichen 3 Fällen mit einzelnen hohe 10-Minuten-Messwerten konnte die Ursache nicht eindeutig geklärt werden; es steht jedoch fest, dass die Dosis radiologisch unbedeutend war.

Die 1996 durchgeführten TLD-Messungen der KKW am Arealzaun und in der Umgebung, die Ergebnisse aus Messfahrten mit Ionisationskammern sowie die vierteljährlichen, stichprobenweise durchgeführten Dosisleistungsmessungen am Arealzaun der KKW und des PSI

lagen im Wertebereich der Vorjahre. Fig. 2 im nachfolgenden Kapitel zeigt die diesjährigen Werte. Der höchste Nettowert ca. 2,5 mSv pro Jahr wurde am KKL-Zaun registriert. Am PSI-Zaun (Nord) bei den Abfalllagern betrug der höchste Wert 1.5 mSv pro Jahr. In der Nahumgebung des PSI-West ist infolge der Beschleuniger die Neutronendosis leicht erhöht. Bei der etwa 100 Meter entfernten Scheune betrug der Wert 0.16 mSv/Jahr.

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

Figur 1



8.3. Environnement des installations nucléaires

Ch. Murith, A. Gurtner

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

Résumé

Le contrôle des émissions (8.1.) et la surveillance en continu par le réseau MADUK (8.2.) ont montré que les exploitants ont largement respecté les limites de rejets respectivement que ces derniers n'ont occasionné aucune augmentation du débit de dose ambiant. De même, les résultats des mesures coordonnées par l'OFSP dans le voisinage de ces installations permettent de garantir que leur exploitation en 1996 n'a constitué aucune menace de l'environnement ni de la population avoisinante. De faibles traces de radioactivité témoignent des rejets liquides décelables dans l'écosystème aquatique (4.2.) ainsi que des rejets atmosphériques au niveau du carbone-14 (7.1.). Leur impact sanitaire reste cependant négligeable.

8.3.1. Méthode

La surveillance de l'impact des installations nucléaires implique un grand nombre de méthodes de mesure et de laboratoires. Ces derniers participent annuellement à des mesures intercomparatives. D'autre part les instances de contrôle (DSN/OFSP) et les exploitants procèdent régulièrement à des analyses parallèles d'échantillons prélevés en phase de rejet. Des études radioécologiques (4.4.) sont aussi mises en oeuvre pour préciser les mécanismes de transferts et accroître la qualité des échantillonnages. Un bilan radioécologique décennal a également été réalisé auprès de chaque site [1]. L'ensemble de ces dispositions permet d'assurer une surveillance annuelle appropriée et de vérifier d'éventuels phénomènes d'accumulation à long terme.

8.3.2. Résultats

La surveillance de l'environnement commence au terme source, où les contrôles périodiques ont indiqué que les rejets liquides et atmosphériques ont été nettement inférieurs aux valeurs directrices et que les résultats des exploitants et des instances de contrôle ont montré une bonne cohérence. Elle se poursuit à la clôture des installations par des contrôles de l'influence du rayonnement direct (figure 1), pour lequel la valeur limite de 0.1 mSv/semaine respectivement 5 mSv/an a été respectée par toutes les installations comme le montre la figure 2.

[1] Ch. Murith, A. Gurtner: Radioactivité environnement et centrales nucléaires; Bilan décennal de surveillance (1984-1994), ISBN 3-905235-15-3, novembre 1994

Figure 1:

Influence du rayonnement direct à la clôture de la centrale de Mühleberg enregistrée à l'aide d'une chambre d'ionisation le 17.12.96. Les valeurs indiquées en nSv/h comprennent le fond naturel voisin de 80 nSv/h

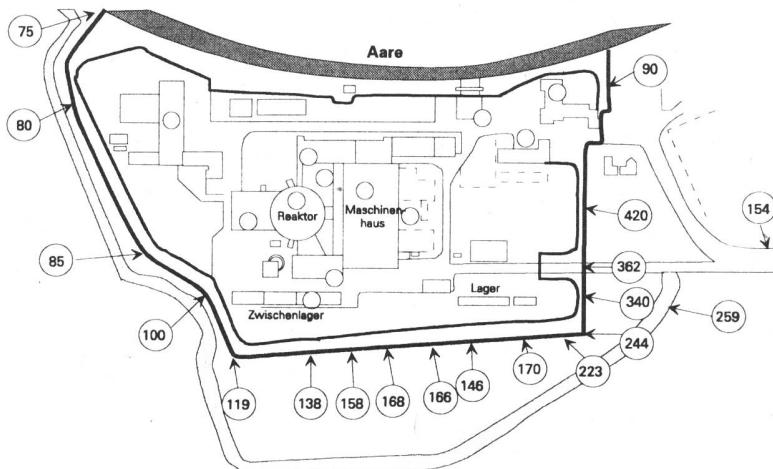
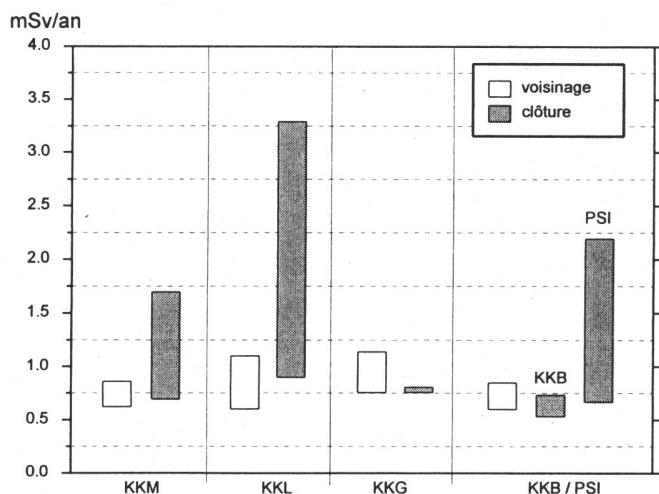


Figure 2:

Domaine des valeurs (fond naturel compris) des dosimètres TLD de l'exploitant



La surveillance particulière des précipitations et des aérosols sous les vents dominants est destinée à contrôler l'impact des rejets atmosphériques. Les résultats 1996 n'ont signalé aucune anomalie exception faite de 0.6 Bq ^{60}Co sur le filtre du 19 au 26.11.96 à la station aérosol de Gösgen-Däniken. Les investigations de l'exploitant au niveau des rejets et de l'activité collectée sur les plaques de vaseline durant cette période ainsi que les contrôles de la SUER dans les précipitations et lors d'une mesure additionnelle de spectrométrie gamma in situ ont confirmé qu'il s'agissait d'une micro-contamination inhérente à des travaux de maintenance à la station. A cette occasion on a pu constater l'excellente sensibilité du dispositif de surveillance des aérosols ainsi que le souci de l'exploitant et de l'instance de contrôle d'éclaircir avec promptitude l'origine d'une contamination aussi faible soit-elle. En résumé, cette surveillance a montré la même image que dans les stations hors du voisinage des centrales nucléaires, à savoir la prédominance du ^{7}Be naturel avec des concentrations mensuelles de 1 à 4 mBq/m³ dans l'air respectivement 0.2 à 1.5 Bq/l dans les précipitations, et des traces de ^{137}Cs de quelques micro Bq/m³ dans l'air respectivement de quelques mBq/l dans les précipitations. De même, le suivi mensuel de la teneur de tritium dans les précipitations, avec des valeurs de quelques Bq/l jusqu'à 20 Bq/l, n'indique aucune dérive et les concentrations s'avèrent nettement inférieures à celles que l'on peut observer auprès des entreprises traitant du tritium (9.3.).

La surveillance qui s'étend au milieu terrestre a montré que les concentrations enregistrées dans l'herbe et les produits alimentaires (5.1.) prélevés dans le voisinage des installations nucléaires en 1996 restituent les observations constatées dans les échantillons régionaux correspondants prélevés hors de l'influence des installations. La radioactivité naturelle prédomine avec 100 à 900 Bq/kg sec ^{7}Be et 300 à 1500 Bq/kg sec ^{40}K dans l'herbe resp. 50 Bq/l ^{40}K dans le lait et autour de 100 Bq/kg ^{40}K dans les autres denrées prêtes à la consommation. De faibles traces du ^{137}Cs (Tchernobyl) restent décelables dans l'herbe, 1 à 3 Bq/kg sec, ainsi que du ^{90}Sr (essais nucléaires), 1 à 8 Bq/kg sec dans l'herbe resp. 0.1 à quelques Bq/kg selon les aliments. La radioactivité naturelle prédomine également dans le sol, où les concentrations par matière sèche dans la couche 0-5 cm ont indiqué 350 à 700 Bq/kg ^{40}K , 25 à 45 Bq/kg ^{226}Ra et 20 à 35 Bq/kg ^{228}Ac . Comme le détaille la figure 3, le sol constitue aussi un excellent intégrateur de contaminations. Les concentrations artificielles enregistrées dans la couche (0-5 cm) témoignent des contaminations passées et ne signalent aucune injection par rapport à l'année précédente. Le ^{137}Cs est avant tout une empreinte de Tchernobyl, alors que le ^{90}Sr est essentiellement une marque des essais nucléaires. Dans certains sites du voisinage de Mülheberg (KKM), des traces du rejet de 1986 restent encore décelables au niveau du ^{60}Co et partiellement des isotopes du césium.

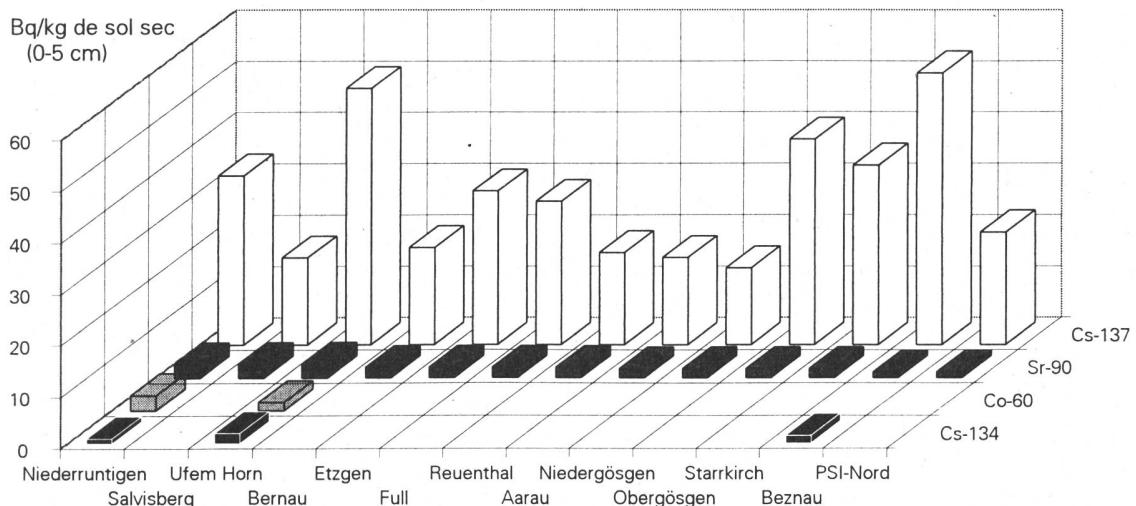


Figure 3: Concentrations artificielles présentes dans la couche 0-5 cm des sols prélevés au voisinage des centrales nucléaires (seuil de détection 1 Bq/kg)

Le contrôle de la couche supérieure du sol suffit pour s'assurer d'un an sur l'autre qu'aucun apport n'a eu lieu. Cependant pour dresser l'inventaire des contaminations du sol et leur comportement à long terme, la spectrométrie gamma in situ ainsi que l'analyse des profils de sol sont incontournables (3.1.). A l'image du sol et de sa capacité d'intégrer les contaminations atmosphériques, les sédiments constituent un réservoir privilégié pour inventorier les contaminations dans le système aquatique (4.2. et 4.3.). De même, les feuillages en particulier autour des REB et de l'ancien réacteur SAPHIR du PSI témoignent des rejets atmosphériques de ^{14}C (7.1.). La dose additionnelle qui en résulte suite à l'ingestion de produits agricoles est voisine de 1 $\mu\text{Sv}/\text{an}$.

8.3.3. Conclusions

L'impact de l'exploitation des installations nucléaires suisses est perceptible à différents degré selon les caractéristiques et l'âge de l'installation au niveau des rejets liquides et atmosphériques ainsi que du point de vue du rayonnement direct. Le tableau suivant donne un aperçu spécifique de ce faible impact dans les différents compartiments examinés en 1996. Sur la base des rejets déclarés (8.1.) et de l'ensemble des mesures dans l'environnement, aucun seuil réglementaire n'a été dépassé et les doses occasionnées ont été sans conséquence pour l'hygiène publique et l'environnement.

Compartiments examinés en 1996	KKM (REB; 372 MWel.) 1971	KKL (REB; 1045 MWel.) 1984	KKG (REP; 990 MWel.) 1979	KKB I+II (REB; 2x364 MWel. 1969 / 1971)
Principaux nucléides dans les eaux de rejet	^{60}Co , ^{65}Zn , ^{137}Cs , ^3H , ^{90}Sr	^{60}Co , ^{137}Cs , ^3H	< seuil de détection ^3H	^{58}Co , ^{60}Co , ^{137}Cs , ^3H , ^{90}Sr
Traces dans les rejets atmosphériques	^{133}Xe , ^{85m}Kr , ^{60}Co , ^{131}I , ^{140}Ba	^{131}I , ^{140}Ba , ^{14}C , ^3H	^{60}Co , ^{123m}Te	^{58}Co , ^{60}Co , ^{131}I
Rayonnement direct $^{16}\text{O}(\text{n},\text{p})^{16}\text{N}$	jusqu'à 1 mSv/an à la clôture	jusqu'à 2.5 mSv/an à la clôture	non décelable	non décelable
Système aquatique				
Eaux souterraines	non décelable	non décelable	non décelable	non décelable
Barrages en aval *)	^{58}Co ^{60}Co 1.3 Bq/m ³ 0.5 Bq/m ³	^{60}Co ^{65}Zn 2 - 13 Bq/m ³ 0.4 - 0.8 Bq/m ³	< 1 Bq/m ³ < 1 Bq/m ³	< 1 Bq/m ³ < 1 Bq/m ³ 3 Bq/m ³ 18 Bq/m ³
Eaux fluviales Aar en aval	^{60}Co ^{65}Zn 0.2 - 1.1 < 0.6	0.2 - 1.1 < 0.6	non décelable sur la base des mesures KKG	non décelable sur la base des mesures PSI
Trappes à sédiments en aval ^{137}Cs global	^{54}Mn ^{58}Co ^{60}Co 0.4 - 9 Bq/kg < 5 Bq/kg 1.5 - 50 Bq/kg 3.2 - 40 Bq/kg	0.6 - 2.4 Bq/kg 1.2 - 10 Bq/kg 1.2 - 19 Bq/kg 14 - 46 Bq/kg	pas de mesure	0.2 - 3.1 Bq/kg 1.5 - 5.5 Bq/kg 0.5 - 34 Bq/kg 4.6- 60 Bq/kg
Poissons	non décelable	non décelable	non décelable	non décelable
Milieu atmosphérique				
Stations aérosols Précipitations Plaques de vaseline	non décelable	non décelable	non décelable	non décelable
Milieu terrestre				KKB / PSI
Feuillage $\Delta^{14}\text{C}$ net (%) herbe et aliments	pas de mesure non décelable	20 - 147 non décelable	pas de mesure non décelable	10 - 66 non décelable
Sol (0-5 cm) séché	^{60}Co ^{134}Cs ^{137}Cs 1 - 3 Bq/kg 1 - 2 Bq/kg 15 - 30 Bq/kg	jusqu'à 240 Bq/m ²	non décelable	non décelable
Spectrométrie gamma in situ	^{60}Co ^{134}Cs ^{137}Cs jusqu'à 150 Bq/m ² jusqu'à 2500 Bq/m ²	jusqu'à 2500 Bq/m ²	non décelable	non décelable

non décelable: signifie qu'aucun impact directement attribuable à la centrale n'a été mesuré

*) Echantillonnage unique, non représentatif des décharges globales

**) Traces subsistantes du rejet de 1986 occasionnant jusqu'à 3 nSv/h

8.4. Contrôle des émissions et de l'environnement autour du CERN

M. Höfert, P. Vojtyla et D. Wittekind

CERN TIS-RP, 1211 GENEVE 23

8.4.1. Introduction

Le programme du contrôle de l'environnement du CERN a pour but de montrer que l'influence radiologique du fonctionnement des installations de l'Organisation sur l'environnement est très faible. Dans tous les cas, les doses efficaces pour la population avoisinante restent largement en-dessous des normes dans la législation de deux Pays Hôtes, la Suisse et la France. En effet, le Laboratoire Européen pour la Physique des Particules a adopté dans son Manuel de Radioprotection [CERN96] les normes suisses de la *Richtlinie für schweizerische Kernanlagen* [HSK80] qui sont plus sévères que les normes actuellement en vigueur en France. En particulier, des émissions de la radioactivité dans l'air et dans les effluents doivent être ALARA* en-dessous d'une limite de la dose efficace annuelle pour une personne individuelle de la population de 0,2 mSv.

8.4.2. Programme de contrôle de l'environnement autour du CERN

Le programme de contrôle de l'environnement du CERN est constamment adapté pour couvrir les nouvelles installations (LEP, ISOLDE) et faire face à l'évolution du mode de fonctionnement des accélérateurs existants.

Le programme, résumé dans le tableau 1 et 2, se divise en deux grands domaines:

- Le contrôle de la radioactivité émise dans l'air et dans l'eau à partir des différentes installations du CERN et des sites dans leur ensemble (Emission).
- La mesure des rayonnements diffusés produits par l'exploitation des accélérateurs du CERN ainsi 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).

Des résultats de mesures détaillés sont présentés mensuellement sous la forme des tableaux et dans quatre rapports trimestriels, plus étendus. Les résultats pour l'ensemble de l'année sont analysés dans le Rapport annuel du Groupe Radioprotection [Höf97].

La figure 1 présente une vue générale et simplifiée des sites de Meyrin et de Prévessin de l'Organisation ainsi que ses alentours. La figure 2 montre le site de Meyrin plus en détail. Les emplacements des points de mesures et des différents moniteurs de contrôle de l'environnement sont indiqués sur les deux figures.

* De l'anglais: *As Low As Reasonably Achievable* = Les émissions doivent être maintenues aux niveaux les plus bas qu'on puisse raisonnablement atteindre.

La liste suivante donne les explications des abréviations utilisées dans les figures ainsi que dans les tableaux qui suivent:

- PMSxx** MONITEURS DE SITE pour la mesure du rayonnement diffusé (gamma et neutron) sur les sites du CERN et dans l'environnement.
- PMVGxx** MONITEURS DE L'AIR installés aux points de rejet de l'air par la ventilation. Les chambres à ionisation mesurent directement la radioactivité bêta dans l'air.
- PMVxx** ECHANTILLONNEURS D'AEROSOLS installés en combinaison avec les moniteurs PMVG pour la collection des aérosols sur des filtres afin de mesurer les activités bêta et gamma de longue demi-vie.
- PMAxx** ECHANTILLONNEURS D'AEROSOLS installés sur les sites du CERN.
- PMWxx** MONITEURS D'EAU (cristaux de NaI) installés aux points de rejet d'eau du CERN pour une mesure continue de l'activité gamma.
- SWxx** LES ECHANTILLONS DE L'EAU DE REJET DE SURFACE sont prélevés aux points de rejet du CERN d'une façon continue afin de les analyser au laboratoire à un faible bruit de fond.
- RWxx** DEUX ECHANTILLONNEURS DE L'EAU PLUVIALE sont situés sur le site de Meyrin, en Suisse (RWSS), et sur le site de Prévessin, en France (RWSF).
- FWxx** LES ECHANTILLONS DE L'EAU POTABLE sont prélevés aux stations de pompage de Peney et du Vengeron.
- UWxx** LES ECHANTILLONS DE L'EAU SOUTERRAINE sont prélevés aux puits dans les villages autour du CERN, à Prévessin, Saint Genis et Versonnex.
- MUxx** LES SEDIMENTS de rivière pris aux mêmes endroits que l'eau de surface.
- GRxx** LES ECHANTILLONS DE L'HERBE sont ramassés à quelques endroits pour la détection d'une immission éventuelle.
- WIxx** UN ECHANTILLON DE VIN est mesuré 1 fois par an.
- EAx** Echantillons de TERRE, parfois collectés à la place de l'herbe ou en plus.

Tableau 1 : Contrôle de l'émission

	Surveillance	Radioactivité	Fréquence	Temps après prélèvement	Unités	Instruments	Nb. de points	Endroits
1.	Aérosol	bêta totale	deux fois par mois	1 semaine	mBq/m ³	Compteur proportionnel à grande surface	15	PMV 11, 31, 51, 61, 70, 72, 73, 74, 170, 801, 819, 901, 903, 905, 907. (PMV 70 et 819 sont dans un circuit fermé de ventilation)
		gamma	une fois par mois			Détecteur Ge		
	Air	bêta totale	continu	—	GBq	Chambre différentielle à ionisation	14	Puits de ventilation: BA 3, 5, 85; Lab. Bât. 26; TT10, 20, 60, 70; ACOL, BA7, PS, ISOLDE, LEP; PMVG 31, 51, 819, 11, 26, 801, 72, 73, 61, 70, 74, 170, 901, 905
2.	Eau de surface, effluent liquide	gamma totale	continu	—	Bq/l	Cristal de NaI (TI)	1 1 3 1	Près du BA2 (PMW 21) Près du BA6 (PMW 62) Site Meyrin (PMW 101, 102, 103) Point 1 LEP (PMW 901)
		bêta totale		1 semaine	Bq/l	Compteur proportionnel à grande surface	1	Site Meyrin-Le Lion (SWL3)
		gamma	une fois par mois	si l'activité bêta est > 0.37 Bq/l		Détecteur Ge	1	Site Prévessin-Nant d'Avril (SWN1)
		tritium				Compteur à scintillation liquide	1	Site Meyrin-Nant d'Avril (SWN2, 3) Site Prévessin-Le Lion (SWL2) LEP Point 1-Nant d'Avril (SW901) Puits DP62 Bât. 193, ACOL (SWNA)

Tableau 2 : Contrôle de l'immission

	Surveillance	Rayonnement Radioactivité	Fréquence des mesures	Temps après prélevement	Unités	Instruments	Nb. de points	Endroits
1.	Rayonnements diffusés	gamma neutron	continu		µSv	Chambre à ionisation (remplie d'argon) Compteur BF ₃ + modérateur	43	30 près des clôtures ou à l'extérieur, 13 sur les sites
2.	Aérosol	bêta totale gamma	deux fois par mois une fois par mois	1 semaine	mBq/m ³	Compteur proportionnel à grande surface Détecteur Ge	8	PMA 32, 71, 100, 126, 805, 821, 911, 951
3.	Eau potable et souterraine	gamma	continu		Bq/l	Cristal de NaI(Tl)	1	Près du BA6 (PMW61)
		bêta totale		1 semaine	Bq/l	Compteur proportionnel à grande surface	1	Site Meyrin - Peney (FWPE)
		gamma tritium	une fois par an	si l'activité bêta est > 0.37 Bq/l		Détecteur Ge Compteur à scintillation liquide	1	Site Prévessin - Le Vengeron (FWVE)
							1	Prévessin (UWPR)
							1	St-Genis (UWSG)
							1	Vernonex (UWVX)
4.	Précipitation	bêta totale gamma tritium	une fois par mois	1 semaine si l'activité bêta est > 0.37 Bq/l	Bq/l et Bq/m ²	Compteur proportionnel à grande surface Détecteur Ge Compteur à scintillation liquide	1 1	Toit du bât. 24 RP (RWSS) Toit du bât. 865 SPS (RWSF)
5.	Rivières	bêta totale gamma tritium	deux fois par an une fois par an	1 semaine	Bq/l	Compteur proportionnel à grande surface Détecteur Ge Compteur à scintillation liquide	1 1 1 1 7	Allondon (SWA1) Le Lion (SWL4) La Versoix (SWV1) Nant d'Avril (SWN4) Points LEP 2-8
6.	Sédiments	bêta totale gamma	deux fois par an	1 semaine	Bq/kg poids sec	Compteur proportionnel à grande surface Détecteur Ge	1 1 1 1	Allondon (MUA1) Le Lion (MUL3) La Versoix (MUV1) Nant d'Avril (MUN4)
7.	Herbes	gamma	une fois par an en juin		Bq/ kg poids sec	Détecteur Ge	1 1 2 1 1 1	Nord-Ouest de AA (GRE2) Nord-Est du BA7 (GRB4) Site Meyrin Isolde (GRB3), PS (GRB1) Zone Nord (GRN1) Cessy, puits 5 LEP (GRC1) Le Vengeron (GRVE)
8.	Vin	gamma tritium	une fois par an		Bq/l	Détecteur Ge Compteur à scintillation liquide	1	Sud-ouest du PS (WIS1)

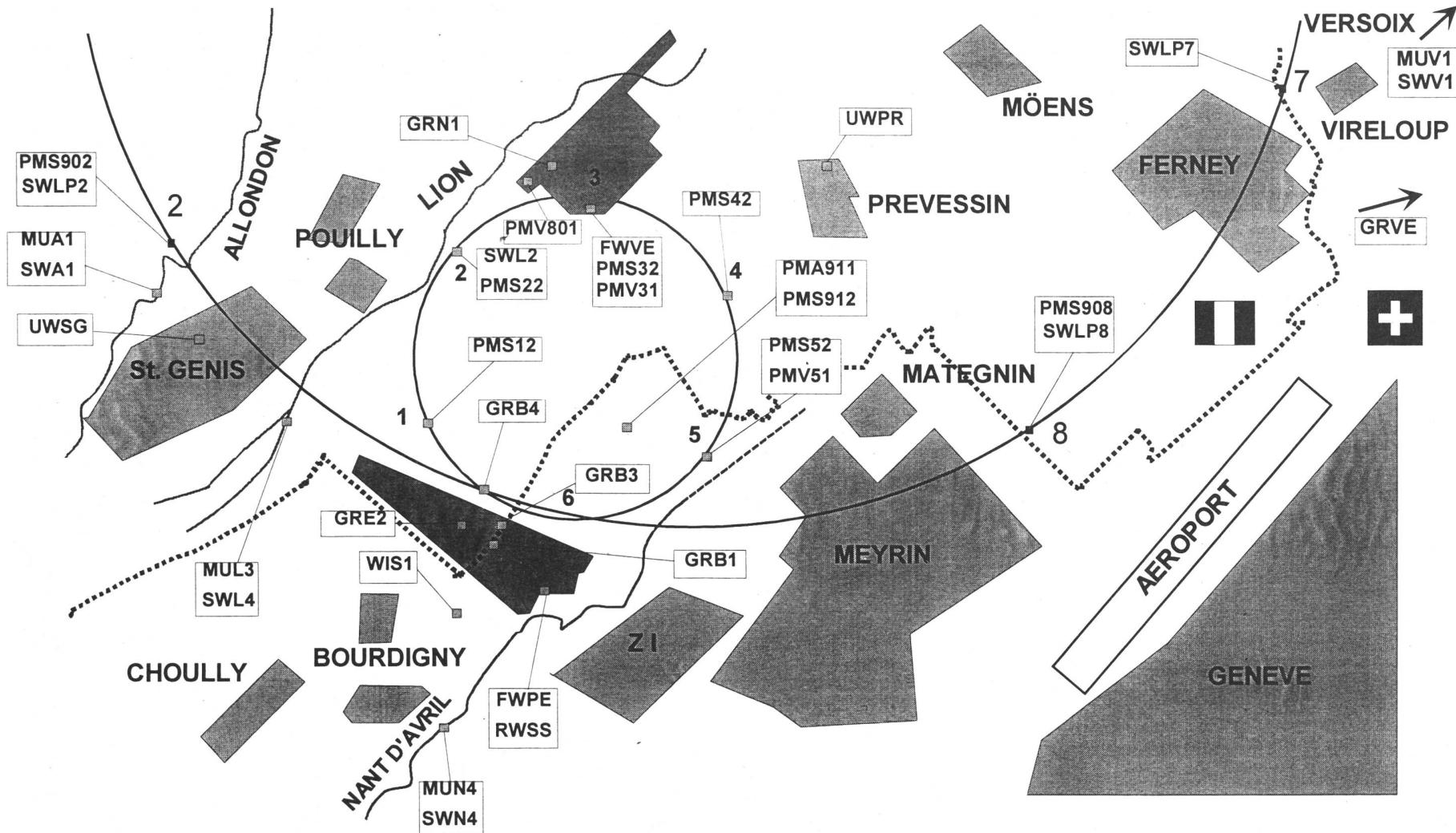


Figure 1: Les sites de Meyrin et de Prévessin du CERN et l'implantation de l'anneau du super proton synchrotron (SPS) et du collisionneur électron-positon (LEP) dans la région frontalière entre la France et la Suisse. Les points marqués sur le plan sont des endroits de mesure ou d'échantillonnage.

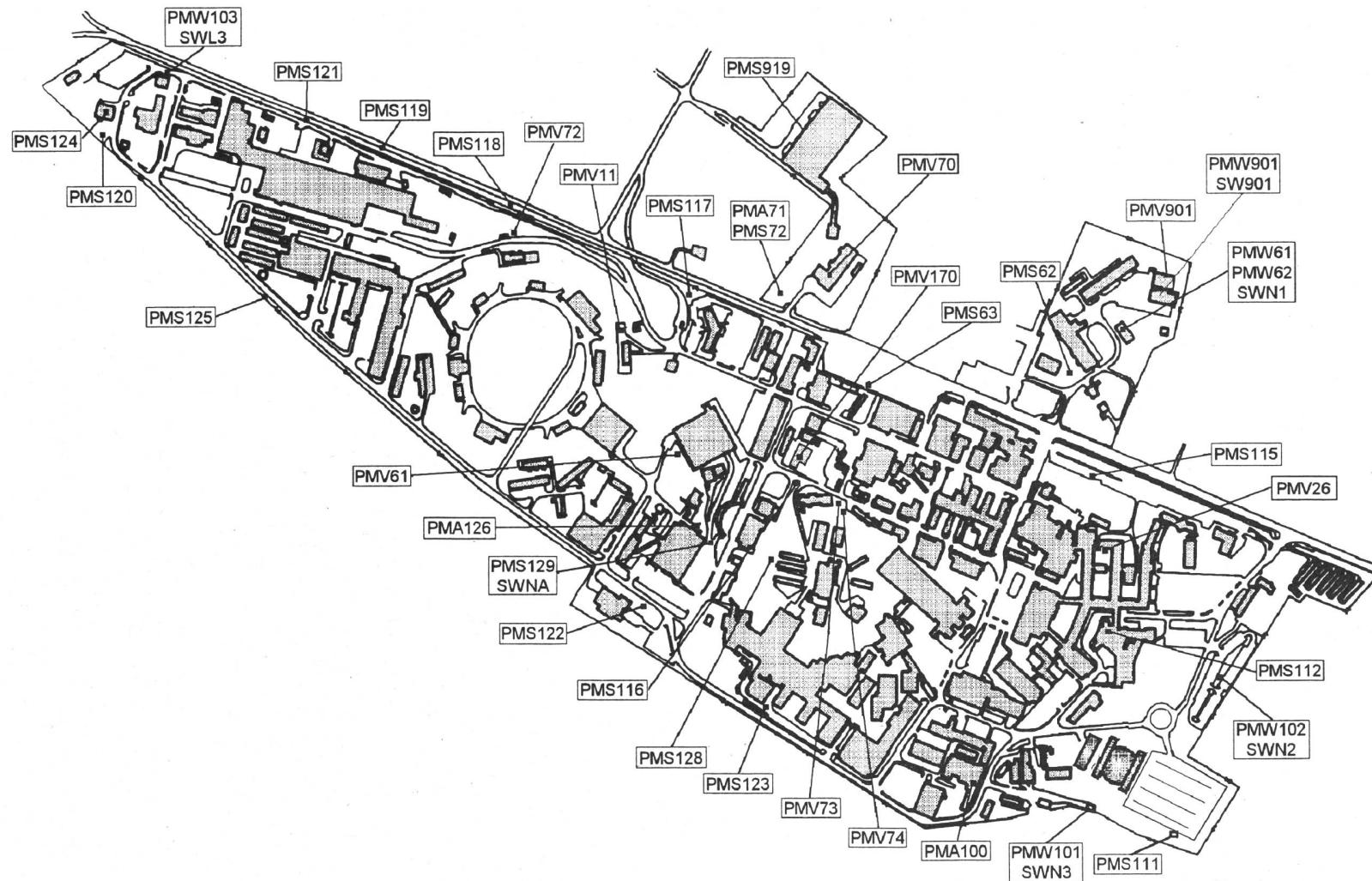


Figure 2: Vue détaillée du site de Meyrin du CERN. Les points marqués sur le plan sont des endroits de mesure ou d'échantillonnage.

8.4.2.1. Contrôle de l'émission

Les rejets de la radioactivité dans l'environnement par la ventilation de différentes installations des accélérateurs du CERN sont contrôlés par des chambres à ionisation (PMVG) pour la mesure de l'activité bêta et par la collection des aérosols (PMV) sur des filtres en fibre de verre d'un diamètre de 20 cm qui retiennent des aérosols d'une dimension plus grande que 0.3 µm. Ces filtres sont mesurés au laboratoire par des compteurs bêta de grande surface et des détecteurs de germanium pour une spectroscopie gamma.

Les rejets radioactifs par la voie d'eau sont contrôlés par des moniteurs (PMW) consistant en cristaux de NaI(Tl) submergés dans des réservoirs d'eau. Ces mesures en continu sont complétées à tous les points du CERN où les eaux quittent les sites par des dispositifs automatiques de prélèvement d'eau en forme d'échantillonneur SEIN collectionnant 5 ml d'eau toutes les 288 secondes ou d'échantillonneur développé au CERN d'une capacité de 2 ml toutes les 173 secondes. En plus des mesures de tritium, une fois par mois, 4 litres d'un échantillon sont évaporés pour une analyse de la radioactivité à faible niveau permettant des mesures de l'activité bêta totale. L'eau de surface inclut tous les effluents liquides (à l'exclusion des eaux d'égouts) qui quittent les sites du CERN et sont rejetés dans les rivières Le Lion (SWL2, SWL3) en France et le Nant d'Avril (SWN1, SWN2, SWN3 et SW901) en Suisse. L'emplacement de ces stations se trouve dans les figures 1 et 2. Un prélèvement est également effectué sur les eaux d'infiltration à proximité de la cible ACOL (SWNA).

8.4.2.2. Contrôle de l'immission

Les accélérateurs du CERN sont des sources de rayonnements diffusés surtout neutrons. Pour leur contrôle en continu, des stations de moniteurs (PMS) sont soit placés dans de petits abris, soit installés dans des bâtiments tout autour des deux sites ainsi que dans des endroits susceptibles d'être influencés par le fonctionnement des accélérateurs. Elles 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 d'un diamètre de 20 cm qui retiennent des aérosols (PMA) d'une dimension plus grande que 0.3 µm 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 eaux potables et souterraines (UW), les précipitations (RW) et les eaux de rivières (SW) sont évaporées (4 litres) et analysées au laboratoire en bêta totale. Si l'activité bêta dépasse 0,37 Bq/l l'échantillon est analysé par spectrométrie 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 (MU), les herbes (GR) et un échantillon de vin (WI). Les premiers sont séchés avant leur mesure, quand au vin il est analysé par spectrométrie gamma et sa teneur en tritium est déterminée par scintillation liquide.

8.4.3. Résultats des mesures

Dans ce rapport, sont présentés les résultats de mesures concernant plutôt le territoire suisse. Plus de détails sur les résultats du programme complet se trouvent dans le rapport annuel du groupe Radioprotection [Höf97].

Pour tous les échantillons prélevés pendant une période définie (p. ex. 1 mois) les corrections de décroissance sont calculées par ordinateur en tenant compte du début et de la fin de la période d'échantillonnage.

8.4.3.1. Mesures des émissions

Les résultats des mesures concernant les émissions de radioactivité dans l'air sont présentés dans le tableau 3.

Tableau 3: Les rejets de la radioactivité dans l'air au cours de l'année 1996

Point de rejet (PMV)	Quantité de l'air rejeté	Aérosol (activité bêta)		Aérosol (activité ^{7}Be)		Activité de l'air (^{11}C , ^{13}N , ^{15}O , ^{41}Ar)		Remarques
		$10^6 \cdot \text{m}^3$	mBq/m^3	MBq	mBq/m^3	MBq	kBq/m^3	
11	116	37	4,3	1000	116	23	2,7	TT10 injection SPS
31	196	< 0,06	–	< 1	–	–	–	L'anneau SPS
51	233	0,8	0,2	21	4,9	0,1	0,02	L'anneau SPS
801	53	1,0	0,05	1,5	0,08	42	2,2	TT20 extraction nord
			4,6		121		4,9	Total SPS
74	240	56	13	1836	440	17	4,1	L'anneau PS
72	50	6,5	0,33	247	12	74	3,7	TT60 extraction ouest
73	58	2,2	0,13	60	3,5	35	2,0	TT70 transfert PS-SPS
61	46	1,8	0,08	63	2,9	11	0,5	ACOL bâtiment 193
170	60	19	1,1	633	38	49	2,9	ISOLDE
			14,5		496,4		13,2	PS/ACOL/ISOLDE
TOTAL			19,1		617,4		18,1	SPS/PS/ACOL ISOLDE

Les résultats de la radioactivité dans les rejets d'eau vers la Suisse sont présentés dans le tableau 4. On doit noter que, pour les échantillons d'eau, l'activité gamma n'est analysée que si l'on a constaté une activité bêta totale supérieure à 0,37 Bq/l.

Tableau 4: Rejet de la radioactivité du CERN dans l'eau vers la Suisse en 1996.

Point de rejet	Quantité d'eau	Activité bêta totale		³ H		²² Na		Rejeté dans :
		10 ⁶ · m ³	Bq/l	MBq	Bq/l ^{a)}	MBq	Bq/l	MBq
SWN1	9,0	0,08 ^{b)}	—	< 15	—	—	—	Le Nant d'Avril
SWN2	1,25	0,12 ^{b)}	—	< 15	—	—	—	Le Nant d'Avril
SWN3	5,5	0,10 ^{b)}	—	< 15	—	—	—	Le Nant d'Avril
SW901	2,0	0,03 ^{b)}	—	< 15	—	—	—	Le Nant d'Avril
SWNA	0,003	16	48	167	500	17	51	Peney ^{c)}
Total	18			48		500		51

a) Limite de détection: 15 Bq/l.

b) L'activité relâchée correspond au bruit de fond naturel.

c) Usine de traitement d'eau

8.4.3.2. Mesures des immissions

Les doses intégrées totales, ainsi que les contributions des rayonnements gamma et neutron à ces doses, telles qu'elles ont été mesurées par les moniteurs de rayonnements (PMS) qui figurent dans les figures 1 et 2 sont présentés dans la figure 3.

L'influence du fonctionnement des accélérateurs du CERN est clairement visible sur les stations de mesure qui se trouvent à la clôture du site de Meyrin. Le moniteur PMS 118 est influencé par la proximité du tunnel de transfert vers la zone expérimentale ouest.

Les résultats des mesures de la radioactivité dans des échantillons ayant trait à l'environnement: aérosols, eau potable et souterraine, précipitations, rivières, sédiments dans les rivières et herbes sont résumés dans les figures 4 et 5 et dans les tableaux 5 à 8. On doit noter que, sauf le ⁴⁰K naturel et les radio-isotopes de Césium, les radionucléides pouvant être attribués à la radioactivité naturelle ne sont pas mentionnés. La concentration en tritium mesurée dans le vin était en dessous de la limite de détection du compteur de 15 Bq/l. L'autre radionucléide identifié était le ⁴⁰K d'une concentration de 18 Bq/l.

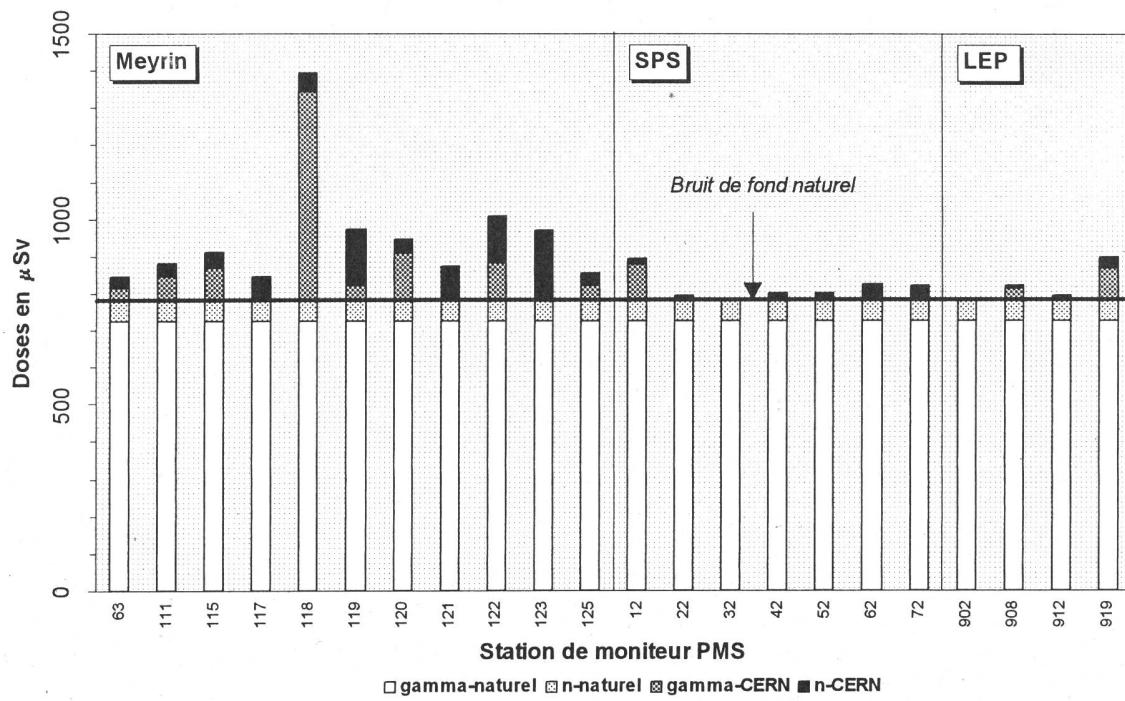


Figure 3: Doses annuelles des moniteurs de rayonnements diffusés en 1996.

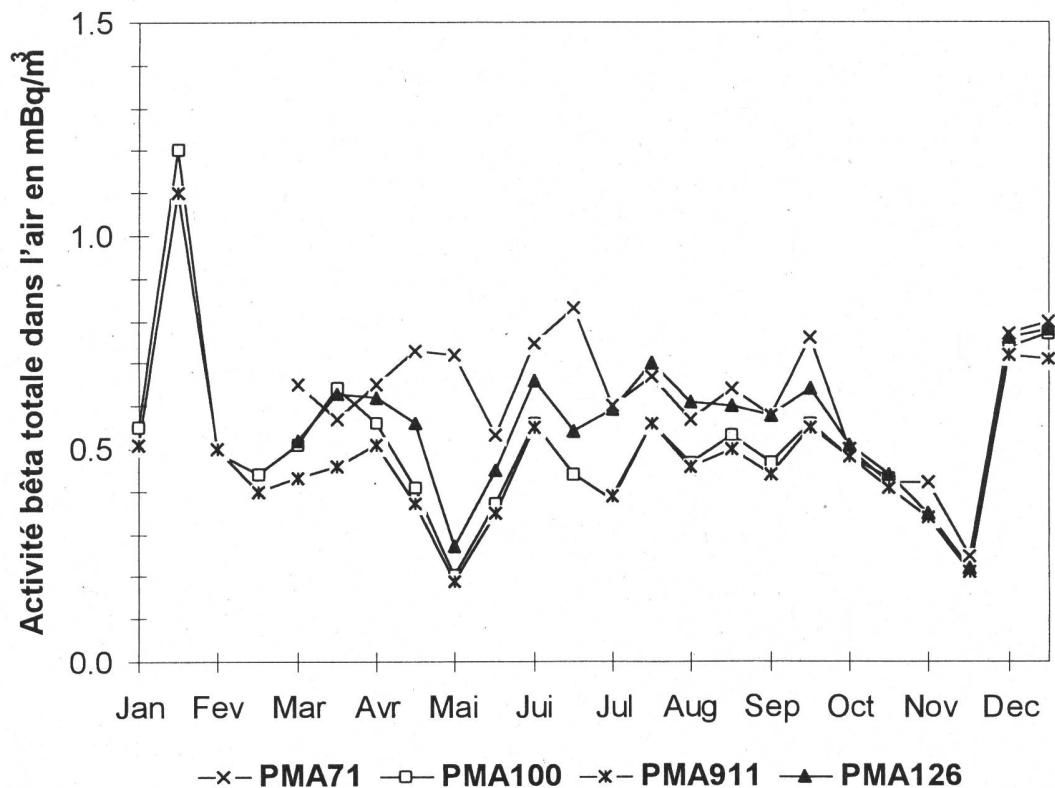


Figure 4: Activité bêta totale dans l'aérosol pour 4 stations de mesure au CERN durant l'année 1996.

Tableau 5: Résultats de mesures de l'eau potable et souterraine. Les valeurs pour le tritium sont en dessous de la limite de détection.

1996 Date	Echantillon *		Activité en Bq/l	
			bêta totale	Tritium
19.09	FWPE	Meyrin site - Peney	0,079	< 15
19.09	FWVE	Prévessin - Vengeron	0,020	< 15
19.09	UWPR	Prévessin, fontaine	0,140	< 15
20.09	UWSG	St. Genis, fontaine	0,043	< 15

*Limites de détection en Bq/l: ^{54}Mn : 0,26; ^{58}Co : 0,24; ^{60}Co : 0,25; ^{65}Zn : 0,46; ^{134}Cs : 0,26; ^{137}Cs : 0,3.

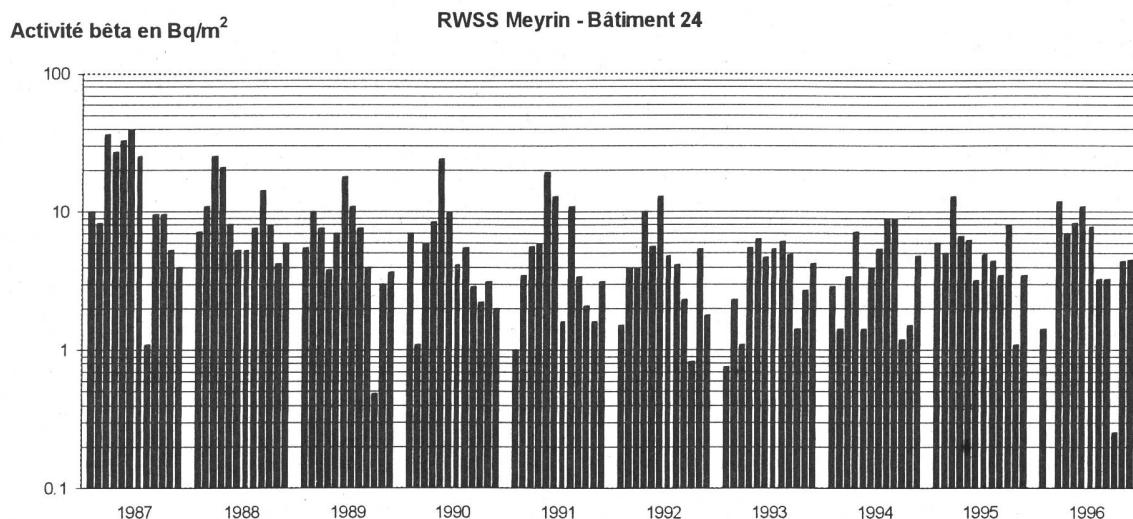


Figure 5: Activité bêta totale mesurée dans les précipitations capturées dans la station RWSS sur le site de Meyrin depuis 1987.

Tableau 6: Résultats de mesures dans des rivières. Les valeurs pour le tritium sont en dessous de la limite de détection.

1996 Date	Echantillon *		Activité en Bq/l	
			bêta totale	Tritium
29.04 19.09	SWA1	L'Allondon	0,076 0,076	< 7,7 < 15
29.04 20.09	SWL4	Le Lion	0,081 0,110	< 7,7 < 15
29.04 19.09	SWN4	Le Nant d'Avril	0,110 0,082	< 7,7 < 15
29.04 19.09	SWV1	La Versoix	0,042 0,037	< 7,7 < 15

*Limites de détection en Bq/l: ^{54}Mn : 0,26; ^{58}Co : 0,24; ^{60}Co : 0,25; ^{65}Zn : 0,46; ^{134}Cs : 0,26; ^{137}Cs : 0,3.

Tableau 7: Résultats de mesures dans des sédiments de rivières.

1996 Date	Echantillon	Activité en Bq/kg matière sèche			
		Bêta totale	⁴⁰ K	⁷ Be	¹³⁷ Cs
21.04 20.09	MUA1 L'Allondon	440	240	2,3	2,1
		430	290	-	2,2
21.04 20.09	MUL3 Le Lion	360	220	9	3,7
		370	220	44	5,0
21.04 20.09	MUN4 Le Nant d'Avril	630	320	7,4	3,9
		440	320	10	2,6
21.04 20.09	MUV1 La Versoix	510	280	3,0	1,5
		490	270	6,1	2,0

* Limites de détection en Bq/kg: ⁵⁴Mn: 0,22; ⁵⁸Co: 0,22; ⁶⁰Co: 0,22; ⁶⁵Zn: 0,37; ¹³⁴Cs: 0,23; ¹³⁷Cs: 0,25.

Tableau 8: Résultats de mesures des végétations.

1996 Date	Echantillon	Activité en Bq/kg matière sèche		
		⁴⁰ K	⁷ Be	¹³⁷ Cs
14.05	GRB1 Meyrin site PS	910	60	-
14.05	GRB3 Meyrin nouvelle ISOLDE	880	420	3,9
14.05	GRB4 NE of BA7	730	180	-
15.05	GRE2 NW of AA	930	55	-
15.05	GRN1 Zone Nord	760	160	-
15.05	GRVE Le Vengeron †	1400	91	2,6

* Limites de détection en Bq/kg: ⁵⁴Mn: 0,87; ⁵⁸Co: 0,87; ⁶⁰Co: 0,96; ⁶⁵Zn: 2,0; ¹³⁴Cs: 0,87; ¹³⁷Cs: 0,92.

† Echantillon de référence

8.4.4. Discussion

Les résultats de mesures présentes doivent être regardés dans le contexte de leur impact radiologique sur la population avoisinante du CERN. Pour une estimation des doses annuelles le groupe critique de la population a été identifié. Les valeurs de références pour les rejets de rayonnements ionisants et des radionucléides du site de Meyrin ont été calculées à l'aide de la *Richtlinie HSK-R-41/d* [HSK96, Mor96a, Mor96b]. Ces valeurs sont données dans le tableau 9.

Ces valeurs de référence ne sont pas et ne doivent pas être confondues avec des limites de rejets. Elles ne servent qu'à des valeurs auxquelles les rejets annuels sont comparés. Sur la base des valeurs de référence il devient possible d'estimer la dose annuelle au groupe critique de la population qui vit dans les alentours du CERN. Le résultat de cet exercice est présenté dans le tableau 10. Dans ce tableau les rejets annuels locaux évalués en-dehors du programme de surveillance de l'environnement sont également considérés. Les informations détaillées peuvent être consultées dans le rapport annuel 1996 du Groupe Radioprotection [Höf97].

Tableau 9: Valeurs de référence des rejets radioactifs en GBq calculées sur la base de la recommandation suisse HSK-R-41/d pour le site de Meyrin [HSK96, Mor96a, 96b]. Le rejet d'une activité donnée dans les colonnes 2 ou 3 présente pour chaque catégorie de radionucléides une dose annuelle de 0,2 mSv au groupe critique c. à. d. aux personnes les plus exposées de la population (T est la période radioactive).

Valeurs de référence en GBq	annuel	journalier
Valeurs de référence par la voie aérienne:		
Tritium (en forme HTO gazeuse)	10 000 000	230 000
^{7}Be (en aérosol)	30 000	1 400
Activités bêta/gamma ($T < 1$ jour)	3 800 000	50 000
Autres émetteurs bêta/gamma ($T > 1$ jour)	40	2
Iodes radioactifs	3 500	30
Emetteurs alpha (en aérosol)	3,7	0,15
Valeurs de référence dans les effluents:		
Tritium (sous forme HTO)	1 200 000	
^{7}Be	3 600	
Activités bêta/gamma ($T < 1$ jour)	57 000	
Autres émetteurs bêta/gamma ($T > 1$ jour)	280	
Emetteurs alpha	0,28	

Tableau 10: Equivalent de dose ambiant des rayonnements diffusés en μSv et rejet de radionucléides en GBq du CERN en 1996 ainsi que les doses efficaces correspondantes en μSv pour le groupe critique de la population avoisinante du site de Meyrin.

	Rejets en 1996	Dose efficace en μSv
Rayonnement diffusé $\mu\text{Sv}:$¹⁾	64	14
Rejets d'air en GBq:		
Tritium (en forme HTO gazeuse) ²⁾	19,2	< 0,001
^{7}Be (en aérosol)	0,617	0,004
Activités bêta/gamma ($T < 1$ jour)	18100	0,95
Autres émetteurs bêta/gamma ($T > 1$ jour)	0,019	0,095
Iodes radioactifs	0,000082	< 0,001
Emetteurs alpha (en aérosol)	0,255	14
Rejets liquides in GBq:		
Tritium (sous forme HTO)	41,9	< 0,001
^{7}Be	—	—
Activités bêta/gamma ($T < 1$ jour)	—	—
Autres émetteurs bêta/gamma ($T > 1$ jour)	0,126	0,09
Emetteurs alpha	—	—
Total		29,1

- 1) Equivalent de dose ambiant du moniteur PMS63 pour un temps d'occupation de 21%.
- 2) La totalité du tritium relâché est considérée comme vapeur d'eau. Dans cette forme chimique le facteur de dose est le plus élevé.

8.4.5. Conclusions

Les résultats du programme de surveillance de l'environnement montrent que le CERN est en accord avec les réglementations des deux pays hôtes et avec sa propre politique en matière de protection de l'environnement.

En particulier, les mesures effectuées montrent que le CERN est resté pour les rayonnements diffusés en dessous d'une valeur de 1500 µSv par an. La dose effective estimée pour le groupe critique de la population avoisinante à partir de ces rayonnements ainsi des rejets radioactifs est de l'ordre de 10 % de la limite de 300 µSv par an. Comme dans les années précédentes, l'impact radiologique du CERN sur l'environnement continue d'être très bas voir négligeable.

8.4.6. Références

- CERN96** Manuel de Radioprotection 1996, CERN, (1996).
- Höf97** M. Höfert (editor), Radiation Protection Group Annual Report (1997), CERN/TIS-RP/97-03 (1997).
- HSK80** 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).
- HSK96** 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 1996).
- Mor96a** L. E. Moritz, Implementation of the Draft Swiss Standard HSK-R-41/d to Calculate Off-Site Doses and Dose Rates due to Radioactive Emissions from CERN, TIS-RP/IR/96-08.
- Mor96b** New Derived Release Limits for the CERN Meyrin Site, CERN/TIS-RP/IR/96-07.

8.5. Evaluation de l'impact radioécologique du CERN sur la base de sédiments et de mesure in-situ

A. Albrecht, J. Beer et Y. Weidmann (EAWAG, CH-8600 DÜBENDORF)

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

8.5.1. Introduction

Pour évaluer les émissions aquatiques et atmosphériques du CERN, deux méthodes ont été appliquées. La première traite le milieu aquatique et est basée sur l'étude des sédiments du Rhône. Cette étude s'appuie sur la recherche de l'EAWAG en aval des centrales nucléaires suisses (Albrecht et al., 1995). La deuxième examine les dépôts atmosphériques sur les sols dans le voisinage du CERN à l'aide de mesures de spectroscopie gamma in-situ (Murith et Gurtner, 1996).

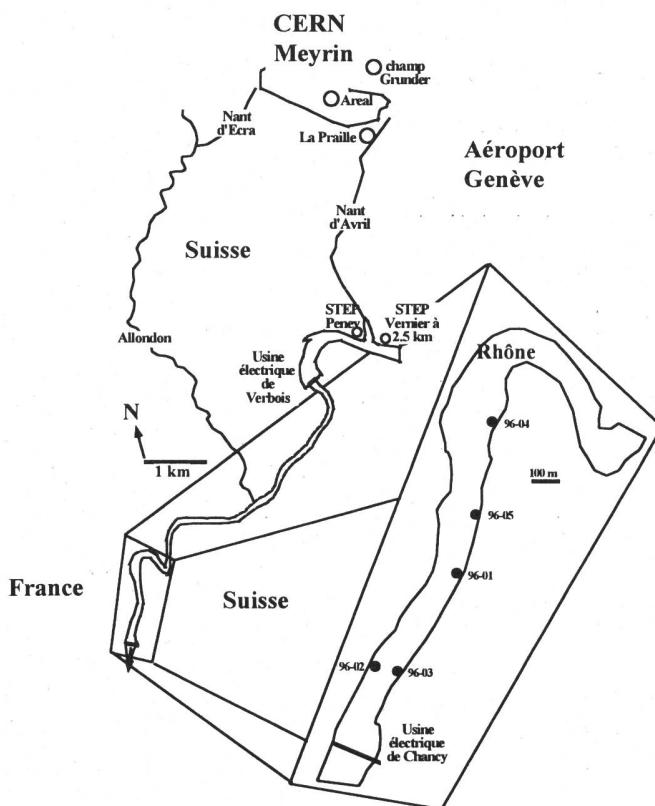
8.5.2. Le système aquatique

Situation hydrologique

Une partie de l'eau quittant le CERN passe par les stations d'épuration indiquées dans la Figure 1. L'autre partie aboutit probablement dans le Nant d'Avril ou le Nant d'Ecras. Cependant, presque toute eau venant du CERN va tôt ou tard se jeter dans le Rhône.

Figure 1:

Plan de la situation hydrologique en aval du CERN et lieu d'échantillonage des carottes de sédiments (cercles remplis) et de spectroscopie gamma (cercles ouverts; STEP, station d'épuration)



La composition de l'eau est, dans la section étudiée (Fig. 1), fortement influencée par l'Arve, qui joint le Rhône à la hauteur de Genève. Le Rhône même est filtré dans le Lac Léman et la concentration de la matière en suspension est relativement faible. L'Arve, cependant, transporte les particules érodées dans son bassin versant, qui se localise entre le massif granitique du Mont Blanc et le massif jurassique du Grand Salève. La concentration de la matière en suspension est donc nettement supérieure à celle du Rhône, aussi est-elle décisive quant au régime sédimentaire en aval de leur jonction.

Sur le côté Suisse du Rhône deux barrages hydroélectriques ont été construits, Verbois et Chancy. Dans les deux barrages la vitesse d'écoulement est réduite de manière abrupte, provoquant ainsi une abondante déposition de sédiments et la nécessité de vidanges régulières. Lors de la vidange du 29 juin 1993, 17300 m³ de sédiments ont été évacués (Indications des forces motrices de Chancy-Pougny). Cette abondance de particules et de sédiments permet d'évaluer le flux de radionucléides dans le Rhône.

8.5.3. Adsorption de radionucléides

Les substances dissoutes, y inclus les métaux sont susceptibles à s'adsorber sur les particules solides en suspension. Ce processus contribue à établir la concentration de métaux lourds dans l'eau (Sigg et al., 1994) et forme la base de la méthode appliquée ici. Le comportement des radionucléides d'intérêt (Tableau 1) dépend à la fois de l'élément et de la composition chimique et minéralogique des particules en suspension.

Tableau 1: Radionucléides d'intérêt dans les sédiments du Rhône

radionucléide	période	origine
⁷ Be	53 jours	naturelle, anthropogène
⁶⁰ Co	5.3 ans	anthropogène
⁵⁴ Mn	0.85 ans	anthropogène
¹³⁷ Cs	30 ans	anthropogène
²¹⁰ Pb	22 ans	naturelle
⁴⁰ K	1.28x10 ⁹ ans	naturelle

A cause de la complexité des réactions dans le milieu naturel, nous allons comparer nos résultats à ceux obtenus dans le réservoir de Niederried en aval de la centrale de Mühleberg (Albrecht et al., 1995)

8.5.4. Echantillonnage et résultats

En juin 1996, cinq carottes de sédiments ont été prélevées dans le Rhône en amont du barrage de Chancy (Fig. 1). Les carottes ont été choisies pour représenter les différents milieux hydrologiques et sédimentologiques du barrage de Chancy. Les carottes ont été coupées sur place en tranches de 2 cm de longueur, puis séchées par lyophilisation. Les masses ont été déterminées avant et après le séchage et les échantillons préparés pour l'analyse spectrométrique γ . La carotte RH_04 a été échantillonnée jusqu'à la profondeur de 60 cm, ce qui permet d'évaluer le dépôt de radioactivité en fonction du temps. Pour les autres carottes l'échantillonnage était limité aux couches superficielles pour estimer la

variation spatiale. Les résultats, indiqués dans le Tableau 2, sont tous rapportés à la date du carottage (Juin 1996).

Tableau 2: Activité de radionucléides naturels et anthropogènes dans les sédiments du Rhône [en Bq/kg matière sèche]

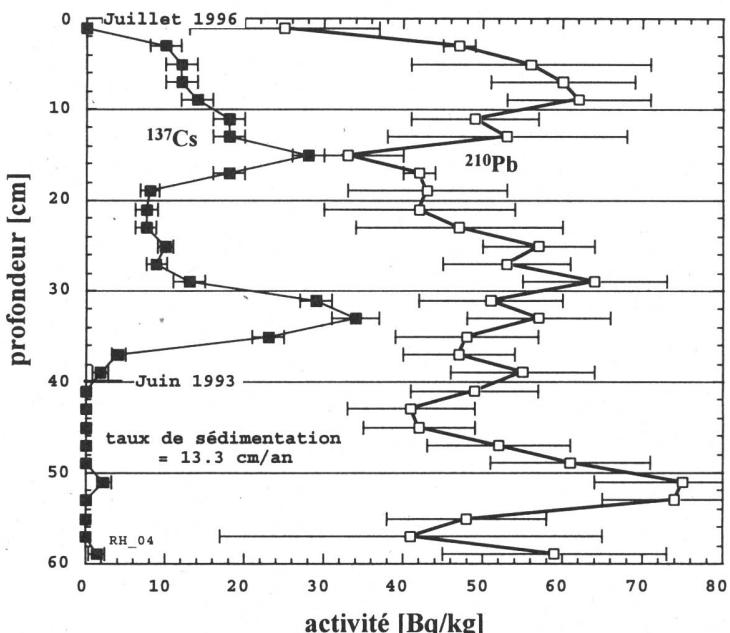
No.	profondeur [cm] haut	profondeur [cm] bas	^7Be	$^2\sigma$	^{40}K	$^2\sigma$	^{137}Cs	$^2\sigma$	^{210}Pb	$^2\sigma$
RH_04										
44	0	2	-		520	50	-		25	12
45	2	4	14	11	720	65	10	2	47	2
46	4	6	-		740	60	12	2	56	15
47	6	8	-		840	70	12	2	60	9
48	8	10	-		720	60	14	2	62	9
49	10	12	-		770	60	18	2	49	8
50	12	14	-		730	60	18	2	53	15
51	14	16	-		540	40	28	2	33	7
52	16	18	-		610	50	18	2	42	2
53	18	20	-		630	50	7.9	1.2	43	10
54	20	22	-		670	60	7.6	1.4	42	12
55	22	24	-		740	60	7.5	1.4	47	13
56	24	26	-		770	55	10	1	57	7
57	26	28	-		740	60	8.9	1.3	53	8
58	28	30	-		760	60	13	2	64	9
59	30	32	-		790	65	29	2	51	9
60	32	34	-		900	70	34	3	57	9
61	34	36	-		835	70	23	2	48	9
62	36	38	-		770	60	4.1	0.9	47	7
63	38	40	-		820	65	1.8	1.0	55	9
64	40	42	-		830	65	-		49	8
65	42	44	-		625	55	-		41	8
66	44	46	-		640	50	-		42	7
67	46	48	-		820	65	-		52	9
68	48	50	-		900	70	-		61	10
69	50	52	-		1120	90	2.3	0.9	75	11
70	52	54	-		1230	85	-		74	9
71	54	56	-		830	60	-		48	10
72	56	58	-		950	60	-		41	24
73	58	60	-		790	65	1.4	1.0	59	14
RH_01										
1	0	2	60	10	810	70	10	2	76	10
2	2	4	-		730	60	11	2	61	14
RH_02										
32	0	2	39	10	790	65	13	2	84	11
33	2	4	-		730	60	9.5	1.5	53	13
RH_03										
15	0	2	60	7	740	55	7	1	57	7
16	2	4	140	20	840	80	14	2	90	20
RH_05										
74	0	2	18	10	600	50	7.7	1.3	57	12
75	2	4	-		595	50	7.1	1.2	36	11

Les activités de ^{60}Co et ^{54}Mn sont inférieures à la limite de détection, respectivement 0.5 et 1.5 Bq/kg. Dû à sa courte période le ^7Be se trouve uniquement dans les sédiments récents,

sa présence dans ces échantillons permet ainsi d'exclure la perte de ses couches superficielles. Le ^{40}K reflète la concentration de K stable dans l'échantillon et renseigne ainsi sur la présence de minéraux potassiques comme les argiles ou les feldspaths alcalins. Dans la carotte RH_04, le ^{40}K varie entre 500 et 1200 Bq/kg, témoignant de la grande variation dans la composition des particules et de la complexité du bassin versant. Une corrélation positive entre ^{40}K et ^{210}Pb ($R^2=0.6$) indique que la variation de ^{210}Pb entre 25 et 90 Bq/kg tient plutôt au ^{210}Pb supporté (produit dans l'échantillon suite à la décroissance radioactive de l' ^{238}U), qu'au ^{210}Pb excès (formé dans l'atmosphère et transféré au sol par des précipitations). Le manque d'une réduction exponentielle en fonction de la profondeur (Fig. 2) s'explique aussi par la dominance de ^{210}Pb supporté. Le ^{137}Cs varie également en fonction du lieu de l'échantillonnage et de la profondeur (Tab. 2, Fig. 2).

Figure 2:

Distribution de ^{137}Cs et ^{210}Pb dans la carotte RH_96-04 échantillonnée dans la retenue du barrage de Chancy (avec limite d'erreur de 2σ).



Cette variation entre la limite de détection (< 1 Bq/kg) et le maximum d'activité de 34 Bq/kg est d'une part liée à l'efficacité de la sorption de ^{137}Cs par les particules composants le sédiment, d'autre part à l'âge du sédiment. Cette deuxième dépendance permet d'estimer le taux de sédimentation dans la carotte RH_04 (Fig. 2). La réduction des activités en dessous de 38 cm peut s'expliquer uniquement par une grande variation d'âge, laquelle est probablement provoquée par la dernière vidange du bassin en juin 1993. Les sédiments inférieurs sont donc plus âgés que juin 1993, les sédiments supérieurs plus jeunes. Le taux de sédimentation se situe pour les dernières trois années à 13.3 cm/an. L'évaluation des dépôts de radioactivité dans ce bassin est en conséquence uniquement possible pour cette période.

8.5.5. Comparaison à un site en aval d'une centrale nucléaire

Pour évaluer les activités mesurées dans les sédiments du Rhône, une comparaison aux sédiments de l'Aar à Niederried en aval de Mühleberg semble justifiée (Tableau 3). Les activités de ^7Be , de ^{40}K et de ^{210}Pb sont légèrement plus élevées dans le Rhône, liées à l'abondance plus importante de K et d'U dans le bassin versant de l'Arve et à une absorption plus efficace.

Tableau 3: Activité moyenne de sédiments récents en aval de la centrale de Mühleberg (Albrecht et al., 1995) et du CERN en Bq/kg matière sèche.

	⁷Be	⁴⁰K	⁶⁰Co	¹³⁷Cs	²¹⁰Pb
Rhône	55	774	<0.5	12	55
Aar	36	547	18	16	39

Les activités de ¹³⁷Cs sont comparables, en raison de dépôts semblables de ¹³⁷Cs dans les bassins versants des deux fleuves après l'accident de Chernobyl (Schwarz et al., 1996). La présence du ⁶⁰Co dans l'Aar, qui tient uniquement aux décharges de la centrale de Mühleberg, permet d'estimer la limite d'une possible décharge de ⁶⁰Co par le CERN. L'activité de 18 Bq/kg dans l'Aar est due à une décharge moyenne 3.0×10^7 Bq/jour (moyenne de la période 1986-96). En supposant un transfert comparable pour les deux sites, une décharge possible de ⁶⁰Co par le CERN n'a pas pu surpasser 0.9×10^6 Bq/jour. ⁵⁴Mn reste dans les sédiments des deux sites inférieur à la limite de détection (1.5 Bq/kg).

8.5.6. La déposition atmosphérique

La spectroscopie gamma in-situ permet une évaluation directe des activités des émetteurs gamma et de la dose qui en résulte (tableau 4).

Tableau 4: Résultats des mesures de spectrométrie gamma in situ (SUER) du 7.5.96

Voisinage CERN	champ F. Grunder		La Praille		CERN Areal	
Radionucléides naturels	Bq/kg	nGy/h ¹⁾	Bq/kg	nGy/h ¹⁾	Bq/kg	nGy/h ¹⁾
⁴⁰ K	380±30	16±1	340±30	14±1	340±30	14±1
²²⁸ Ac	28±2	17±1	25±2	15±1	23±2	14±1
²²⁶ Ra	29±3	10±1	28±3	10±1	28±3	10±1
Somme		43		39		38
Cosmique		38		38		38
Total naturel		81		77		76
Radionucléides artificiels						
¹³⁴ Cs	< 0.1	—	< 0.1	—	< 0.1	—
¹³⁷ Cs	4±1	0.6	13±1	2.0	7±1	1.1
Total in situ		81.6		79.1		77.1
Total chambre d'ionisation RSS		82.4		78.9		80.3

1) Le calcul tient compte de toutes les transitions du nucléide ou de la série de désintégration en question. En raison de la courte résidence des radionucléides métalliques dans l'atmosphère, des émissions se manifestent en règle générale dans une augmentation de l'activité et de la dose dans les sols du voisinage de la source. Les examens in-situ effectués le 7 mai 1996

sur l'areal du CERN et dans deux sites de son voisinage (Fig. 1) ne signalent aucun impact des émissions du CERN. La radioactivité naturelle prédomine et les traces de césium-137 témoignent exclusivement de la retombée de Tchernobyl et des essais nucléaires passés. Du point de vue de l'exposition externe le total in-situ et la mesure avec chambre d'ionisation confirment les valeurs des dix dosimètres TLD répartis autours du CERN et évalués par l'IRA (0.7 à 1.0 mGy/an).

8.5.7. Mesures additionnelles

Suite aux mesures de la CRII RAD en zone contrôlée dans l'enceinte du CERN ainsi que dans son environnement proche, le groupe Radioprotection du CERN et la Section surveillance de la radioactivité (SUER) de l'Office fédéral de la santé publique (OFSP) ont procédé à des mesures additionnelles de vérification. Dans un souci radioécologique et de protection de la santé des populations riveraines, le CERN et l'OFSP ont privilégié en plus des mesures du programme de surveillance habituel de l'environnement, un examen particulier des radioindicateurs du milieu aquatique à savoir les sédiments et les mousses. Sur l'ensemble de l'étude d'impact, seules des mousses du Nant d'Avril ont indiqué les faibles concentrations suivantes par kg de matière sèche: 7.6 Bq/kg ⁵⁴Mn, 2.3 Bq/kg ⁵⁶Co, 9.1 Bq/kg ⁵⁷Co et 11.5 Bq/kg ⁶⁰Co. Ces traces se situent nettement en dessous des limites prescrites dans l'ordonnance de radioprotection (ORaP) et n'occasionnent aucune dose préjudiciable à la santé de la population avoisinante. Le groupe Radioprotection du CERN et l'instance de surveillance de l'OFSP ont néanmoins décidé d'intégrer certaines mesures additionnelles ciblées dans le programme de surveillance de l'environnement du site CERN.

Remerciements

Nous remercions M. Ph. Briod, Directeur des forces motrices de Chancy-Pougny pour la permission d'accès au terrain, la mise à disposition d'un bateau ainsi que des données topographiques et bathymétriques de la retenue du barrage. Un remerciement aussi à Mme Wittekind pour les renseignements concernant le CERN et pour le transport du matériel. Merci à E. Steffen pour avoir révisé le texte français. Le poste de AA à l'EAWAG est financée par la Division principale de la Sécurité des Installations Nucléaires (DSIN).

Références

- Albrecht, A., P. Reichert, J. Beer and A. Lück, 1995. Evaluation of the importance of reservoir sediments as sinks for reactor-derived radionuclides in riverine systems. *J. of Environmental Radioactivity*. 28: 239-269.
- Sigg, L., W. Stumm and P. Behra, 1994. *Chimie des milieux aquatiques*. Paris, Masson.
- Murith, C. and A. Gurtner, 1996. In situ spectrometry to follow the behaviour of the Chernobyl radionuclides in soil. *Mitt. d. Österr. Bodenkundl. Ges.*, 53: 19-26.
- Schwarz, G.F., L. Rybach and F. Medici, 1996. Construction of radioelement and dose-rate baseline maps by combining ground and airborne radiometric data, HSK, 5232 Villigen.