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: - (2001)

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: 14.07.2025

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 2001 für die vier Schweizer Kernkraftwerke Beznau (KKB), Gösgen (KKG), Leibstadt (KKL) und Mühleberg (KKM) sowie für das Paul-Scherrer-Institut (PSI) und das am gleichen Standort domizilierte Zentrale Zwischenlager Würenlingen (ZZL) deutlich unterhalb den Jahres- und Kurzzeit-Abgabelimiten. 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 von 0,2 mSv pro Jahr.

Im Lauf des Berichtsjahres hat das KKG Messungen der Abgaben von ^{14}C mit der Abluft aufgenommen. Diese Messungen zeigten höhere Abgabewerte und grössere Schwankungsbreiten als aufgrund von Erfahrungswerten und aus Literaturangaben bislang angenommen wurde. KKL führt schon seit längerer Zeit aus eigener Veranlassung ^{14}C-Messungen durch, bei den beiden anderen schweizerischen Kernkraftwerke sind Überprüfungen der Erfahrungswerte für ^{14}C-Abgaben in den nächsten Jahren vorgesehen.

Im Frühjahr 2001 wurde das "Reglement für die Abgabe radioaktiver Stoffe und die Überwachung von Radioaktivität und Direktstrahlung in der Umgebung des ZZL" von der HSK in Kraft gesetzt. Ende Jahr erfolgten die ersten Einlagerungen in die ZZL-Lagerhallen.

*Die externe Strahlung ist mit dem **M**essnetz zur **A**utomatischen **D**osisleistungsüberwachung in der **U**mgebung der **K**ernkraftwerke (MADUK) ständig überwacht worden. Um das KKB und das PSI sind 17, beim KKG 16 und beim KKL und KKM je 12 Ortsdosisleistungs-Messonden in einem Abstand von bis zu ca. 5 km in 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 mit in der Nähe der MADUK-Sonden durchgeführten Kalibrierungsarbeiten an NADAM-Sonden, mit Defekten bei der Sondenelektronik resp. in einem Einzelfall mit einer Beschädigung durch Bauarbeiten erklären.*

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

Bei den luftgetragenen Stoffen 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 der UNI-Bern von ^{14}C in Baumblättern der Umgebung der Siedewasserreaktoren wurde fortgesetzt.

Im aquatischen Milieu zeigten Wasser- und Sedimentproben Spuren von künstlichen Radionuklid, wie ^{54}Mn, ^{58}Co, ^{60}Co, ^{65}Zn und ^{134}Cs, welche aus den Abgaben der Kernanlagen stammen; zudem wurde auch ^{137}Cs festgestellt (vgl. 4.3).

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 Abgaben der schweizerischen Kernkraftwerke der letzten fünf Jahre sind in Figur 1 für Abluft und Abwasser im Vergleich zu den Jahreslimiten dargestellt. Alle Kernkraftwerke haben die Jahres- und die Kurzzeitlimiten eingehalten. Tabelle 1a zeigt die Zahlenwerte sowie die unter ungünstigen Annahmen errechnete Personendosis für Erwachsene und Kleinkinder im Jahr 2001. Die Abgaben des Paul Scherrer Instituts und die daraus in gleicher Weise berechneten Dosiswerte sind in Tabelle 1b zusammengestellt. Die Aktivitätsabgaben mit dem Abwasser sind in Tabelle 1c, die mit der Abluft in den Tabellen 1d und 1e Nuklid spezifisch 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 im allgemeinen gut überein und zeigen, dass die Abgabereglemente (Fussnote 2 zu Tabelle 1) beachtet werden.

Die aus den Emissionen der Kernkraftwerke errechnete Jahresdosis für Einzelpersonen der Bevölkerung in unmittelbarer Nähe der Anlage beträgt unter Berücksichtigung der Ablagerungen aus den Vorjahren beim KKB ungefähr 0.002 mSv, beim KKG 0.005 mSv, beim KKL 0.005 mSv und beim KKM ungefähr 0.006 mSv. Die berechneten Dosiswerte für Einzelpersonen der Bevölkerung betragen im Jahre 2001 somit einen Bruchteil des quellenbezogenen Dosisrichtwerts von 0.2 mSv pro Jahr.

Bei den Kernkraftwerken ergeben die ^{14}C-Abgaben im Jahr 2001 den grössten Dosisbeitrag. Dieses Nuklid entsteht im Reaktor durch Kernreaktionen von Neutronen mit Stickstoff, Kohlenstoff und Sauerstoff. Die Produktionsrate in den Kernkraftwerken ist von der Reaktorleistung und von weiteren Faktoren abhängig, die gegenwärtig detaillierter untersucht werden. Die HSK berücksichtigt bei den Dosisberechnungen die ^{14}C-Abgaben, da diese seit einigen Jahren aufgrund der übrigen geringen Abgaben die Dosis bestimmen. KKL führt schon seit längerer Zeit aus eigener Veranlassung ^{14}C Messungen durch. Mitte 1998 wurde das System zur Messung von ^{14}C aufgrund der Resultate einer internationalen Vergleichsmessung neu kalibriert, was dazu führte, dass die für Einzelpersonen der Bevölkerung errechnete Dosis seit 1998 etwas höher ist. Im Berichtsjahr hat auch KKG die Messung von ^{14}C aufgenommen. Die Messungen zeigen höhere Abgabewerte und grössere Schwankungsbreiten als aufgrund von Erfahrungswerten und aus Literaturangaben angenommen wurde. Dies erklärte den im Vergleich zum Vorjahr höheren Wert der in diesem Jahr ausgewiesenen Dosis. Bei den beiden andern schweizerischen Kernkraftwerken wurden bei der Dosisberechnung für die ^{14}C-Abgaben Erfahrungswerte, die in den nächsten Jahren Gegenstand einer Überprüfung sind, eingesetzt.

Bei der Bewertung der errechneten Dosiswerte gilt es zu beachten, dass diese auf jeden Fall unterhalb von 0.01 mSv liegen. Dosen in einer solchen Grössenordnung gelten gemäss Artikel 5 und Artikel 6 der Strahlenschutzverordnung in jedem Fall als gerechtfertigt und optimiert.

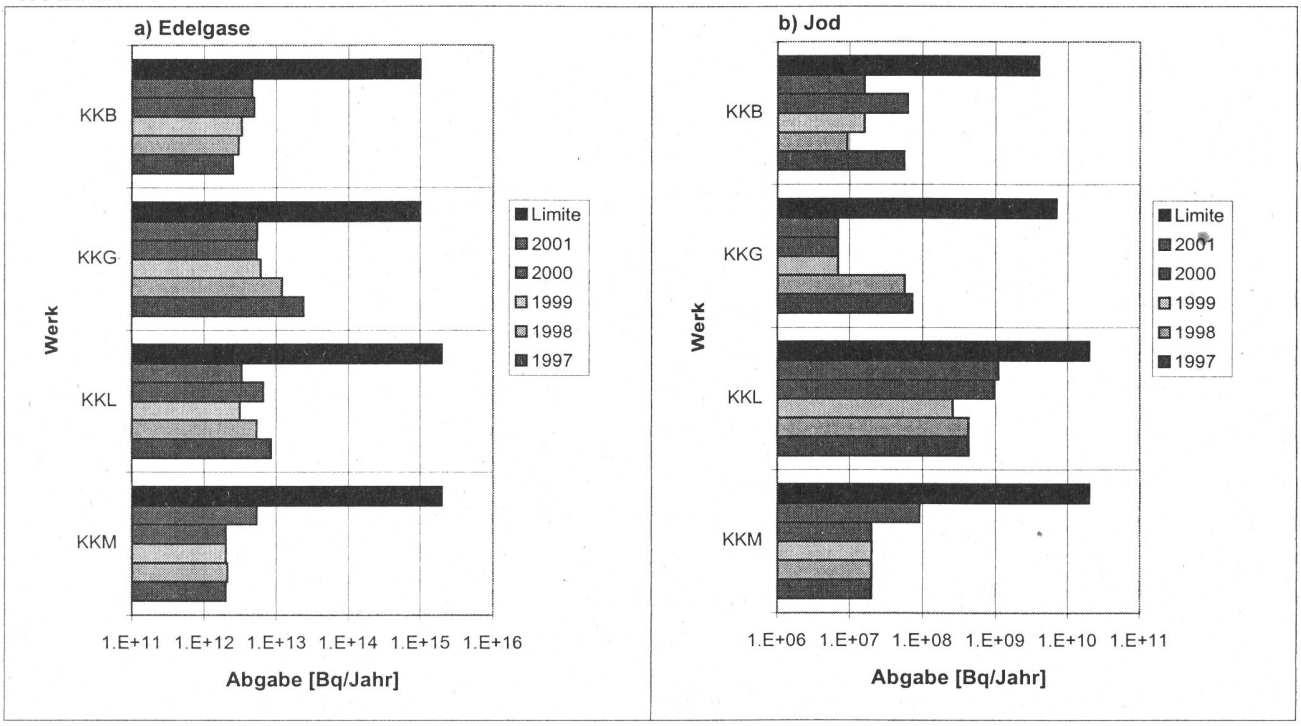
Die Kernkraftwerke waren für Revisionsarbeiten während folgender Perioden abgestellt: KKB I vom 23. Juni bis 3. Juli, KKB II vom 13. Juli bis 18. September, KKG vom 7. Juli bis 29. Juli, KKL vom 4. August bis zum 28. August und KKM vom 12. August bis 3. September 2001.

Das PSI ist aufgrund der Bewilligung für die Abgabe 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 weniger als 0.005 mSv. Beinahe die gesamte Dosis ergibt sich hier durch die Abgabe von kurzlebigen radioaktiven Edelgasen 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 Dosisanteils des PSI von 0.15 mSv pro Jahr am quellenbezogenen Dosisrichtwert des gemeinsamen Standortes PSI/ZZL liegt.

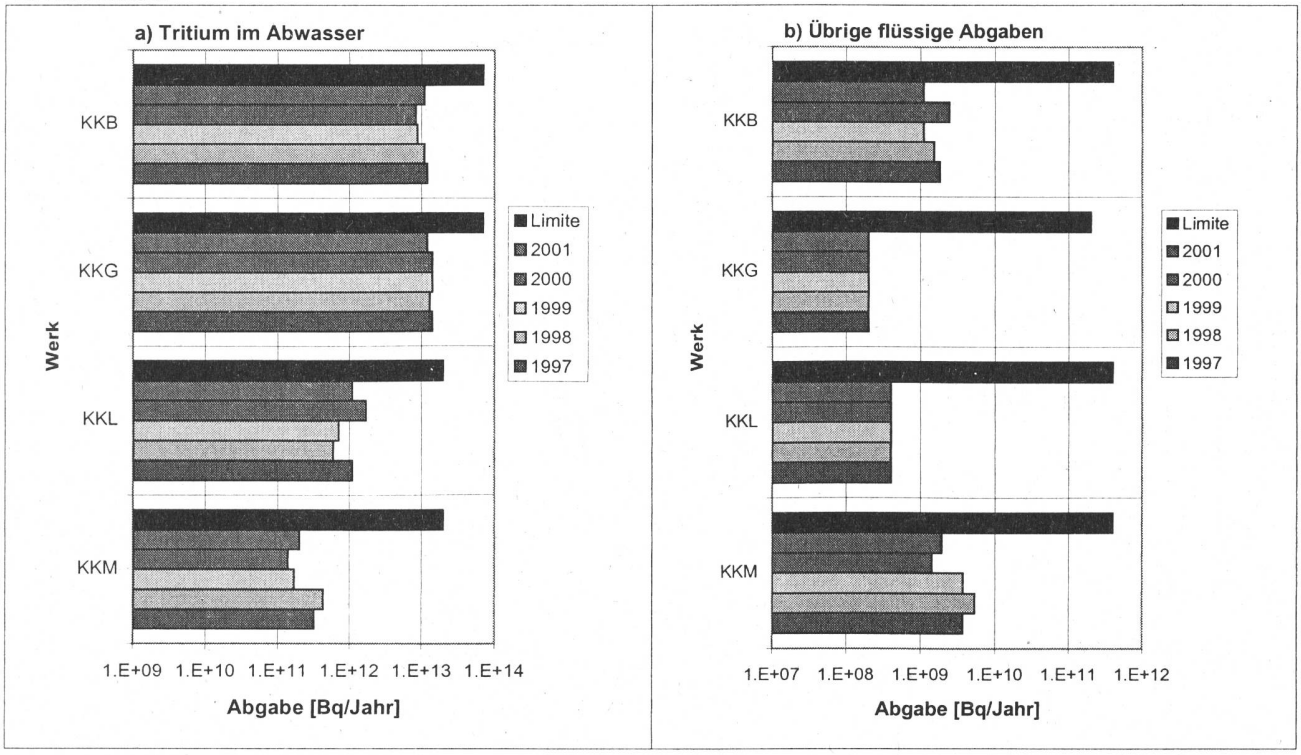
Im Berichtsjahr wurde das "Reglement für die Abgabe radioaktiver Stoffe und die Überwachung von Radioaktivität und Direktstrahlung in der Umgebung des Zentralen Zwischenlagers Würenlingen (ZZL)" in Kraft gesetzt und die beweissichernden Messungen in der Umgebung wurden abgeschlossen. Gleichzeitig wurden die betrieblichen Messungen aufgenommen.

Erste Einlagerungen eines Behälters mit abgebrannten Brennelementen, der ersten Glaskokillen aus der Wiederaufarbeitung von abgebranntem Brennstoff und von Gebinden mit mittelaktiven Abfällen ins ZZL fanden in der zweiten Hälfte des Jahres unter Aufsicht der HSK statt.

1. Abluft



2. Abwasser



Figur 1: Abgaben der schweizerischen Kernkraftwerke in den letzten fünf Jahren im Vergleich mit den Abgabelimiten. (Siehe Tabelle 1a) Bei den Abgaben von KKL und KKG handelt es sich zum Teil um Nachweisgrenzen.

Tabelle 1a: Zusammenstellung der Abgaben radioaktiver Stoffe der Kernkraftwerke an die Umgebung im Jahr 2001 und die daraus berechnete Dosis für Einzelpersonen der Bevölkerung. *(Fussnoten auf Seite 8.1.8)*

Anlage	Medium	Art der Abgaben [4]	Abgabelimiten [1]	Tatsächliche Abgaben [2]		Berechnete Jahresdosis [3]	
			Bq/Jahr	Bq/Jahr (±50%)	Prozent der Limite	Erwachsener mSv/Jahr	Kleinkind mSv/Jahr
KKB1 + KKB2	Abwasser (3800 m³)	Nuklidgemisch (ohne Tritium)	$4 \cdot 10^{11}$	$1.1 \cdot 10^{9}$	0.3%	<0.001	<0.001
		Tritium	$7 \cdot 10^{13}$	$1.1 \cdot 10^{13}$	15.7%	<0.001	<0.001
	Abluft	Edelgase	$1 \cdot 10^{15}$	$4.6 \cdot 10^{12}$	0.5%	<0.001	<0.001
		Aerosole ohne I-131, Halbwertszeit > 8 Tage	$6 \cdot 10^{9}$	-	<0.1%	<0.001	<0.001
		Iod-131	$4 \cdot 10^{9}$	$1.6 \cdot 10^{7}$	0.4%	<0.001	<0.001
		Kohlenstoff-14	-	$4.0 \cdot 10^{10}$	-	0.0012	0.0020
KKM	Abwasser (5701 m³)	Nuklidgemisch (ohne Tritium)	$4 \cdot 10^{11}$	$1.9 \cdot 10^{9}$	0.5%	<0.001	<0.001
		Tritium	$2 \cdot 10^{13}$	$2.0 \cdot 10^{11}$	1.0%	<0.001	<0.001
	Abluft	Edelgase	$2 \cdot 10^{15}$	$5.3 \cdot 10^{12}$	0.3%	<0.001	<0.001
		Aerosole ohne I-131, Halbwertszeit > 8 Tage	$2 \cdot 10^{10}$	-	<0.1%	0.0054	0.0045
		Iod-131	$2 \cdot 10^{10}$	$9.1 \cdot 10^{7}$	0.5%	<0.001	<0.001
		Kohlenstoff-14	-	$2 \cdot 10^{11}$	-	<0.001	0.0012
KKG	Abwasser (7395 m³)	Nuklidgemisch (ohne Tritium)	$2 \cdot 10^{11}$	-	<0.1%	<0.001	<0.001
		Tritium	$7 \cdot 10^{13}$	$1.2 \cdot 10^{13}$	17.1%	<0.001	<0.001
	Abluft	Edelgase β-total-Messung	$1 \cdot 10^{15}$	$<5.4 \cdot 10^{12}$ ($<4.7 \cdot 10^{12}$)	0.5%	<0.001	<0.001
		Aerosole ohne I-131, Halbwertszeit > 8 Tage	$1 \cdot 10^{10}$	-	<0.1%	<0.001	<0.001
		Iod-131	$7 \cdot 10^{9}$	-	<0.1%	<0.001	<0.001
		Kohlenstoff-14	-	$4.0 \cdot 10^{11}$	-	0.0028	0.0047
KKL	Abwasser (14604 m³)	Nuklidgemisch (ohne Tritium)	$4 \cdot 10^{11}$	-	<0.1%	<0.001	<0.001
		Tritium	$2 \cdot 10^{13}$	$1.1 \cdot 10^{12}$	5.5%	<0.001	<0.001
	Abluft	Edelgase	$2 \cdot 10^{15}$	$3.3 \cdot 10^{12}$	0.2%	<0.001	<0.001
		Aerosole ohne I-131, Halbwertszeit > 8 Tage	$2 \cdot 10^{10}$	$3.0 \cdot 10^{7}$	0.2%	<0.001	<0.001
		Iod-131	$2 \cdot 10^{10}$	$1.1 \cdot 10^{9}$	5.5%	<0.001	0.001
		Kohlenstoff-14	-	$4.5 \cdot 10^{11}$	-	0.0024	0.0041

Tabelle 1b: Zusammenstellung der Abgaben des Paul Scherrer Instituts im Jahr 2001 und der daraus berechnete Dosis für Einzelpersonen der Bevölkerung.
(Fussnoten auf Seite 8.1.8)

	Hochkamin	Verbrennungsanlage	Saphir	Betriebsgebäude für radioaktive Abfälle	Bundeszwischenlager	Zentrale Fortluftanlage PSI West.	Injektor I	Injektor II	Tritiumhütte	Abwasser PSI (3853 m^3)	Gesamtanlage des PSI
Abgaben im Abwasser [2) 4)] [Bq]											
Nuklidgemisch ohne Tritium	-	-	-	-	-	-	-	-	-	$3.9 \cdot 10^{7}$	$3.9 \cdot 10^{7}$
Tritium	-	-	-	-	-	-	-	-	-	$1.3 \cdot 10^{11}$	$1.3 \cdot 10^{11}$
Abgaben über die Abluft [2) 4)] [Bq]											
Gase	$4.5 \cdot 10^{11}$	-	-	-	-	$1.0 \cdot 10^{14}$	$3.3 \cdot 10^{9}$	$6.3 \cdot 10^{10}$	-	-	$1.0 \cdot 10^{14}$
β/γ-Aerosole (ohne Iod, Halbwertszeit>8 Std)	$4.7 \cdot 10^{8}$	$1.6 \cdot 10^{8}$	-	-	-	$5.7 \cdot 10^{9}$	-	$2.1 \cdot 10^{6}$	-	-	$6.3 \cdot 10^{9}$
α-Aerosole	-	$8.6 \cdot 10^{5}$	-	-	-	-	-	-	-	-	$8.6 \cdot 10^{5}$
Iod (I-131-aeq.)	$1.5 \cdot 10^{8}$	$1.4 \cdot 10^{7}$	-	-	-	$1.8 \cdot 10^{7}$	-	-	-	-	$1.8 \cdot 10^{8}$
Tritium (tritiiertes Wasser)	$2.2 \cdot 10^{12}$	$9.5 \cdot 10^{10}$	$1.8 \cdot 10^{10}$	$5.5 \cdot 10^{11}$	$4.9 \cdot 10^{8}$	$7.2 \cdot 10^{11}$	-	-	$1.4 \cdot 10^{10}$	-	$3.6 \cdot 10^{12}$
Kohlenstoff-14	-	$1.1 \cdot 10^{7}$	-	-	-	-	-	-	-	-	$1.1 \cdot 10^{7}$
Jahresdosis [3)] [mSv/Jahr] für:											
Erwachsene	<0.00015	0.0003	<0.00015	0.0004	<0.00015	0.0028	<0.00015	<0.00015	<0.00015	<0.00015	**<0.005**
Kleinkinder	<0.00015	0.0003	<0.00015	0.0004	<0.00015	0.0028	<0.00015	<0.00015	<0.00015	<0.00015	**<0.005**
Anteil am quellenbezogenen Dosisrichtwert [1)]	<0.1%	0.2%	<0.1%	0.3%	<0.1%	1.9 %	<0.1%	<0.1%	<0.1%	<0.1%	**<3%**

Tabelle 1c: Abgaben radioaktiver Stoffe an die Aare oder den Rhein mit dem Abwasser, 2001: Summe der bei Einzelmessungen nachgewiesenen Aktivitätsabgaben. *(Fussnoten auf Seite 8.1.8)*

Nuklid	**Abgaben [2] [Bq im Jahr]**				
β/γ-Strahler	**Beznau**	**Gösgen**	**Leibstadt**	**Mühleberg**	**PSI**
^{3}H	$1.1 \cdot 10^{13}$	$1.2 \cdot 10^{13}$	$1.1 \cdot 10^{12}$	$2.0 \cdot 10^{11}$	$1.3 \cdot 10^{11}$
^{7}Be					<LE
^{22}Na					$4.3 \cdot 10^{5}$
^{24}Na	$1.9 \cdot 10^{7}$			$1.3 \cdot 10^{7}$	
^{35}S					$1.8 \cdot 10^{7}$
^{51}Cr	$2.9 \cdot 10^{7}$			$2.6 \cdot 10^{8}$	
^{54}Mn	$1.6 \cdot 10^{8}$		$1.4 \cdot 10^{7}$	$6.0 \cdot 10^{8}$	$1.9 \cdot 10^{4}$
^{56}Mn	$9.2 \cdot 10^{4}$				
^{59}Fe	$7.8 \cdot 10^{5}$			$3.7 \cdot 10^{7}$	
^{57}Co	$1.3 \cdot 10^{8}$				<LE
^{58}Co	$2.0 \cdot 10^{10}$		$3.2 \cdot 10^{6}$	$3.8 \cdot 10^{8}$	<LE
^{60}Co	$1.6 \cdot 10^{9}$	$1.1 \cdot 10^{6}$	$1.3 \cdot 10^{8}$	$5.1 \cdot 10^{9}$	$9.6 \cdot 10^{6}$
^{65}Zn				$8.6 \cdot 10^{8}$	$2.3 \cdot 10^{4}$
^{89}Sr	$3.0 \cdot 10^{7}$			$2.5 \cdot 10^{8}$	
$^{90}Sr/^{90}Y$	$2.2 \cdot 10^{7}$			$6.3 \cdot 10^{6}$	$4.4 \cdot 10^{7}$
^{95}Zr	$8.0 \cdot 10^{6}$				
^{97}Zr	$7.1 \cdot 10^{6}$				
^{95}Nb	$4.9 \cdot 10^{7}$	$1.8 \cdot 10^{5}$		$8.1 \cdot 10^{6}$	
^{99}Mo	$2.1 \cdot 10^{5}$				
^{99m}Tc	$3.8 \cdot 10^{6}$			$1.6 \cdot 10^{6}$	
^{103}Ru	$9.3 \cdot 10^{5}$				
^{115m}Cd	$1.2 \cdot 10^{6}$				
^{110m}Ag	$1.8 \cdot 10^{8}$	$1.3 \cdot 10^{6}$			
^{122}Sb	$1.3 \cdot 10^{8}$	$1.4 \cdot 10^{5}$			
^{124}Sb	$7.5 \cdot 10^{8}$	$8.6 \cdot 10^{5}$		$1.4 \cdot 10^{7}$	
^{125}Sb	$6.8 \cdot 10^{8}$				
^{123m}Te		$5.4 \cdot 10^{5}$			
^{132}Te	$1.3 \cdot 10^{7}$				
^{125}I					$2.9 \cdot 10^{7}$
^{126}I					
^{131}I	$1.8 \cdot 10^{7}$		$3.1 \cdot 10^{7}$	$2.7 \cdot 10^{6}$	$1.8 \cdot 10^{6}$
^{133}I	$6.0 \cdot 10^{6}$				
^{134}Cs	$2.3 \cdot 10^{8}$		$2.8 \cdot 10^{7}$	$6.9 \cdot 10^{7}$	$5.9 \cdot 10^{5}$
^{136}Cs	$4.5 \cdot 10^{5}$				
^{137}Cs	$8.7 \cdot 10^{8}$	$8.2 \cdot 10^{4}$	$4.0 \cdot 10^{7}$	$3.2 \cdot 10^{9}$	$1.8 \cdot 10^{7}$
^{140}Ba	$6.2 \cdot 10^{6}$				
^{133}Ba					
^{140}La	$3.2 \cdot 10^{6}$				
^{141}Ce	$1.9 \cdot 10^{4}$		$2.7 \cdot 10^{6}$		
^{143}Ce	$1.8 \cdot 10^{5}$				
^{144}Ce	$6.6 \cdot 10^{5}$				
^{152}Eu					
^{154}Eu					$9.8 \cdot 10^{4}$
^{239}Np	$1.8 \cdot 10^{6}$				
α-Strahler		$<1.3 \cdot 10^{5}$	$6.5 \cdot 10^{5}$		
^{224}Ra					
$^{234/238}U$					$4.8 \cdot 10^{5}$
$^{239/240}Pu$					$3.8 \cdot 10^{4}$
$^{238}Pu/^{241}Am$					$2.0 \cdot 10^{5}$
^{244}Cm					

Tabelle 1d: Abgaben der Kernanlagen mit der Abluft, 2001: Summe der bei Einzelmessungen nachgewiesenen Aktivitätsabgaben. *(Fussnoten auf Seite 8.1.8)*

Nuklid	**Abgaben [Bq im Jahr]**				
β/γ-Strahler	**Beznau**	**Gösgen**	**Leibstadt**	**Mühleberg**	**PSI**
Tritium			$8.2 \cdot 10^{11}$		$3.6 \cdot 10^{12}$
^{11}C					$2.0 \cdot 10^{13}$
^{14}C			$4.5 \cdot 10^{11}$		$1.1 \cdot 10^{7}$
^{13}N					$2.0 \cdot 10^{13}$
^{15}O					$5.8 \cdot 10^{13}$
^{18}F					$6.7 \cdot 10^{11}$
^{41}Ar				$1.2 \cdot 10^{9}$	$3.5 \cdot 10^{12}$
^{85}Kr				$8.4 \cdot 10^{10}$	$4.5 \cdot 10^{11}$
^{85m}Kr	$1.8 \cdot 10^{11}$		$1.2 \cdot 10^{9}$	$2.6 \cdot 10^{11}$	
^{87}Kr			$5.5 \cdot 10^{10}$	$6.2 \cdot 10^{10}$	
^{88}Kr				$2.7 \cdot 10^{11}$	
^{127}Xe					$3.2 \cdot 10^{8}$
^{131m}Xe				$2.7 \cdot 10^{10}$	
^{133}Xe	$1.7 \cdot 10^{12}$		$1.4 \cdot 10^{12}$	$1.2 \cdot 10^{12}$	
^{133m}Xe					
^{135}Xe	$2.0 \cdot 10^{12}$		$2.2 \cdot 10^{12}$	$1.3 \cdot 10^{11}$	
^{135m}Xe			$2.7 \cdot 10^{12}$	$3.4 \cdot 10^{11}$	
^{137}Xe				$5.6 \cdot 10^{11}$	
^{138}Xe			$1.7 \cdot 10^{10}$	$8.7 \cdot 10^{11}$	
EG-Aequiv.[4)]				$2.1 \cdot 10^{11}$	
EG: β-total		$<4.7 \cdot 10^{12}$			
Andere	$3.0 \cdot 10^{11}$				
Jod					
^{123}I					$7.4 \cdot 10^{7}$
^{124}I					$3.8 \cdot 10^{6}$
^{125}I					$1.0 \cdot 10^{8}$
^{126}I					$1.9 \cdot 10^{6}$
^{131}I	$7.7 \cdot 10^{6}$	$1.2 \cdot 10^{5}$	$1.1 \cdot 10^{9}$	$9.1 \cdot 10^{7}$	$1.1 \cdot 10^{8}$
^{133}I	$4.1 \cdot 10^{7}$				

Tabelle 1e: Abgaben der Kernanlagen mit der Abluft, 2001. (Fortsetzung)

Nuklid	Abgaben [Bq im Jahr]				
β/γ-Aerosole	**Beznau**	**Gösgen**	**Leibstadt**	**Mühleberg**	**PSI**
^{7}Be					$1.4 \cdot 10^{5}$
^{24}Na					$1.3 \cdot 10^{6}$
^{38}S					$3.2 \cdot 10^{9}$
^{38}Cl					$1.6 \cdot 10^{11}$
^{39}Cl					$2.0 \cdot 10^{10}$
^{51}Cr	<LE				
^{54}Mn					
^{57}Co					
^{58}Co	$1.3 \cdot 10^{6}$				
^{60}Co	$5.4 \cdot 10^{4}$	$2.1 \cdot 10^{5}$	$5.8 \cdot 10^{4}$	$7.1 \cdot 10^{5}$	$1.3 \cdot 10^{6}$
^{65}Zn				$3.0 \cdot 10^{5}$	$1.5 \cdot 10^{7}$
^{69}Ge					$4.4 \cdot 10^{5}$
^{75}Se					$9.9 \cdot 10^{5}$
^{76}Br					$1.5 \cdot 10^{7}$
^{77}Br					$6.5 \cdot 10^{6}$
^{82}Br					$4.4 \cdot 10^{8}$
^{90}Sr					
^{95}Nb	<LE				
^{99m}Tc					$4.7 \cdot 10^{8}$
$^{106}Ru/Rh$					$1.8 \cdot 10^{5}$
^{110m}Ag					$1.3 \cdot 10^{7}$
^{115m}Cd	$2.9 \cdot 10^{4}$				
^{123m}Te					$1.4 \cdot 10^{6}$
^{125m}Te					$2.5 \cdot 10^{7}$
^{124}Sb	<LE				$2.6 \cdot 10^{5}$
^{125}Sb	$5.9 \cdot 10^{4}$				$4.8 \cdot 10^{6}$
^{131}I (aerosolförmig)			$5.2 \cdot 10^{7}$	$9.0 \cdot 10^{5}$	
^{134}Cs					$2.3 \cdot 10^{6}$
^{137}Cs	$3.9 \cdot 10^{4}$		$4.8 \cdot 10^{4}$	$1.4 \cdot 10^{6}$	$9.3 \cdot 10^{7}$
^{140}Ba			$3.0 \cdot 10^{7}$	$6.8 \cdot 10^{6}$	
^{140}La					
^{141}Ce				$5.1 \cdot 10^{3}$	
^{181}Re					$3.2 \cdot 10^{7}$
^{182}Re					$9.9 \cdot 10^{7}$
^{182}Os					$1.1 \cdot 10^{8}$
^{183}Os					$1.4 \cdot 10^{8}$
^{183m}Os					$1.4 \cdot 10^{8}$
^{185}Os					$8.0 \cdot 10^{6}$
^{192}Au					$1.5 \cdot 10^{9}$
^{193}Au					$4.6 \cdot 10^{8}$
^{192}Hg					$7.2 \cdot 10^{8}$
^{193m}Hg					$1.9 \cdot 10^{8}$
^{195}Hg					$1.7 \cdot 10^{9}$
^{195m}Hg					$8.1 \cdot 10^{7}$
^{197m}Hg					$9.4 \cdot 10^{7}$
^{203}Hg					$3.4 \cdot 10^{6}$
α-Aerosole	$<6 \cdot 10^{4}$	$7.1 \cdot 10^{4}$	$7.5 \cdot 10^{4}$		
^{210}Po					$8.6 \cdot 10^{5}$

Fussnoten zur Tabelle 1

1. **Abgabelimiten** gemäss Bewilligung der jeweiligen Kernanlage. Die Abgabelimiten wurden für die Kernkraftwerke so festgelegt, dass die Jahresdosis für Personen in der Umgebung (vgl. Fussnote 3) unter 0.2 mSv/Jahr bleibt. Für das Paul Scherrer Institut (PSI) sind die Abgaben gemäss Bewilligung 6/2000 direkt über einen Anteil von 0.15 mSv pro Jahr am für Standorte geltenden quellenbezogenen Dosisrichtwert von 0.2 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. Gemessene, nuklidspezifische Abgaben kleiner als die Freigrenze LE gemäss Strahlenschutzverordnung Anhang 3 werden als <LE ausgewiesen.

3. Die **Jahresdosis** ist für Personen berechnet, die sich dauernd am kritischen Ort aufhalten, ihre gesamte Nahrung von diesem Ort beziehen und ihren gesamten Trinkwasserbedarf aus dem Fluss unterhalb der Anlage decken. Die Dosis wird mit den in der HSK-Richtlinie R-41 angegebenen Modellen und Parametern ermittelt.
Dosiswerte kleiner als 0.001 mSv - entsprechend einer Dosis, die durch natürliche externe Strahlung in ca. zehn Stunden akkumuliert wird - werden in der Regel nicht angegeben. Beim PSI wird die Jahresdosis der Gesamtanlage als Summe über die Abgabestellen gebildet.

4. Bei der **Art der Abgaben** ist folgendes zu präzisieren:
Abwasser: Die Radioaktivität ist 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 Radioaktivität ist in Bq/Jahr normiert auf einen Referenz-CA-Wert von $2 \cdot 10^{5}$ Bq/m^3 angegeben. Die CA-Werte für die Edelgasnuklide sind dem Anhang 3 der Strahlenschutzverordnung (StSV) entnommen. Ein CA-Wert von $2 \cdot 10^{5}$ Bq/m^3 entspricht einem Referenz-Nuklid mit einem Immersions-Dosisfaktor von $4.4 \cdot 10^{-7}$ (Sv/Jahr)/(Bq/m^3).
Beim KKG wird für die Bilanzierung der Edelgase eine β-total-Messung durchgeführt (siehe den Wert in Klammern); für die Aequivalent-Umrechnung wurde in diesem Fall ein Gemisch von 80% ^{133}Xe, 10% ^{135}Xe und 10% ^{88}Kr angenommen.
Gase: Beim PSI handelt es sich vorwiegend um die Nuklide ^{11}C, ^{13}N, ^{15}O und ^{41}Ar. Deren Halbwertszeiten sind kleiner als zwei Stunden. Hier ist die Summe der Radioaktivität dieser Gase und Edelgase ohne Normierung auf einen Referenzwert angegeben.
Aerosole: Hier ist die Summe der Radioaktivität ohne Normierung auf einen Referenzwert angegeben. Der Dosisbeitrag von Aerosolen mit Halbwertszeiten kleiner 8 Tagen ist bei den Kernkraftwerken vernachlässigbar.
Beim KKM ergibt sich der Hauptbeitrag zur Dosis durch die Strahlung der abgelagerten Aerosole, die im Jahre 1986 durch eine unkontrollierte Abgabe in die Umgebung gelangten. Der Dosisbeitrag der Aerosole, welche im Berichtsjahr abgegeben wurden, ist demgegenüber vernachlässigbar und liegt in der Grössenordnung der anderen schweizerischen Kernkraftwerke.
Iod: Die Abgabe ist als ^{131}I-Aequivalent durch gewichtete Summation der Aktivität der gemessenen Iod-Nuklide angegeben, wobei sich der Gewichtungsfaktor aus dem Verhältnis des Ingestionsdosisfaktors des jeweiligen Nuklides zum Ingestionsdosisfaktor von ^{1321}I ergibt. Die Ingestionsdosisfaktoren sind der StSV entnommen.
Kohlenstoff-14: In den Tabellen ist der als Kohlendioxid vorliegende Anteil des Kohlenstoff-14, der für die Dosis relevant ist, angegeben. Die für ^{14}C angegebenen Werte basieren beim KKG und KKL auf aktuellen Messungen, beim KKB und KKM auf Literaturangaben und in früheren Jahren durchgeführten Messungen. KKG hat die Messungen im Berichtsjahr neu aufgenommen. Dieser Messwert ist höher als der in früheren Jahren angenommene Wert.

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 **M**essnetz zur **a**utomatischen **D**osisleistungsüberwachung in der **U**mgebung der **K**ernkraftwerke (MADUK) ständig überwacht worden. Um das KKB und das PSI sind 17, beim KKG 16, beim KKL und KKM je 12 MADUK-Stationen in bis zu 5 km Abstand in Betrieb. Die MADUK-Stationen 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 der Figur 1 sind die Monatsmittelwerte mit den tiefsten und den höchsten Tagesmittelwerten aller MADUK-Sonden dargestellt. Sonden mit deutlich tieferem Messwertniveau stehen auf Gebäudedächern oder einem Untergrund mit geringem natürlichem Aktivitätsgehalt. Im Berichtsjahr sind keine sehr hohen Tagesmittelwerte festgestellt worden. Die in den Sommermonaten etwas höher liegenden Tagesmaxima sind bedingt durch die häufigeren und länger andauernden Niederschläge mit grossem Washouteffekt, was zu einem signifikanten Anstieg der natürlichen Strahlenexposition am Boden führte.

Die Kalibrierung aller MADUK-Sonden ist mittels einer radioaktiven Quelle überprüft und als in Ordnung beurteilt worden. Während vorangemeldeten Kalibrierungsarbeiten an den NADAM-Sonden zeigten die nahe stehenden MADUK-Sonden in vier Fällen erhöhte Messwerte. Wesentliche Datenausfälle entstanden bei den MADUK-Sonden G-01 in Stüsslingen (318 Std.), B-17 in Böttstein (365 Std.), L-10 in Wil (24 Std.), G-12 in Olten (192 Std.) und bei L-01 in Full (17 Std.). Ein ausserordentlicher, lokaler Gewitterregen führte im Verlauf des Jahres 2001 bei einer Sonde knapp zu einer Überschreitung des Schwellwertes für Dosisleistungserhöhungen, der bei netto 50 nSv/h liegt. Zu 6 weiteren Schwellwertverletzungen führten Defekte in den Elektroniken der Messstationen und in einem Fall ein Defekt verursacht durch die Beschädigung infolge von Bauarbeiten.

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 am Zaun.

Im Nahbereich der Siedewasserreaktoren Mühleberg und Leibstadt ist die Ortsdosisleistung durch Direkt- und Streustrahlung aus dem Maschinenhaus erhöht. Seit dem Herbst des Jahres 2000 ist die Dosisleistung im Maschinenhaus und am Zaun des KKM als Folge einer geänderten Wasserchemie im Reaktor, die einen zusätzlichen Schutz der Reaktoreinbauten vor Korrosion bezweckt, angestiegen. 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 ^{16}N eine Erhöhung der Dosisleistung im Maschinenhaus und am Zaun. Daneben trägt auch das Abfalllager zu einer erhöhten Ortsdosis bei. In einer Messkampagne der HSK während des Stillstands und zu Beginn des Brennstoffzykluses 2001/2002 wurden am Zaun Dosisleistungen zwischen 0,085 µSv/h (natürlicher Untergrund) und 0,52 µSv/h gemessen. Im Wochenmittel ergaben sich hierdurch Nettowerte von maximal 0,063mSv 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 2,4 mSv auf (inkl. natürlichem Untergrund von ca. 0,75 mSv).

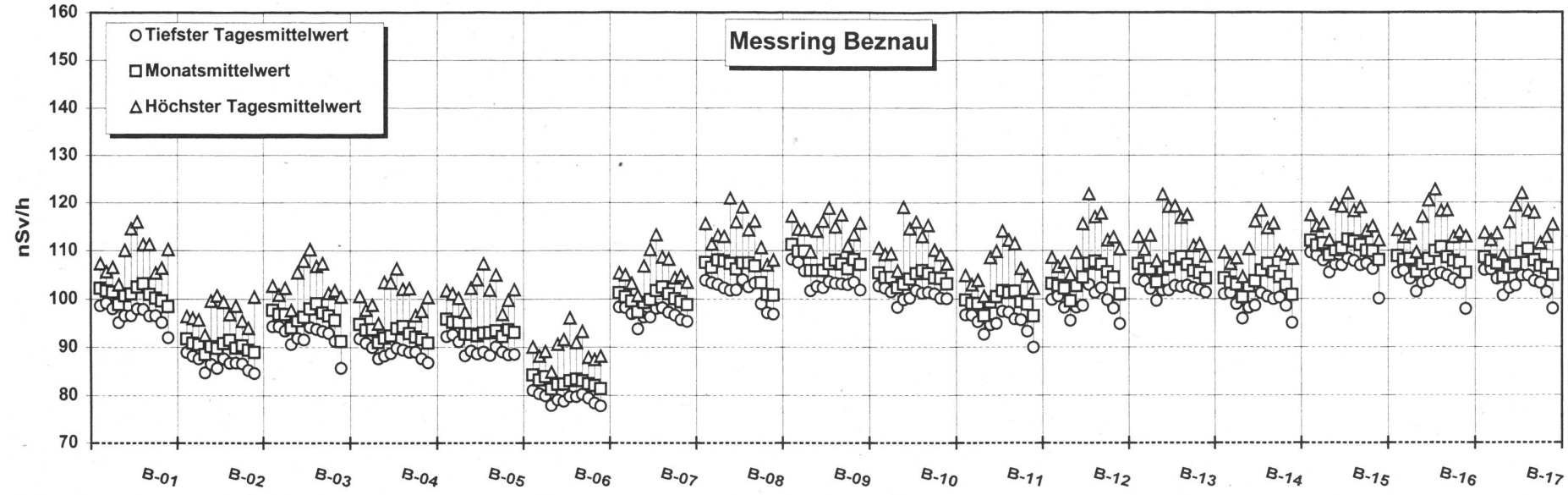
Beim KKL wurden am Zaun Dosisleistungen zwischen 0,08 µSv/h (natürlicher Untergrund) und 0,28 µSv/h gemessen. Dieser Wert ergibt umgerechnet auf ein Jahr und unter Berücksichtigung der Betriebszeit eine Dosis von 1,6 mSv pro Jahr. Bei dieser Dosis ist der natürliche Untergrund abgezogen. Die von KKL ausgewerteten Thermolumineszenz-Dosimeter (TLD) am Zaun ergaben im Berichtsjahr einen Höchstwert von 3,75 mSv (inkl. natürlichem Untergrund von ca. 0.7 mSv). Die HSK hat im Berichtsjahr den Einfluss der Leistungserhöhungen des KKL der letzten Jahre auf die radioaktiven Abgaben und die Direktstrahlung untersucht. Dabei lässt sich feststellen, dass bei den Abgaben keine signifikante Erhöhung feststell-

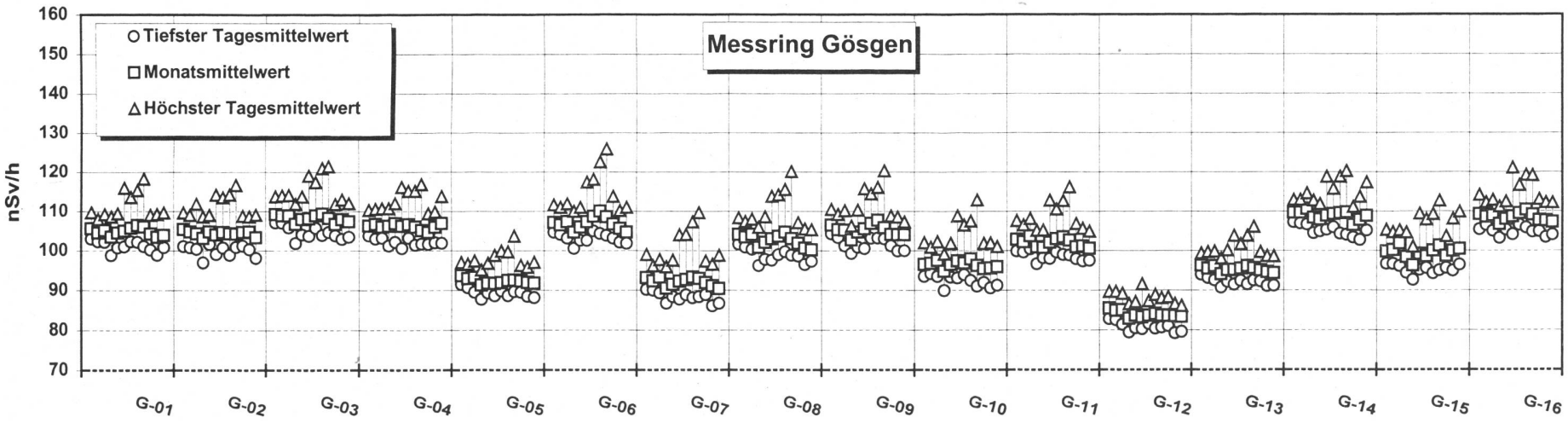
bar ist, während sich bei der Direktstrahlung die gemessenen Dosiswerte geringfügig erhöhten.

Im Jahr 2001 betrug der höchste, mit einem Thermolumineszenz-Dosimeter (TLD) am PSI-Zaun gemessene Wert 1.8 mSv (inkl. natürlichem Untergrund von ca. 0,6 mSv). Der zugehörige Messpunkt liegt beim Abfallager im PSI-Ost.

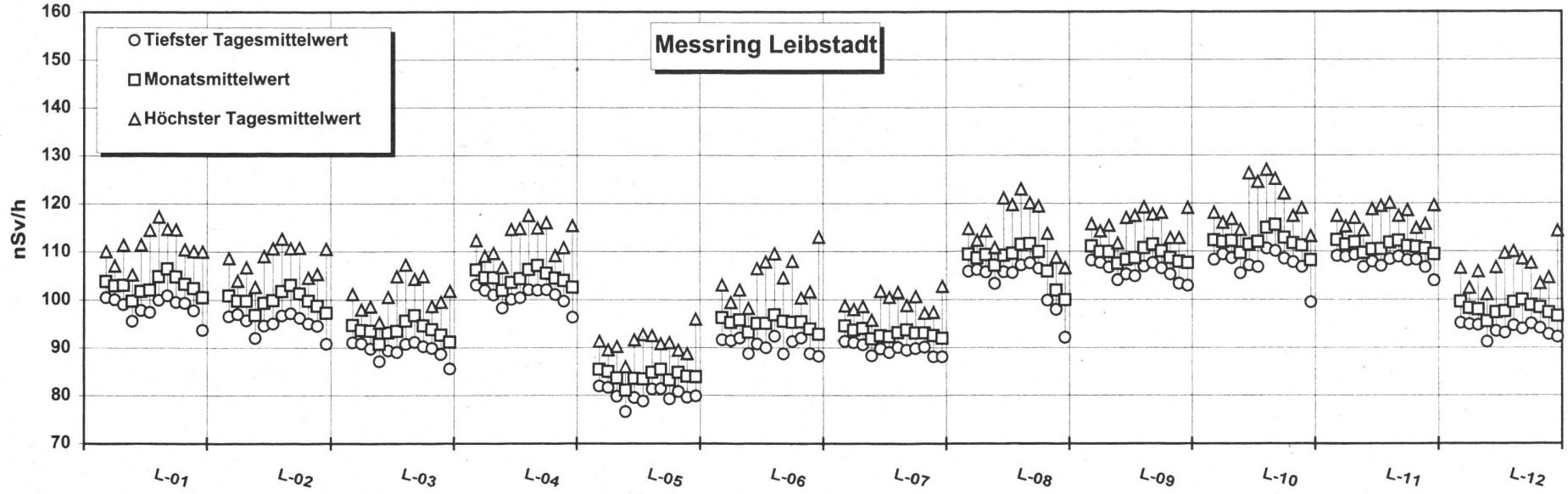
Die Immissionsgrenzwerte für die Direktstrahlung ausserhalb des Betriebsareals von 1 mSv pro Jahr für Wohn-, Aufenthalts- und Arbeitsräume und von 5 mSv pro Jahr für andere Bereiche nach Art. 102 Absatz 3 der Strahlenschutzverordnung wurden auch im Berichtsjahr für alle Standorte (inkl. PSI und Zentrales Zwischenlager Würenlingen) eingehalten.

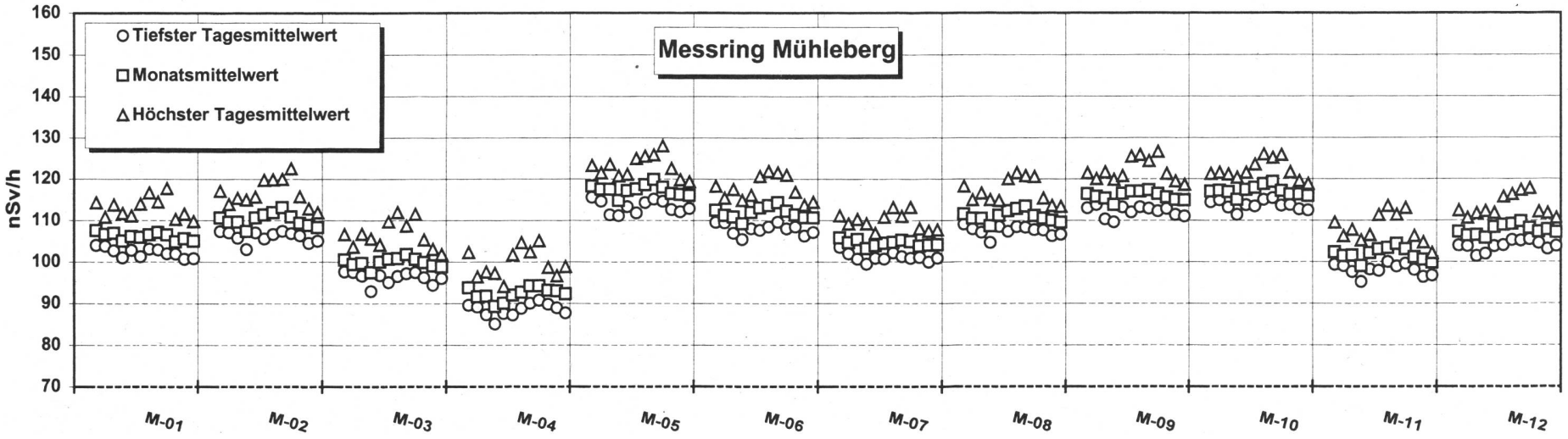
Figur 1: Dosisleistung an den MADUK-Stationen im Jahr 2001





Figur 1 (Fortsetzung): Dosisleistung an den MADUK-Stationen im Jahr 2001





8.3. Les installations nucléaires et l'environnement

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

8.3.1 Introduction

Dans le but de préserver la santé de l'homme et l'environnement au voisinage des centrales nucléaires, l'OFSP poursuit depuis de longues années un programme de prélèvements et de mesures. Il commence au terme source par des analyses en phase de rejet sur des échantillons comparatifs avec l'exploitant et la DSN. En outre, les exploitants sont tenus de communiquer leurs rapports trimestriels à l'OFSP et à la DSN. Cette dernière met à disposition de l'OFSP un accès direct à son réseau MADUK de mesures en continu du débit de dose ambiante. L'ensemble de ces données fait également partie de l'examen critique de l'OFSP. Sous sa coordination la surveillance englobe aussi les propres mesures de l'Office, des laboratoires cantonaux (denrées alimentaires), de l'Institut universitaire de radiophysique appliquée (mesures alpha et bêta), du laboratoire de Spiez (^{90}Sr dans les eaux de rejet), du PSI (dosimètres thermoluminescents, aéroradiométrie etc.), de l'EAWAG (Aar et Rhin), de l'université de Berne (^{14}C, ^{3}H et ^{85}Kr) et du LfU (Baden-Württemberg), conformément au programme germano-suisse autour de la centrale nucléaire de Leibstadt. La prise en compte de tous ces examens permet l'estimation pertinente de l'impact des centrales nucléaires sur la population avoisinante et l'environnement. Pour l'année 2001, on peut conclure au respect par les exploitants des valeurs limites fixées dans la réglementation. La dose localement attribuable en 2001 à l'exploitation des centrales nucléaires suisses est de l'ordre de 0.01 mSv, qui vient s'ajouter à la dose moyenne d'environ 4 mSv/an. Si l'on excepte la contribution du rayonnement direct en certains points de la clôture des centrales de Leibstadt et de Mühleberg ainsi que les traces des rejets atmosphériques (^{14}C dans les feuillages) et des rejets liquides (en particulier isotopes du cobalt dans les trappes à sédiment), un impact mesurable des centrales nucléaires est difficile à mettre en évidence. C'est pourquoi, l'estimation de la dose du public repose avant tout sur le calcul à partir des émissions des installations. En effet les niveaux de radioactivité à la source permettent une détection aisée et plus exhaustive des radionucléides rejetés. Leur impact sur l'environnement et l'homme résulte ensuite de la modélisation de leur transfert basée sur des hypothèses conservatrices. En complément, les mesures dans l'environnement servent à vérifier ces modèles et à établir un bilan local réaliste de la radioactivité naturelle et artificielle. Si l'on excepte les traces des radionucléides spécifiques dans certains indicateurs environnementaux, les résultats obtenus en 2001 dans le voisinage des installations nucléaires ne se distinguent pas de ceux relevés dans les sites hors de leur influence. Ils montrent que la radioactivité d'origine naturelle prédomine et que les contaminations détectables se résument pratiquement aux radionucléides de longue période issus des essais nucléaires des années 60 (^{137}Cs, ^{90}Sr ^{239,240}Pu et ^{241}Am) et de l'accident de Tchernobyl (^{137}Cs) avec des niveaux variables selon les régions.

8.3.2 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. La spectrométrie γ permet de détecter et de quantifier la plupart des radionucléides naturels et artificiels présents dans des échantillons sans longues préparations (séparation chimique...) contrairement à la mesure des émetteurs α et β.

8.3.3 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 2001. Comme le confirme la confrontation des rejets effectifs avec les rejets autorisés (chapitre 8.1), les activités rejetées sont nettement inférieures aux limites réglementaires. En synthèse, la figure 1 traduit ce constat du point de vue de l'impact des rejets sur le public en termes de doses par rapport à la valeur limite liée à la source de 0.2 mSv.

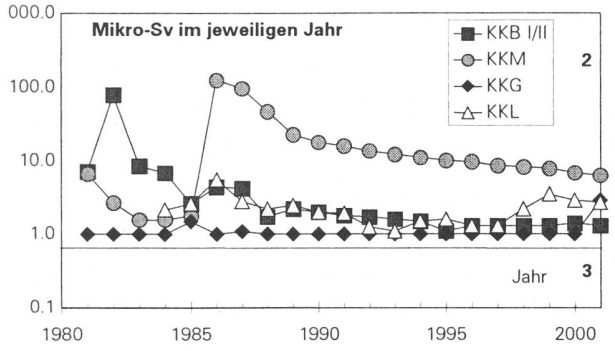
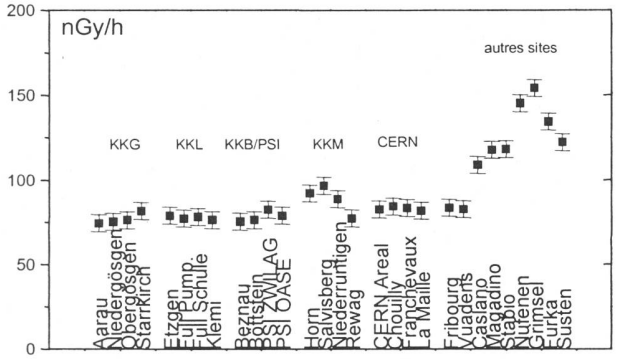


Figure 1: Dose (calculée) accumulée par la personne (adulte) la plus exposée dans le voisinage de chacune des centrales nucléaires pour chaque année de 1979 à 2001 (Données DSN).

Mesures de l'exposition ambiante



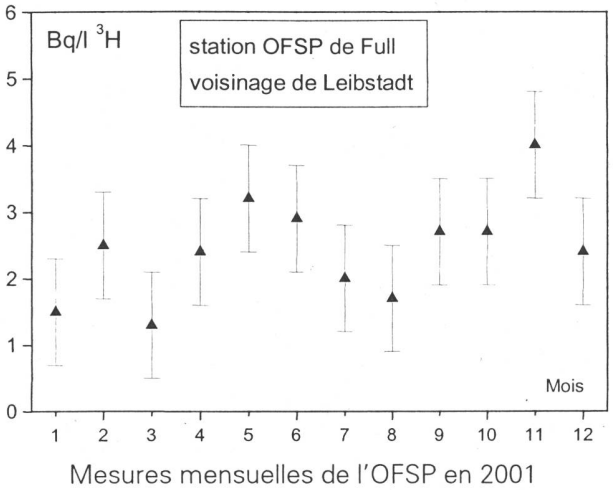
Sites examinés en 2001 par l'OFSP

Figure 2: Contrôles du débit de dose ambiante à l'aide d'une chambre d'ionisation placée à 1m du sol.

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 ont montré que toutes les installations nucléaires ont respecté la valeur limite de 5mSv pour le rayonnement direct. Les maxima annuels (fond naturel inclus) KKB (0.72 mSv), KKG (0.85 mSv), KKL (3.7 mSv), et KKM (2.4 mSv) enregistrés à la clôture par intégration trimestrielle des dosimètres à thermoluminescence (TLD) confirment le respect de la valeur limite pour ce rayonnement. La figure 2 résume l'ensemble des mesures de débit de dose ambiante effectuées pat l'OFSP à l'aide d'une chambre d'ionisation placée 1m au-dessus du sol.

Mesures dans le milieu atmosphérique

Les mesures dans le milieu atmosphérique concernent l'analyse des précipitations et des aérosols de l'air par l'autorité de contrôle ainsi que des 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 à titre d'exemple le suivi mensuel des concentrations du ^{3}H, radionucléide directeur dans les précipitations, pour la station de Full (REB KKL). Ces concentrations comme celles obtenues à Niederruntigen (REB KKM), Beznau (REP KKB) et Niedergösgen (REP KKG) sont comparables à celles enregistrées dans les autres stations de l'OFSP hors voisinage d'installations nucléaires.

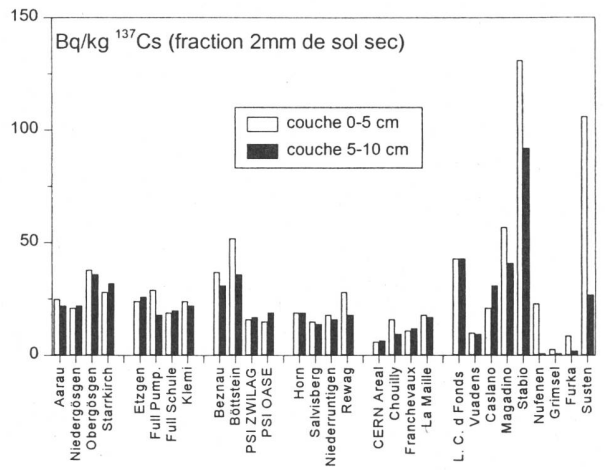


Mesures mensuelles de l'OFSP en 2001

Figure 3: Suivi du tritium dans les précipitations auprès de la centrale nucléaire de Leibstadt.

Mesures dans le milieu terrestre

L'impact des rejets atmosphériques sur le milieu terrestre est avant tout examiné dans l'herbe, le sol et les denrées alimentaires. Les résultats de ces examens sont conformes à ceux enregistrés dans les sites hors de l'influence des installations nucléaires. La figure 4 présente à titre d'exemple les concentrations de la contamination rémanente de ^{137}Cs dans les sols prélevés par l'OFSP en 2001. Ces valeurs témoignent des retombées de Tchernobyl et des essais nucléaires des années 60.



Sols prélevés et mesurés par l'OFSP en 2001

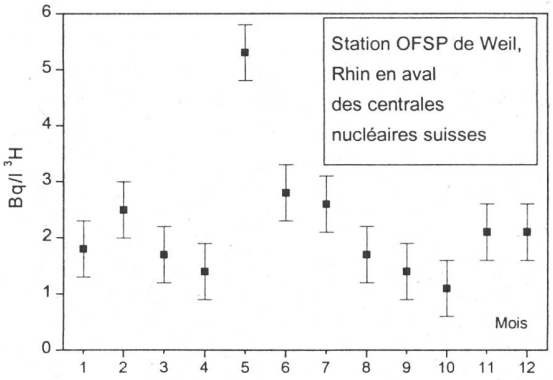
Figure 4: ^{137}Cs dans le sol sec et tamisé (2mm) examiné par l'OFSP en 2001.

Afin de caractériser les sites du point de vue des contributions individuelles à l'exposition externe du public, l'OFSP procède depuis les années 80 à des mesures par spectrométrie gamma in situ. Les résultats correspondants (Chap. 3.1) montrent que les valeurs dans le voisinage des installations nucléaires n'ont rien d'anormal par rapport aux autres sites. Des mesures complémentaires se trouvent chap. 4.3 et 7.2 en particulier sur les teneurs en Pu, Am et ^{90}Sr.

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 affiner la modélisation de la dispersion atmosphérique.

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). 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 ^{3}H de l'OFSP dans l'eau du Rhin (Weil/D) en aval de Leibstadt (dernière centrale nucléaire sur son cours en Suisse) sont illustrés dans la figure 5.



Mesures mensuelles de l'OFSP en 2001

Figure 5: ^{3}H dans le Rhin à la sortie de la Suisse.

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 Bq/l ^{137}Cs et < 0.01 Bq/l ^{90}Sr selon analyses de l'IRA). Les mesures de tritium sur le mélange des prélèvements trimestriels ont indiqué des valeurs entre 16 et 20 Bq/l ^{3}H.

Conclusions

L'impact des installations nucléaires suisses sur l'environnement a été très faible en 2001. 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 dosimétrique des installations en question n'a pas dépassé la valeur directrice de 0.2 mSv et s'est situé en 2001 entre 0.002 et 0.006 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 d'intensité des rayonnements émis, 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

- OFSP/DSN/PSI/CERN

www.admin.ch/bag
www.hsk.psi.ch
www.cern.ch

- France

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

- centrales nucléaires

Gösgen (KKG):www.kkg.ch
Leibstadt (KKL):www.kkl.ch
Beznau (KKB):www.nok.ch
Mühleberg (KKM):www.bkw.ch

8.4. Rejets et environnement du CERN

C. Murith Office fédéral de la santé publique, Division radioprotection
3003 BERNE

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 2001 prouve que le fonctionnement des installations du CERN était sans conséquence radiologique sur l'environnement et la population. Le contrôle des émissions montre que les rejets effectifs se situent également en 2001 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 2001 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 6% de cette valeur, comme l'indique l'estimation pour le groupe critique, qui est de l'ordre de 0.02 mSv/an.

8.4.1. Objets de la surveillance

Les contrôles réalisées en 2001 par le CERN et de manière indépendante par les autorités de surveillance sont :

- 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 produit par le CERN (immission).

Le CERN communique ses rapports trimestriels à l'OFSP, qui coordonne ses propres mesures, celles de l'Institut de radiophysique appliquée (IRA) ainsi que celles de l'Institut F.-A. Forel de l'Université de Genève (rivière du Nant d'Avril). Bien que les activités du LEP aient cessé depuis novembre 2000, le programme de surveillance a été maintenu dans son intégralité durant toute la phase du démantèlement du LEP (2001–2002).

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 d'air installés aux points de rejet de l'air. Ces stations sont composées de chambres à ionisation pour la mesure directe de l'activité bêta et d'échantillonneurs d'aérosols équipés de filtres en fibre de verre (PMVxx, voir figure 1). Afin de mesurer les activités bêta et gamma de longue demi-vie, ces filtres son mesurés au moyen de détecteurs bêta de grande surface et analysés au moyen de détecteurs germanium (spectroscopie gamma) au laboratoire TIS.

Les rejets radioactifs dans l'environnement par voie d'eau sont surveillés en permanence aux différents points du CERN où l'eau est rejetée. Chaque point est équipé d'un moniteur d'eau capable de mesurer en continue l'activité gamma présente dans l'eau. Ce moniteur d'eau est constitué d'une cuve dans laquelle circule une partie de l'eau rejetée à l'intérieur de laquelle est immergée une sonde de détection gamma (NaI(Tl)). Associé à ce moniteur est installé un dispositif chargé de prélever automatiquement et régulièrement des échantillons de l'eau rejetée (SWxx, voir figure 1). Les échantillons d'eau ainsi prélevés sont ensuite analysés en laboratoire chaque mois. Parmi les mesures effectuées, il y a des mesures du tritium et de l'activité bêta globale ainsi que l'analyse des radioéléments gamma."

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). 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 conservatoires. Les rejets de la radioactivité du CERN dans l'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 2001.

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	289	1.7	49	< 2.9	1.7	Anneau Principal PS
PMV72	20	0.075	2.2	< 29	0.31	TT60 extr. Ouest, PS
PMV73	36	0.002	0.15	< 36	0.15	TT70 transfert e^-, PS
PMV170	93	4.1	246	< 11	4.6	ISOLDE
PMV11	113	1.3	39	< 5.6	1.7	TT10 injection Ouest
V_0	–	–	–	2.2	–	Evaporateur V_0
Total	**551**	**7.2**	**336**	**< 87**	**8.5**	**Site de Meyrin**

Tableau 2: Les rejets de la radioactivité du CERN dans l'eau vers la Suisse en 2001.

Point de rejet	Quantité d'eau	^{3}H	Bêta/gamma (^{22}Na)	Rejeté dans :
	10^6 m^3	MBq	MBq	
SWN1	0.60	–	–	Nant d'Avril
SWN2	0.070	–	–	Nant d'Avril
SWN3	2.6	–	–	Nant d'Avril
SW901	0.066	–	–	Nant d'Avril
SWNA	0.020	74	4.9	STEP Aïre*)
Total	**3.4**	**74**	**4.9**	

*) Usine de traitement d'eau

8.4.3. Contrôle des immissions du CERN

Dans ce rapport, les résultats de mesures concernent en particulier le territoire suisse.

8.4.3.1. Mesures effectuées par le CERN

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

Les accélérateurs du CERN sont des sources de rayonnements diffusés. Pour leur contrôle en continu, des stations de moniteurs de site (PMSxx) sont installées sur les sites du CERN et dans l'environnement. Ils 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 BF_3 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 en 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 des deux côtes de la frontière, à Prévessin, St 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 en 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 : l'eau de surface, les sédiments (MUxx) et la mousse (MOxx) dans l'eau des rivières, les herbes ainsi qu'un échantillon de vin.

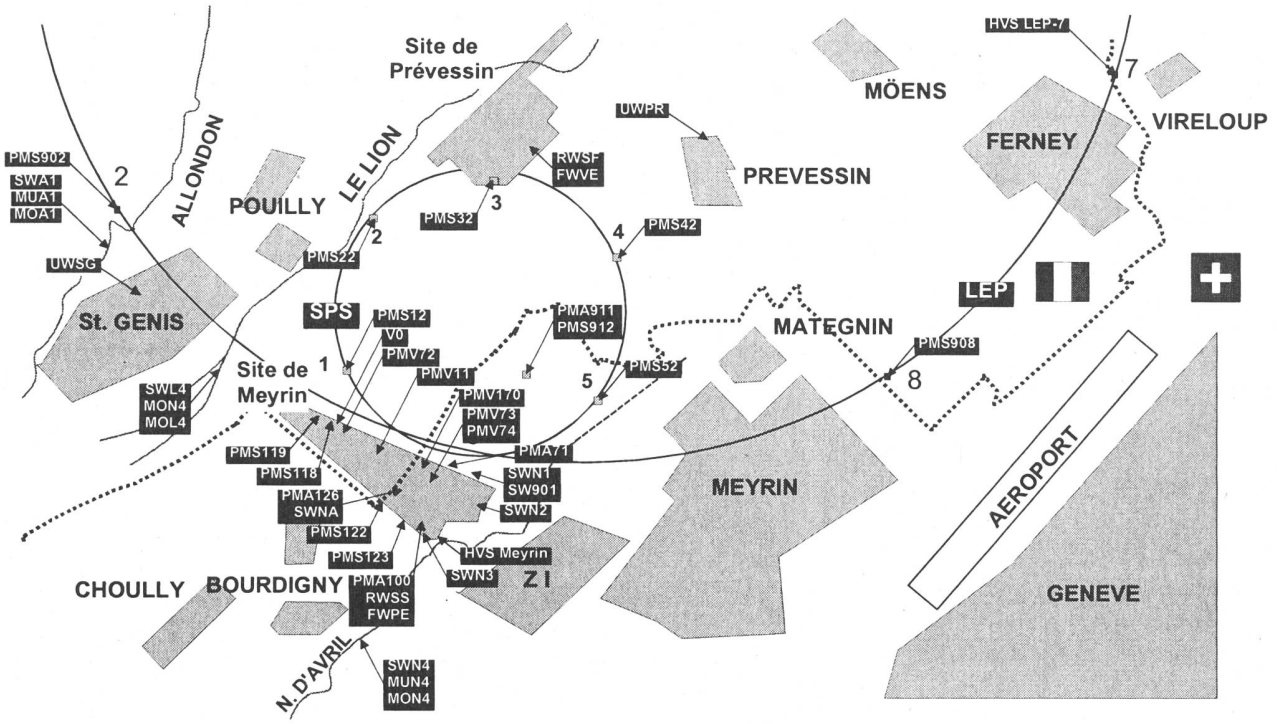


Figure 1: Les sites de Meyrin et de Prévessin du CERN, l'implantation de l'anneau du super synchrotron à proton (SPS) et du grand collisionneur électron-positon (LEP) dans la région frontalière entre la France et la Suisse ainsi que les emplacements des moniteurs et les endroits d'échantillonnage.

La figure 2 montre les doses intégrées totales en mSv, 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. Ces résultats sont cohérents avec ceux des contrôles effectués en 2001 par l'OFSP (voir Section 8.4.3.2).

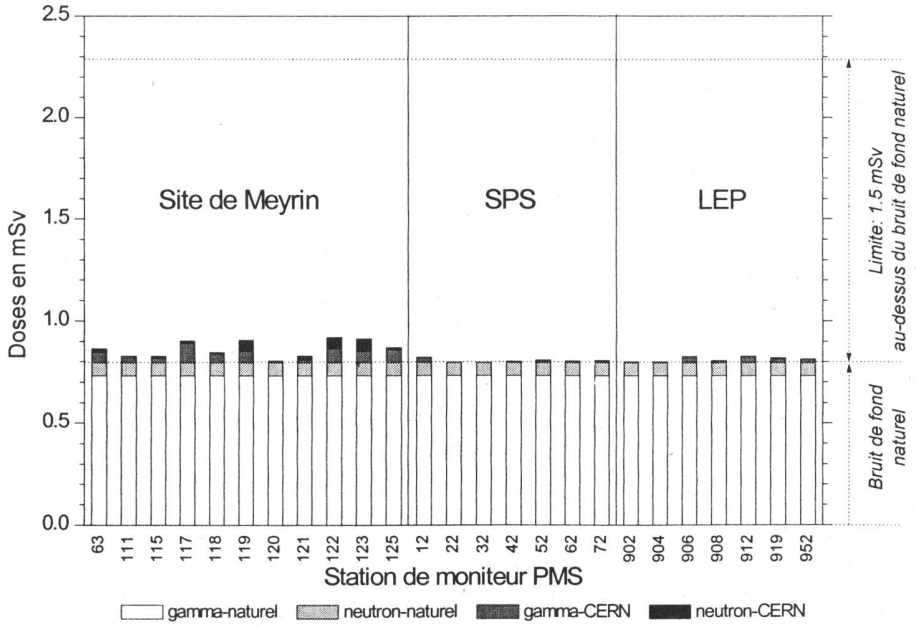


Figure 2 :

Doses annuelles des moniteurs de rayonnements diffusés en 2001. Pour comparaison le niveau du bruit du fond naturel moyen des 34 stations de mesure est indiqué.

L'influence des accélérateurs du CERN n'est visible que pendant le fonctionnement de ceux-ci au niveau de certains stations de mesure, situées le long de la clôture du Site de Meyrin. Les mesures des moniteurs PMS117, PMS118 et PMS119 sont influencées par la proximité du tunnel de transfert

vers la zone expérimentale Ouest. Pour les moniteurs PMS122 et PMS123, les mesures sont influencées par la proximité de l'accélérateur PS. Le moniteur PMS125 positionné le long de la clôture au sud du site mesure les rayonnements diffusés au niveau de la zone expérimentale Ouest. Les doses nettes mesurées ne dépassent pas 9% de la limite pour les rayonnements diffusés fixée à 1.5 mSv/an [2].

Pour prouver que l'influence radiologique des rejets du CERN reste négligeable dans son voisinage, la Division TIS du CERN procède à des mesures de radioactivité sur des échantillons de toutes sortes pris à l'extérieur des sites de l'Organisation.

Le seul radionucléide identifié dans l'air en cadre du programme de surveillance de routine du CERN, qui peut provenir du CERN, est le ^{7}Be 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. Donc il peut servir comme un indicateur des rejets atmosphériques. Le ^{7}Be 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 ^{7}Be dans l'air au voisinage du CERN et aux trois endroits éloignés (PMA951 à Cessy, France, LEP Point 7 à Collex-Bossy/GE, et Güttingen/TG) sont présentées dans la figure 3. Il faut mentionner, que les valeurs mesurées sont tout à fait négligeables du point de vue radiologique. La plus forte concentration en ^{7}Be observée ne représente que 0.0016% de la limite d'immission suisse [3].

Les endroits éloignés sont loin de toutes sources artificielles de ^{7}Be et peuvent de ce fait être considérés comme des stations représentatives du bruit de fond naturel. Les concentrations naturelles en ^{7}Be sont plus élevées les mois d'été à cause des convections de l'air stratosphérique, riche en ^{7}Be, vers la troposphère. Elles ne dépendent pas seulement du flux des masses d'air de la stratosphère vers 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. La station HVS LEP-7 située dans le milieu rural indique les concentrations en ^{7}Be les plus basses, tandis que les mesures des stations de bruit de fond de Güttingen et de Cessy sont légèrement plus élevées et suivent bien celles du voisinage du CERN. Cela signifie que, en raison de la proximité des zones asphaltées et à fort trafic routier dans le voisinage du CERN, l'impact des rejets du ^{7}Be sur l'environnement ne peut pas être distingué de l'effet de la remise en suspension du ^{7}Be d'origine naturelle.

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 ^{7}Be. Une contribution du CERN aux flux de ^{7}Be dans les rivières doit être faible et bien inférieure aux apports naturels [4]. Au contraire des années précédentes, aucun autre radionucléide provenant du CERN a été identifié dans la mousse et dans le sédiment de la rivière dans le cadre du programme réglementaire de routine du CERN. Cette diminution est à mettre en relation avec la réduction des apports en eau de refroidissement du CERN suivant la grande restructuration de son réseau d'alimentation et de distribution en eau. Néanmoins, des mesures très sensibles de l'Institut F.-A. Forel ont décelé des traces des radionucléides provenant du CERN dans la rivière, mais en concentrations négligeables, celles-ci ne dépassants pas 1.2% des limites réglementaires [3] (voir Section 8.4.3.2).

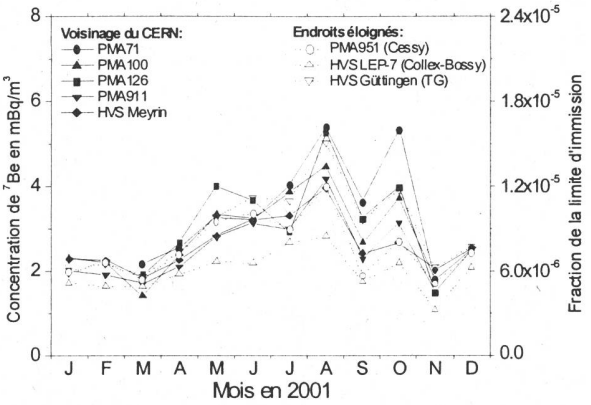


Figure 3:

Activité de ^{7}Be dans les aérosols de 8 stations de mesure dont 5 au voisinage des points de rejet du CERN en 2001. 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 Güttingen/TG : Echantillonneurs OFSP à haut débit sur le Site de Meyrin et à Güttingen/TG. 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 aux abords 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 0.017 mSv, dont 82% 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.

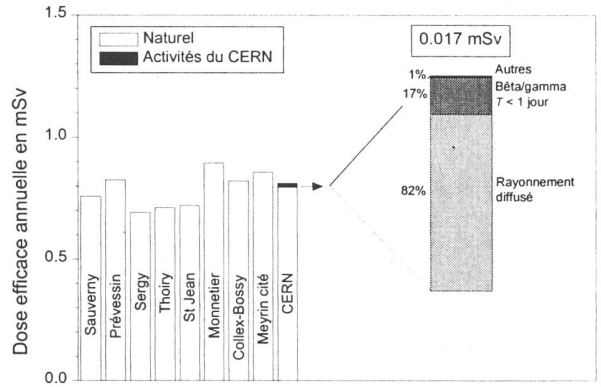


Figure 4:

Contribution due 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. La contribution du CERN de 0.017 mSv doit être comparée à la limite réglementaire pour la dose efficace annuelle à la population de 0.3 mSv [2].

8.4.3.2. Mesures effectuées par l'OFSP

La surveillance de l'environnement réalisée de manière indépendante par l'OFSP autour du CERN porte essentiellement sur :

- l'exposition ambiante (11 dosimètres à thermoluminescence évalués par l'IRA et parcours de mesures instantanées avec chambre d'ionisation ou sonde Automess par l'OFSP en 10 sites limitrophes du CERN et 10 sites de référence distants),
- les aérosols (mesure continue alpha/bêta de la station RADAIR avec compensation du rayonnement naturel et mesure gamma hebdomadaire des filtres du collecteur à haut débit) par l'OFSP,
- les eaux du Rhône à Chancy par l'OFSP et du Nant d'Avril par l'Institut Forel,
- les sols (spectrométrie gamma in situ et en laboratoire) ainsi que les végétaux et certains produits locaux (comme le ^{3}H dans le vin) par l'OFSP.

Mesures de l'exposition ambiante

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 2001 ces valeurs ont été comprises entre 0.74 et 0.95 mSv. De même, les relevés instantanés réalisés par l'OFSP à l'aide d'un d'une sonde Automess (figure 5) le 3.5.2001 ont indiqué des valeurs du débit d'exposition ambiante s'échelonnant de 68 à 105 nSv/h, soit 0.60 à 0.92 mSv/a (moyenne des 10 sites limitrophes : 74 ± 5 nSv/h; moyenne des 10 sites distants : 80 ± 10 nSv/h). Ces valeurs s'inscrivent dans le domaine habituel de l'exposition naturelle et de ses fluctuations. La valeur plus élevée à La Barillette s'explique surtout par la contribution d'origine cosmique plus importante dans ce site d'altitude (1445 m).

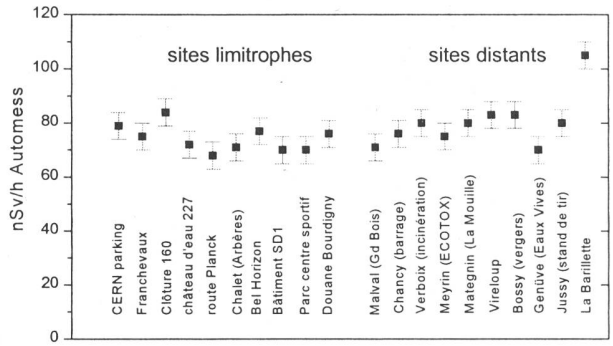


Figure 5:

Mesures OFSP 2001 du débit de dose ambiante (Automess), 1 m au-dessus du sol.

Mesures dans le milieu atmosphérique

La surveillance de l'air réalisée par l'OFSP en continu à la station du réseau d'alarme RADAIR n'a pas signalé d'anomalies en 2001. Les résultats des mesures hebdomadaires de bas niveau (fig. 6) basées sur le collecteur à haut débit sont conformes à ceux enregistrés dans les stations hors d'influence du CERN, à l'exception des traces de ^{24}Na jusqu'à 0.07 mBq/m^3 attribuables aux accélérateurs du CERN. L'impact radiologique du ^{24}Na est tout à fait négligeable, car la valeur la plus élevée ne représente qu'environ 0.0001% de la limite d'immission suisse. L'identification d'un aussi faible niveau de radioactivité nécessite une méthode extrêmement sensible, comme celle mise en œuvre par l'OFSP.

Mesures dans le milieu terrestre et tritium dans le Rhône

La surveillance du milieu terrestre (sols, végétaux et produits locaux) examinés en 2001 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 effectués par les Etats-Unis et par l'Union soviétique dans les années 60 et dans une moindre mesure de l'accident de Tchernobyl, dont les retombées ont été plus faibles dans le bassin

lémanique. Les valeurs sont tout à fait compatibles avec celles mesurées sur le Plateau suisse. Le même constat ressort des mesures de spectrométrie gamma in situ (chap. 3.1). La figure 7 résume les résultats des mesures de l'OFSP réalisées en 2001 dans l'herbe et le sol du voisinage du CERN ainsi que ceux des examens in situ et du suivi des concentrations mensuelles de tritium dans le Rhône à Chancy. Le suivi dans le vin depuis 1990 n'indique pas de valeurs supérieures aux limites de détection pour le tritium et le ^{137}Cs. La seule contribution décelable est d'origine naturelle (^{40}K avec des valeurs comprises entre 10 et 30 Bq/l).

Mesures dans le milieu aquatique

Les concentrations du tritium dans les échantillons mensuels du Rhône à Chancy n'ont pas montré d'impact des installations du CERN (fig. 7). Les résultats du projet de collaboration initié par l'OFSP et le CERN avec l'Institut F.-A. Forel concernant des mesures spécifiques dans le Nant d'Avril ont fait l'objet d'un rapport de surveillance d'octobre 2000 à octobre 2001 [4]. Le suivi radioécologique a permis de détecter pendant une seconde année les immissions de radionucléides dans les différents compartiments de la rivière (eau, matière en suspension – MES, sédiments). Les radionucléides dominants sont le ^{40}K, les isotopes des séries primordiales (^{238}U, ^{235}U, ^{232}Th) et le ^{7}Be tous d'origine naturelle et le ^{137}Cs qui résulte de l'érosion des sols, contaminés par les essais nucléaires dans l'atmosphère (Etats-Unis et l'Union soviétique) et par l'accident de Tchernobyl. Les traces des radionucléides (^{22}Na, ^{46}Sc, ^{54}Mn, ^{59}Fe, ^{60}Co, ^{65}Zn, ^{133}Ba et ^{152}Eu) dans des compartiments du Nant d'Avril témoignent des activités du CERN. Cependant, les activités maximales mesurées sont très largement inférieures (<1.2%) aux valeurs limites d'immission (eaux) et d'exemption (MES et sédiments, fig. 8).

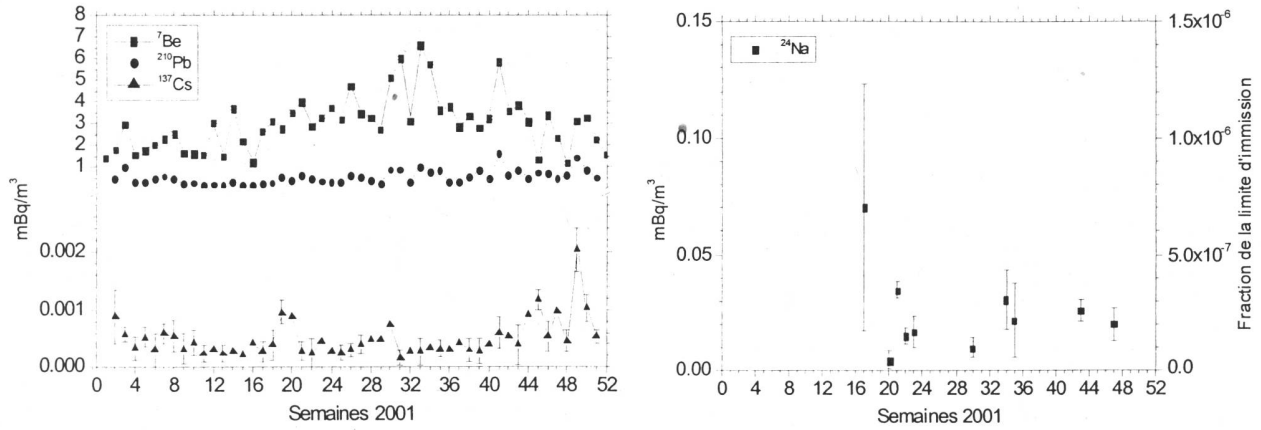


Figure 6:

Mesures hebdomadaires 2001 de l'OFSP sur les filtres des collecteurs de haut débit au CERN. Le ^{7}Be et le ^{210}Pb sont d'origine naturelle tandis que le ^{137}Cs s'explique par la remise en suspension dans l'air des anciennes contaminations (retombées des essais nucléaires des années 60 et de Tchernobyl) à partir du sol. Le ^{24}Na, qui a une demi-vie très courte (15 heures), provient des accélérateurs du CERN. Son impact radiologique est tout à fait négligeable.

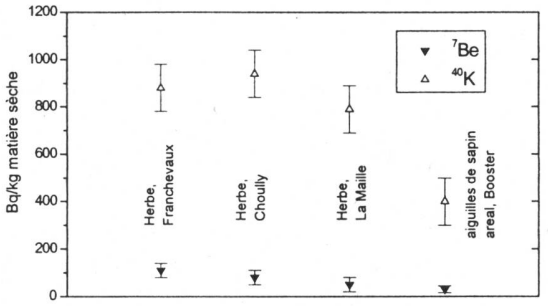
8.4.4. Conclusions

- L'ensemble des résultats de mesures du CERN et du contrôle indépendant de l'OFSP atteste que en 2001 comme lors des années précédentes le CERN est resté bien dessous de la valeur directrice de dose liée à la source fixée à 0.3 mSv/an [1, 2].
- 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 1.2% 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

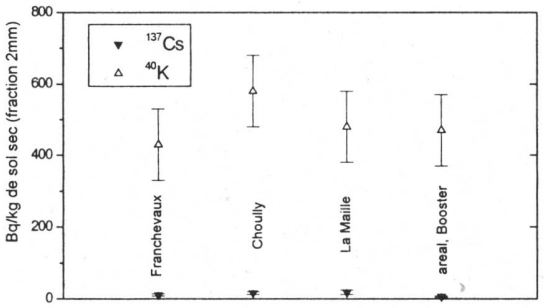
radionucléides du Site de Meyrin ont été calculés à l'aide de la Directive HSK-R-41/d [5]. Le résultat de cet exercice présenté dans la figure 4 montre que l'impact radiologique sur le groupe critique qui vit au voisinage du CERN représente 0.017 mSv en 2001. La valeur correspondante en 2000 était de 0.011 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 F.-A. Forel ont confirmé que l'impact du CERN est très faible [4]. De plus, ces mesures ont démontré une diminution générale de la radioactivité artificielle dans la rivière (celle-ci était déjà faible dans les années précédentes) suite à la restructuration, effectuée en 2001, du réseau d'alimentation et de distribution en eau du CERN.

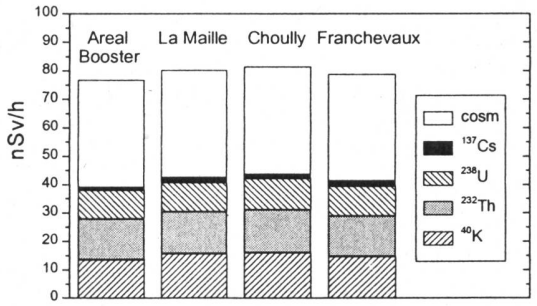
La radioactivité de l'environnement et les doses de rayonnements dans le voisinage du CERN ne se distinguent pas notablement de ceux enregistrés dans les stations de référence non influencées par les installations nucléaires. Sur la base des mesures, l'impact du CERN s'avère en réalité nettement inférieur à la limite prescrite. A l'image des examens in situ de la figure 7, les contributions d'origine naturelle prédominent. Les activités du CERN sont donc également restées en 2001 sans conséquence radiologique préjudiciable à l'environnement et à la population avoisinante.



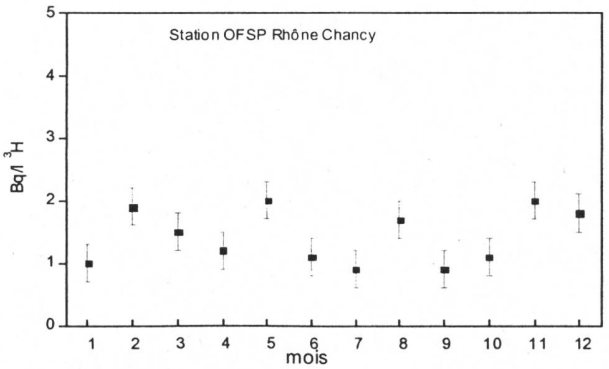
Mesures de l'OFSP dans l'herbe



Mesures de l'OFSP dans le sol



Mesures in situ de l'OFSP



Mesures mensuelles OFSP du tritium dans le Rhône

Figure 7: Mesures de l'OFSP dans le milieu terrestre et dans le Rhône en 2001.

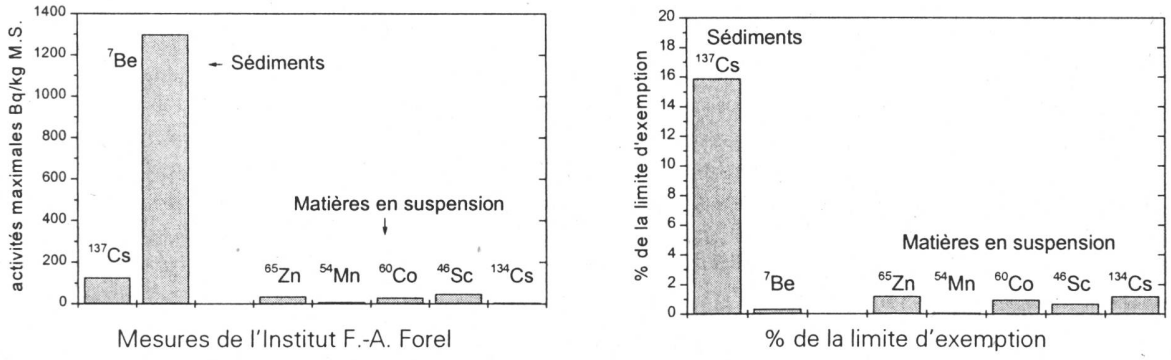


Figure 8: Mesures de l'Institut F.-A. Forel dans le Nant d'Avril en 2001. Le ^{7}Be est surtout d'origine naturelle et le ^{137}Cs résulte de l'érosion des sols, contaminés par les essais nucléaires dans l'atmosphère et par l'accident de Tchernobyl.

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 F.-A. Forel à Versoix. Notre reconnaissance s'adresse également à toutes les personnes qui ont favorisé le bon déroulement de nos prélèvements et mesures dans le Canton de Genève et dans le Pays de Gex.

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] Manuel de Radioprotection 1996, CERN, (1996).

[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 2000 – Octobre 2001, Institut F.-A. Forel (2001).

[5] 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
V_0	Evaporateur de l'eau d'infiltration dans une ancienne zone cible du SPS

8.5. Evaluation de la situation radiologique aux environs de l'ancienne centrale nucléaire expérimentale de Lucens

P. Froidevaux, J.-J. Geering, T. Schmittler, F.Barraud, J.-F. Valley

Institut de radiophysique appliquée
Grand Pré 1, 1007 LAUSANNE

Résumé

En 2001, une étude approfondie de la situation radiologique aux environs de l'ancienne centrale nucléaire expérimentale de Lucens a été entreprise. En plus du programme habituel de mesure de ^{3}H, des émetteurs γ et du ^{90}Sr dans l'eau du bassin de contrôle, des prélèvements de sol et d'eau ont été réalisés pour la mesure du ^{90}Sr, du plutonium et de l'américium. Les résultats montrent que les radioéléments présents dans le sol proviennent des retombées des essais d'armes atomiques réalisées dans l'atmosphère durant les années soixante. La contribution de l'accident de la centrale nucléaire de Chernobyl à l'activité en ^{137}Cs du sol de Lucens a été estimée à environ 70%, bien que l'activité du sol soit parmi les plus faibles de Suisse. L'activité en $^{239/240}Pu$ est située entre 0.13 et 0.19 Bq/kg, soit des valeurs typiques de la déposition atmosphérique sur le plateau suisse. Le rapport moyen $^{238}Pu/^{239/240}Pu$ est de 0.034±0.005 (moyenne suisse 2001 : 0.032±0.006, et le rapport moyen $^{241}Am/^{239/240}Pu$ est de 0.42±0.02 (moyenne suisse 2001 : 0.44±0.06.

Aucun radioélément attribuable à l'accident de la centrale n'a été mis en évidence, mis à part une activité en ^{3}H de l'eau du bassin de contrôle (15 Bq/l), très légèrement supérieure à l'activité naturelle (1-3 Bq/l).

8.5.1 Introduction

Le 21 janvier 1969, un accident à la centrale nucléaire expérimentale de Lucens a provoqué la contamination de la caverne du réacteur par différents radioéléments, essentiellement des gaz rares. Il a été démontré qu'une très petite partie des gaz rares et de l'iode s'était échappée par le système de ventilation d'urgence. Les particules d'aérosols ont été retenus sur les filtres du système de ventilation et aucune contamination de l'environnement par des actinides ou du ^{90}Sr n'a été mesurée à l'époque de l'accident [1]. Le 12 avril 1995, le Conseil fédéral a rendu sa décision concernant le déclassement de l'ancienne centrale, suite aux travaux de comblement de la caverne et à la construction d'un système de drainage des eaux vers la Broye. Le site de l'ancienne centrale nucléaire expérimentale a été divisé en deux parcelles, l'une déclassée et l'autre encore considérée comme site nucléarisé à cause de la présence de conteneurs de déchets radioactifs provenant de la centrale [2]. L'Office Fédéral de la Santé Publique est chargé de la surveillance du site de Lucens pendant encore environ 25 ans. Cette surveillance s'effectue principalement par le prélèvement et la mesure de l'eau de drainage dans le bassin de contrôle et la chambre de contrôle. Le ^{3}H, le ^{90}Sr et les émetteurs γ sont les radioéléments recherchés.

Le présent travail se concentre principalement sur le site encore considéré comme nucléarisé afin d'évaluer l'impact de la présence des conteneurs pendants plus de dix ans sur la parcelle, et avant le transfert définitif de ceux-ci à l'entrepôt permanent de déchets radioactifs de Würenlingen. L'effort a été mis principalement sur la recherche d'actinides artificiels tel que le plutonium et l'américium.

Résultats de la surveillance

L'activité en plutonium et américium a été déterminée sur deux prélèvements effectués aux abords du local d'entreposage des déchets issus du démantèlement de l'ancienne centrale nucléaire expérimentale. Les couches de sol de 0-5 cm et 5-10 cm ont été mesurées afin de déterminer l'évolution au cours du temps des radioéléments éventuellement présents. Les résultats montrent la présence de plutonium, d'américium et de ^{90}Sr dans les rapports isotopiques attendus pour une déposition provenant des retombées des essais d'armes atomiques réalisés dans l'atmosphère dans les années soixante. L'analyse des deux couches prélevées met en évidence la migration significative de la déposition dans la couche 5-10 cm, ce qui tend à démontrer qu'il n'y a pas eu de déposition postérieure qui aurait enrichi la couche 0-5 cm en radioéléments. La contribution de Chernobyl à l'activité en ^{137}Cs (voir chap. 7.3) est de 70 % dans les deux profondeurs du sol en

contrebas de l'entrepôt et d'environ 50% du côté de la forêt.

L'eau du bassin de contrôle et de la rivière *la Broye* à environ 1 km en aval du site de l'ancienne centrale ne présentent aucune activité de radioéléments provenant de l'accident mis à part une très légère augmentation de l'activité en ^{3}H dans l'eau de drainage du bassin de contrôle, qui passe de 1-3 Bq/l pour une activité naturelle à environ 15 Bq/l. L'activité en uranium est d'origine naturelle (rapport $^{238}U/^{234}U$ situé entre 0-76 et 0.82) et est de plusieurs ordres de grandeur supérieure à l'activité en plutonium et en américium. Elle est supérieure dans l'eau du bassin de contrôle par rapport à l'eau de la Broye car l'eau du bassin de contrôle contient énormément de matériaux en suspension provenant du confinement de béton de la grotte du réacteur. Le béton contient plus d'uranium naturel que la roche calcaire formant le bassin hydrogéologique de la Broye.

La Figure 1 présente l'analyse des rapports isotopiques $^{238}Pu/^{239/240}Pu$ et $^{241}Am/^{239/240}Pu$ pour le site de Lucens. Tous les rapports sont compris dans l'intervalle de ceux déterminés sur un ensemble de 30 sites répartis sur toute la Suisse. Les mesures n'ont ainsi pas mis en évidence la présence d'actinides artificiels sur le site de Lucens d'une autre origine que la déposition provenant des retombées des essais d'armes atomiques réalisées dans l'atmosphère dans les années soixante. La Figure 2 indique la position de Lucens sur un graphique corrélant l'activité en ^{137}Cs à celle en $^{239/240}Pu$. Lucens apparaît comme un site très peu touché par les retombées des essais d'armes atomiques et par l'accident de Chernobyl, en comparaison d'autres sites de Suisse.

Tableau 1: Concentration en radioéléments dans divers échantillons de sol prélevés aux environs de l'ancienne centrale nucléaire de Lucens en 2001, en Bq/kg de matière sèche.

Lieu	$^{239/240}Pu$	^{241}Am	Rapport $^{238}Pu/^{239/240}Pu$	Rapport $^{241}Am/^{239/240}Pu$
Lucens, abord entrepôt de déchet, sol 0-5 cm	0.168±0.010	0.073±0.008	0.033±0.010	0.43±0.04
Lucens, abord entrepôt de déchets, sol 5-10 cm	0.129±0.006	0.050±0.008	0.042±0.010	0.39±0.04
Lucens, contrebas entrepôt de déchets,sol 0-5 cm	0.130±0.008	0.055±0.010	0.034±0.010	0.43±0.08
Lucens, contrebas entrepôt de déchets, sol 5-10 cm	0.186±0.008	0.079±0.010	0.029±0.008	0.42±0.06
	^{7}Be	^{40}K	^{134}Cs	^{137}Cs
Lucens, abord entrepôt de déchet, sol 0-5 cm	< 30	492±13	< 0.6	18.0±0.4
Lucens, abord entrepôt de déchets, sol 5-10 cm	< 7	510±12	< 0.3	14.0±0.2
Lucens, contrebas entrepôt de déchets, sol 0-5 cm	8 ±3	530±13	< 0.3	9.5±0.2
Lucens, contrebas entrepôt de déchets, sol 5-10 cm	< 37	656±16	< 0.7	10.5±0.3
	Echantillon (séché)	Date de prélèvement	^{90}Sr	
			Bq/kg	Bq/g Ca
Lucens, contrebas entrepôt de déchets, sol 0-5 cm	Sol	17.08.01	0.6±0.2	0.02±0.01
	Herbe	17.08.01	2.0±0.1	0.17±0.01

Les intervalles d'incertitude sur les rapports sont reportés en 2σ, pour un intervalle de confiance de 95%.

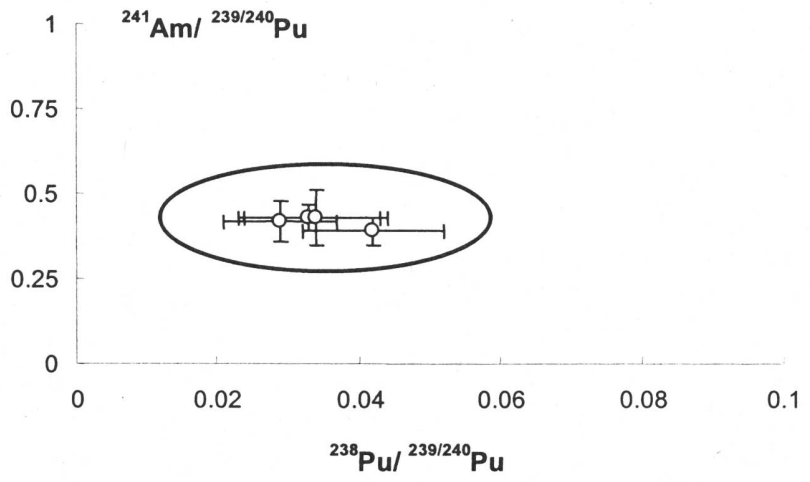


Fig. 1:

Représentation multivariable des prélèvements de sol de Lucens. L'élipse représente la limite des rapports obtenus sur un ensemble de 30 sites différents de Suisse en 2001.

Tableau 2. Concentration de radioéléments dans l'eau du bassin de contrôle de l'ancienne centrale nucléaire expérimentale de Lucens, en 2001.

Type d'eaux	Lieu de prélèvement	mBq/m^3				
		$^{239/240}$Pu	^{241}Am	^{238}U	^{235}U	^{234}U
eau de drainage	Ancienne centrale, (bassin de contrôle)	5.3±1.5	2.6±0.6	38900±6000	1700±200	50700±8000
eau de rivière	Broye (1 km en aval de l'ancienne centrale)	<1.0	<1.0	4700±1400	210±20	5750±1500
		Bq/l				
Ancienne centrale, (bassin de contrôle)	Date de prélèvement	^{90}Sr			^{3}H	
eau de drainage	1er trimestre 2001	< 0.03			21±2	
eau de drainage	2ème trimestre 2001	< 0.02			19±2	
eau de drainage	3ème trimestre 2001	< 0.01			13±2	
eau de drainage	4ème trimestre 2001	< 0.01			15±2	
		Bq/l				
Ancienne centrale, (bassin de contrôle)	Date de prélèvement	^{40}K	^{60}Co	^{134}Cs	^{137}Cs	
eau de drainage	0.4.01 et 26.01.01	< 17	< 0.5	< 0.7	< 0.5	
eau de drainage	03.02 et 22.02.01	< 19	< 0.5	< 0.8	< 0.6	
eau de drainage	0.1.03 et 22.03.01	< 10	< 0.5	< 0.5	< 0.5	
eau de drainage	03.04 et 26.04.01	< 8	< 0.5	< 0.4	0.29±0.17	
eau de drainage	04.05 et 23.05.01	< 9	< 0.5	< 0.4	< 0.4	
eau de drainage	06.06 et 20.06.01	< 9	< 0.5	< 0.4	< 0.5	
eau de drainage	05.07.et 24.07.01	< 11	< 0.2	< 0.3	< 0.2	
eau de drainage	13.08 et 27.08.01	< 18	< 0.3	< 0.5	< 0.8	
eau de drainage	03.09 et 24.09.01	< 17	< 0.3	< 0.5	< 0.3	
eau de drainage	05.10 et 24.10.01	< 9	< 0.5	< 0.4	0.14±0.11	
eau de drainage	05.11 et 23.11.01	< 18	< 0.3	< 0.5	< 0.4	
eau de drainage	05.12 et 18.12.01	< 10	< 0.5	< 0.4	< 0.6	

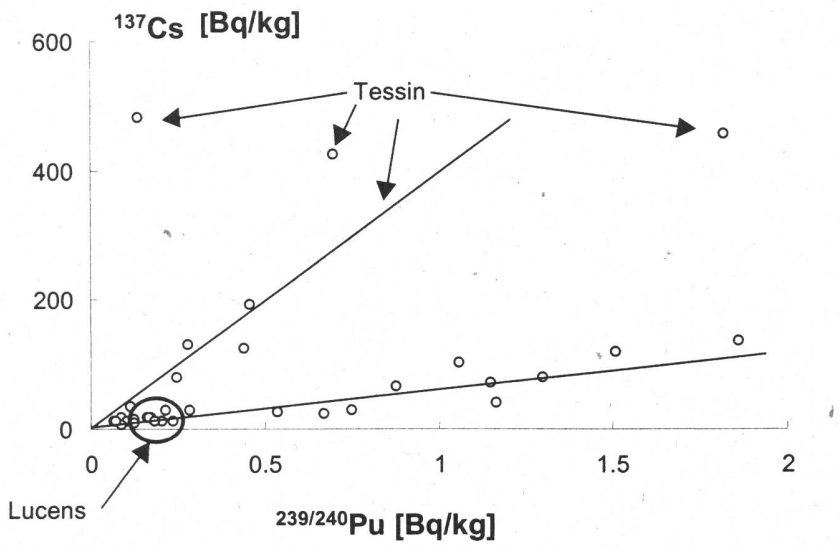


Fig. 2:

Activité en ^{137}Cs, reportée en fonction de l'activité en $^{239/240}Pu$, sur 29 échantillons de sol de Suisse prélevée en 2000.

8.5.2 Conclusion

Les mesures effectuées sur le site de Lucens n'ont pas mis en évidence la présence de radioéléments associés à une activité nucléaire, et, à plus forte raison, à une situation accidentelle. Une très faible augmentation de l'activité en ^{3}H est observée dans l'eau de drainage du bassin de contrôle, où l'activité est en moyenne de 15 Bq/l. Cette activité est non significative si on la compare à la valeur d'immission reportée dans l'ORaP, qui est de 12'000 Bq/l.

8.5.3 Bibliographie

[1] Commission d'enquête technique sur l'incident de Lucens, « Rapport final sur l'incident survenu à la centrale expérimentale de Lucens , le 21 janvier 1969», juin 1979.

[2] Office Fédéral de l'Energie, Division Principale de la Sécurité des Installations Nucléaires « Avis sur le déclassement de la majeure partie du site de l'ancienne centrale nucléaire expérimentale de Lucens », document HSK 4/27 KSA 4/112, Würenlingen, janvier 1995.