



SCHWEIZERISCHER BUNDES RAT  
 CONSEIL FÉDÉRAL SUISSE  
 CONSIGLIO FEDERALE SVIZZERO

Beschluss 17. September 1986

Décision

Decisione Bern, 1528 Sep. 1986

Bericht der Hauptabteilung für die Sicherheit der Kernanlagen über das IAEA-Expertentreffen betreffend den Reaktorunfall im KKW Tschernobyl (25.-29. August 1986)

An den Bundesrat

Aufgrund des Antrages des EVED vom 12. September 1986

Bericht der Hauptabteilung für die Sicherheit der Kernanlagen über das

IAEA-Aufgrund der Ergebnisse des Mitberichtsverfahrens wird Tschernobyl

(25. - 29. August 1986).

beschlossen:

1. Organisation des Treffens

Auf Initiative der Internationalen Atomenergieagentur (IAEA) fand an

Von der Berichterstattung der Hauptabteilung für die Sicherheit der Kernanlagen wird Kenntnis genommen.

Für getreuen Auszug,  
 der Protokollführer:

Protokollauszug an:  
 ohne /  mit Beilage

z.V.	z.K.	Dep.	Anz.	Akten
	X	EDA	6	—
	X	EDI	6	—
	X	EJPD	2	—
	X	EMD	4	—
	X	EFD	7	—
	X	EVD	5	—
X		EVED	1	—
	X	BK	3	—
		EFK		
		Fin.Del.		





3003 Bern, 12. Sep. 1986

Nicht an die Presse

**Für die BR.-Sitzung  
vom 17. SEP. 1986**

An den Bundesrat

Bericht der Hauptabteilung für die Sicherheit der Kernanlagen über das IAEA-Expertentreffen betreffend den Reaktorunfall im KKW Tschernobyl (25. - 29. August 1986).

---

### 1. Organisation des Treffens

Auf Initiative der Internationalen Atomenergieagentur (IAEA) fand an deren Sitz in Wien vom 25. bis 29. August ein Expertentreffen statt, an dem sowjetische Fachleute über Ursache, Ablauf und Folgen des Unfalls berichteten.

Die Veranstaltung stiess weltweit auf grosses Interesse; bei restriktiver Zulassung nahmen über 540 Experten aus 51 Ländern und 20 internationalen Organisationen teil. Schweizer Teilnehmer waren die Herren Naegelin (HSK, Leiter der Schweizer Delegation), Rometsch (Nagra; Vorsitzender des Treffens), Wernly (EDA, Stellvertreter des ständigen Vertreters der Schweiz bei der IAEA), Michaud (BAG), Knoglinger (EIR), Jeschki (HSK, auch Experte der IAEA für die Redaktion des INSAG-Berichtes), Lewis (HSK), Enzmann (Versicherungspool), Fuchs (Motor Columbus, Vertreter der KKW), Meyer (Elektrowatt, Vertreter der Kraftwerke), Pellaud (Elektrowatt, Präsident der Schweiz. Gesellschaft der Kernenergiefachleute).

Das Treffen war erstmalig in seiner Art und hat die Nützlichkeit der IAEA als technisch-wissenschaftliches Forum auch in dieser heiklen Angelegenheit demonstriert. Die von den Sowjets vorbereiteten und von der IAEA übersetzten und aufgearbeiteten Unterlagen (3 Bände mit insgesamt 366 Seiten) erwiesen sich als gute Grundlage für die Information der Teilnehmer.

Die internationale Beratergruppe für Kernenergiesicherheit der IAEA (INSAG) hat den Auftrag, einen zusammenfassenden Bericht mit Empfehlungen für weitere Untersuchungen zu schreiben. Dieser Bericht soll für das Treffen des Gouverneursrates der IAEA im September vorliegen.

Nützlich für die Schweizer Delegation erwies sich auch die durch unsere ständige Vertretung bei den internationalen Organisationen in Wien gewährte Unterstützung administrativer Art.

## 2. Resultate

Das Treffen erbrachte erstmals authentische Information über den Unfall im KKW Tschernobyl. Auch wenn noch verschiedene Einzelfragen offen geblieben sind, so dürften doch die grundsätzlichen Ursachen und die wichtigen Schritte des Unfallablaufes jetzt klar geworden sein. Die zahlreichen früher publizierten Vermutungen und Hypothesen sind bestätigt oder widerlegt worden. So ist die Ursache des Unfalls nicht etwa das Versagen eines Bauteils, sondern ein Reaktorunfall, wie er am Anfang der Kernenergieentwicklung intensiv studiert worden ist; das Brennelementlager war entgegen geäusserten Hypothesen nicht am Unfall beteiligt; der Graphitbrand scheint nicht ganz so wichtig für Ursache und Ausmass des Unfalls zu sein, wie zeitweise angenommen worden ist; ohne die durchgeführten Rettungsmassnahmen hätte der Unfall möglicherweise noch etwas grössere Mengen radioaktiver Stoffe freisetzen können.

Von sowjetischer Seite war kein Hinweis auf die in andern Ländern verursachten Kontaminationen und Schäden zu hören; lediglich einmal wurde von entsprechenden "Belästigungen" gesprochen.

## 3. Meinungsaustausch der Mitglieder der Kernenergieagentur (NEA) der OECD

In Wien anwesende Mitglieder des CSNI (Committee on the Safety of Nuclear Installations der NEA/OECD) hielten zwei informelle Zusammenkünfte ab, um Meinungen über Resultate und Folgerungen aus dem Treffen auszutauschen.

Man war sich einig darüber, dass neben Fehlern der Bedienungsmannschaft auch Mängel des Reaktorsystems wesentliche Ursache des Unfalls sind. Es wurde auf eine grosse Lücke zwischen den Eigenschaften des Reaktors und den verfügbaren Sicherheitssystemen hingewiesen.

Die von den Sowjets angegebenen Unfallursachen wurden nur zum Teil als entscheidend für den Eintritt der Katastrophe angesehen und die vorgeschlagenen Verbesserungsmassnahmen wurden von den einzelnen Teilnehmern als kaum genügend eingeschätzt; eine umfassende Beurteilung war jedoch nicht möglich. Auf Zweifel stiess auch die Antwort der Sowjets, es seien nie Vorläufer eines solchen Unfalls in Anlagen des RBMK-Typs beobachtet worden.

Allgemein wurde es jedoch als nicht zweckmässig erachtet, dass die NEA oder einzelne westliche Länder von der Sowjetunion zusätzliche, über deren Vorschläge hinaus gehende Massnahmen zur Verbesserung der RBMK-Reaktoren fordern. Es wird angenommen, teilweise auf Grund bilateraler Kontakte (USA-USSR), dass die Sowjets das ihnen Mögliche tun.

#### 4. Internationale Sicherheits-Normen und -Aufsicht

Die Sowjets sprechen sich in ihrem Bericht für eine verstärkte Zusammenarbeit im Rahmen der IAEA aus.

Die IAEA hat schon bisher ein Regelwerk über Sicherheitsstandards für KKW herausgegeben (NUSS-Dokumente). Daneben unterhält sie verschiedene Arbeitsgruppen für wichtige Spezialthemen der Reaktorsicherheit, welche fallweise Dokumente herausgeben. Schwierigkeiten bei diesen Tätigkeiten liegen oft darin, dass eine Einigung meist nur im Rahmen der in den verschiedenen massgebenden Ländern vorliegenden Gemeinsamkeiten möglich ist. Aus diesem Grunde enthalten die IAEA-Dokumente oft sehr allgemeine Formulierungen.

Tatsache ist auch, dass das Ziel der ausreichenden Sicherheit fallweise auf verschiedenen Wegen erreicht werden kann. Wichtig ist jedoch vor allem, dass einer der zweckmässigen Wege tatsächlich beschritten wird.

Im übrigen führt die IAEA in Mitgliedsländern auf Anforderung Missionen durch, welche sich z.B. auf Standortbeurteilungen, globale Sicherheitsbegutachtung einzelner KKW oder Auswertung eingetretener Störfälle beziehen.

Es dürfte sicher nützlich sein, wenn die IAEA künftig all diese Tätigkeiten verstärkt. Das hätte wohl zur Folge, dass auch die Schweiz ihre entsprechenden Beiträge erhöhen muss. Andererseits ist zu beachten, dass den nationalen Sicherheitsbehörden ihre Aufgabe von der IAEA nicht abgenommen werden kann; denkbar sind eher Anstösse zu zusätzlichen Tätigkeiten.

#### 5. Berichterstattung

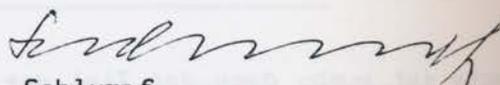
Die Hauptabteilung für die Sicherheit der Kernanlagen (HSK) hat einen Bericht über die Veranstaltung erstellt. Wir unterbreiten Ihnen hiermit dieses Papier zur Kenntnisnahme.

Es ist vorgesehen, dass der Bericht interessierten Parlamentariern auf Anfrage hin abgegeben wird.

#### 6. Antrag

Wir beantragen Ihnen, den beiliegenden Entwurf für den Beschluss des Bundesrates zu genehmigen.

EIDGENÖSSISCHES VERKEHRS- UND  
ENERGIEWIRTSCHAFTSDEPARTEMENT



Schlumpf

Protokollauszug an:

alle Departemente (6)

3. September 1986

Bericht der Hauptabteilung für die Sicherheit der Kernanlagen über das  
IAEA-Expertentreffen betreffend den Reaktorunfall im KKW Tschernobyl  
(25. - 29. August 1986)

---

Aufgrund des Antrages des EVED vom **12. Sep. 1986** wird

beschlossen:

Der Bundesrat nimmt Kenntnis von der Berichterstattung der Hauptabteilung  
für die Sicherheit der Kernanlagen.

Für getreuen Auszug  
der Protokollführer:

Inhalt

1. Anlass	Seite 1
2. Aufbau und spezielle Eigenschaften der Anlage Tschernobyl-1	2
3. Unfallablauf und Ursache	3
3.1 Ablauf	3
3.2 Vorgehensrichte und Ursachen	4
4. Auswirkungen des Unfalls in Russland	7
5. Massnahmen zur Verhinderung künftiger Reaktivitäts- stärkte in RDW-1000 Reaktoren	9
Beilage 1: Einige Merkmale des RDW-1000 Reaktors und Vergleich mit dem Reaktor LaFestât	10
Beilage 2: Könnte ein ähnlicher Unfall in der Schweiz passieren?	11
Beilage 3: Folgerungen aus dem Treffen für die schweizerischen Kernkraftwerke	12



8. September 1986

Hauptabteilung für die Sicherheit der Kernanlagen  
Division principale de la Sécurité des Installations Nucléaires  
Divisione principale per la Sicurezza degli Impianti Nucleari

5303 Würenlingen

Tel. 056 / 9828 53

Informationen vom IAEA-Expertentreffen 25.-29. August 1986  
über den Unfall im KKW Tschernobyl

---

Inhalt

1. Anlass	Seite 1
2. Aufbau und spezielle Eigenschaften der Anlage Tschernobyl-4	1
3. Unfallablauf und Ursache	3
3.1 Ablauf	3
3.2 Vorgeschichte und Ursachen	4
4. Auswirkungen des Unfalls in Russland	7
5. Massnahmen zur Verhinderung künftiger Reaktivitätsstörfälle in RBMK-1000 Reaktoren	8
Tabelle 1: Einige Merkmale des RBMK-1000 Reaktors und Vergleich mit dem Reaktor Leibstadt	10
ANHANG 1: Könnte ein ähnlicher Unfall in der Schweiz passieren? 11	
ANHANG 2: Folgerungen aus dem Treffen für die schweizerischen Kernkraftwerke	12

## 1. Anlass

Am 26. April 1986 um etwa 01 Uhr 24 Minuten ereigneten sich im vierten Block des sowjetischen Kernkraftwerkes Tschernobyl kurz nacheinander zwei Explosionen, die zur weitgehenden Zerstörung des Reaktors und des Reaktorgebäudes führten. Es folgten Brände im Reaktorgebäude und im Reaktorkern und es wurden im Laufe der folgenden 10 Tage grosse Mengen radioaktiver Stoffe in die Atmosphäre freigesetzt. Tschernobyl liegt in der Ukraine ca. 120 km nördlich der Landeshauptstadt Kiew; Luftliniendistanz bis Bern ist etwa 1700 km. Eine erste radioaktive Wolke vom Unglücksort erreichte die Schweiz am 30. April. Die unerwartete Höhe der Verstrahlung in unserem Lande war die Folge starker Niederschläge, welche die radioaktiven Stoffe aus der Wolke auswuschen und am Boden ablagerten.

Auf Initiative der Internationalen Atomenergieagentur (IAEA) fand an deren Sitz in Wien vom 25. bis 29. August ein Expertentreffen statt, an dem sowjetische Fachleute über Ursache, Ablauf und Folgen des Unfalls berichteten. Sie legten einen dreibändigen Bericht von insgesamt 366 Seiten vor, der von der IAEA ins Englische übersetzt worden war und beantworteten auch zusätzlich gestellte Fragen. Die spätere Beantwortung von noch offen gebliebenen Fragen wurde in Aussicht gestellt.

## 2. Aufbau und spezielle Eigenschaften der Anlage Tschernobyl-4

Die Anlage Tschernobyl-4 ist mit einem Reaktor des Typs RBMK-1000 ausgerüstet. Es handelt sich dabei um einen graphitmoderierten Siedewasserreaktor der Druckrohrbauart. Der im Reaktor produzierte Dampf gelangt über vier Wasser/Dampf-Separatoren direkt in zwei Turbosätze. Einige Merkmale dieser Anlage sind in der Tabelle 1 aufgelistet und den entsprechenden Charakteristiken der Anlage Leibstadt, als schweizerischem Siedewasserreaktor von etwa gleicher Leistung, gegenübergestellt. Dabei ist insbesondere auf drei Spezialitäten hinzuweisen, die beim eingetretenen Unfall eine Rolle gespielt haben:

- Der Dampfblasen-Reaktivitätskoeffizient ist positiv, d.h. eine Zunahme des Dampfanteils in den von einem Wasser-Dampf-Gemisch durchströmten Brennelementen bewirkt eine Zunahme der Reaktivität und damit einen Anstieg der Reaktorleistung. Der Reaktor verhält sich somit instabil, falls keine Regeleingriffe vorgenommen werden, indem zufällig auftretende Leistungsschwankungen verstärkt werden. Im Falle grosser positiver Blasen-Koeffizienten sind zur Stabilisierung der Reaktorleistung stark und rasch wirkende Steuersysteme nötig. Störfälle, welche zu Blasen Aufbau führen wie z.B. Druckabfall, Verlust des Speisewassers oder Ausfall von Umwälzpumpen, müssen rechtzeitig durch eine Reaktorschnellabschaltung begrenzt werden können; andernfalls ergibt sich eine möglicherweise nicht mehr aufhaltbare Leistungsexkursion. Im Falle eines negativen Blasenkoeffizienten stabilisiert sich die Reaktorleistung bei Störfällen auch ohne Schnellabschaltung; dabei muss höchstens das Funktionieren von Sicherheitsventilen vorausgesetzt werden.

- Der Reaktor enthält 211 Steuerstäbe, welche für verschiedene Funktionen eingesetzt werden. Schnellabschaltung kann durch 12 verschiedene Signale ausgelöst werden und erfolgt durch automatisches Einfahren aller Steuerstäbe (mit Ausnahme der verkürzten Stäbe) in den Reaktorkern. Die relativ lange Einfahrzeit (Geschwindigkeit 0,4 m/s) soll durch die grosse Anzahl der bewegten Steuerstäbe kompensiert werden. Ausserdem verlangt eine Vorschrift, dass ständig ein Äquivalent von mindestens 30 Stäben so in den Kern eingefahren sein muss, dass schon am Anfang einer zusätzlichen Einfahrbewegung eine grosse Wirkung eintritt; diese wichtige Massnahme ist allerdings nur dann wirksam, wenn die administrative Vorschrift eingehalten wird.

Im weiteren beeinflusst die Menge eingefahrener Steuerstäbe auch den Blasen-koeffizienten. Je mehr Stäbe sich im Reaktorkern befinden, um so kleiner (weniger positiv) ist dieser Koeffizient.

- Ein Containmentsystem, wie es die schweizerischen Kernkraftwerke aufweisen, d.h. eine druckfeste und dichte Doppelschale um den ganzen Primärkreislauf, liegt nicht vor. Statt dessen gibt es das "Unfall-Lokalisierungs-System"; dieses besteht darin, dass einige der den Primärkreislauf enthaltenden

Kammern druckfest und so dimensioniert sind, dass Dampfleckagen in diese Kammern aufgefangen und in ein unter dem Reaktor liegendes Kondensationsbecken geleitet werden. Dimensionierungsgrundlagen für dieses System sind Brüche einzelner Leitungen in diesen Kammern, nicht aber Leistungsexkursionen. Das System umfasst nicht die Dampf-Wasser-Verbindungsleitung, die oberen Teile der Brennstoffkanäle und die Fallrohre in der Separatorammer.

### 3. Unfallablauf und Ursache

#### 3.1 Ablauf

Beim eingetretenen Unfall handelt es sich um einen Reaktivitätsstörfall, mit daraus folgender Leistungsexkursion, die innerhalb weniger Sekunden zum Schmelzen oder sogar Verdampfen eines Teils des Brennstoffs geführt hat. Die sehr heissen Brennstoffteilchen sind sofort in direkten Kontakt mit dem Kühlmittel gekommen, was zu einer Art von Dampfexplosion führte. Durch den explosiven Druckanstieg innerhalb der Kühlkanäle wurden viele Druckrohre zerstört.

Dadurch geriet der Raum oberhalb des Kerns unter hohem Druck; dabei wurde der ganze Oberteil des Reaktors abgehoben. Die noch intakten Kühlkanäle wurden abgerissen und die Steuerstäbe herausgezogen. Der nachfolgende explosive Druckaufbau im Reaktorgebäude führte zur Zerstörung des Daches und der schwächeren Wände im oberen Teil des Gebäudes.

Nach einigen Sekunden erfolgte eine zweite Explosion, verursacht entweder durch eine zusätzliche Reaktivitätsexkursion oder durch eine Wasserstoffexplosion. Eine genauere Erklärung liegt zur Zeit noch nicht vor. Durch beide Explosionen wurden Brennstoff, Graphit und sonstige Kerneinbauten verschoben. Teile sind auf Dächer der nahliegenden Gebäude und in die Reaktorhalle gefallen. Der Grossteil der Kernreste wurde weitgehend homogenisiert und liegt als Schutt in der Reaktorgrube. Dabei ist die Neutronenkettenreaktion auch ohne Abschaltstäbe völlig unterbrochen worden.

Weil viele Kühlmittleitungen beschädigt waren, ist der Primärkühlkreislauf vollständig leergelaufen. Die spätere Einspeisung von Notkühlwasser war deshalb erfolglos. Die gebrochenen Kühlmittleitungen haben andererseits eine Luftzufuhr in die Reaktorgrube ermöglicht und damit einen tagelangen Graphitbrand erzeugt. Durch die Luftzufuhr wurde aber auch ein Zusammenschmelzen des Brennstoffs und ein Durchschmelzen des Betonbodens verhindert.

Insgesamt sind etwa 250 t (10 %) Graphit abgebrannt. Durch Abdecken der Grube mit Bor, Blei, Ton und Sand (5000 t) während sechs Tagen, teilweise auch mit Hilfe von flüssigem Stickstoff als Kühlmittel, wurden 10 Tage nach dem Beginn des Unfalls die Kernreste in einen vorläufig stabilen Zustand gebracht. Die Temperatur an der Oberfläche beträgt noch etwa 150° C. Die Wärme wird mittels durchströmender Luft abgeführt; zusätzlich wurde zum Schutz der Fundamente eine Kühlung dieser Strukturen von unten eingerichtet.

Die Freisetzung radioaktiver Stoffe in die Atmosphäre betrug während den ersten zehn Tagen zwischen 2 und 12 Megacurie pro Tag (ohne Edelgase). Sie ging dann, wohl dank den erwähnten Massnahmen, stark zurück und lag im August noch bei einigen Curie pro Tag. Laut sowjetischer Schätzung sind alle radioaktiven Edelgase freigesetzt worden, von allen übrigen Spaltprodukten etwa 50 Megacurie oder 3,5 % des Gesamtinventars im Reaktor; für die leichtflüchtigen Aktivstoffe Jod und Caesium wurden Werte von 20 % bzw. 13 % angegeben. Aus der Diskussion ergaben sich Hinweise, dass diese Werte noch um einiges höher liegen könnten.

### 3.2 Vorgeschichte und Ursachen

Es war vorgesehen, die Anlage Tschernobyl-4 zwecks Unterhaltsarbeiten abzustellen. Zuvor sollte noch ein Versuch durchgeführt werden, um abzuklären, wie weit ein auslaufender Turbogenerator in einem Störfall noch als Notstromquelle verwendet werden kann. Ähnliche Versuche hatten schon früher stattgefunden und es ging um das Ausprüfen einer durchgeführten Verbesserung am Generator. Laut sowjetischen Angaben war das Versuchsprogramm nicht richtig ausgearbeitet und von den zuständigen Stellen nicht genehmigt worden. Un-

klar blieb die Kompetenzaufteilung zwischen Versuchsleiter und Reaktorbetriebspersonal.

Ausgangszustand für den Versuch sollte eine stationäre thermische Leistung des Reaktors von 700-1000 MW sein. Das zu Versuchsbeginn vorgesehene Schliessen der Dampfventile zum einzigen noch in Betrieb stehenden Turbosatz würde normalerweise eine Schnellabschaltung auslösen. Dieser Eingriff war entgegen dem Versuchsprogramm ausgeschaltet worden, um nötigenfalls den Versuch wiederholen zu können. (Andernfalls wäre dies erst ein Jahr später wieder möglich gewesen).

Das Abfahren auf Teillast gelang nicht programmgemäss, die Leistung fiel bis auf 30 MW und erst nach 2 Stunden konnten wieder 200 MW erreicht werden. Eine weitere Leistungserhöhung war wegen der bei der tiefen Leistung gewachsenen "Xenon-Vergiftung" nicht möglich, trotzdem in Verletzung der Betriebsvorschriften schon eine zu grosse Anzahl Steuerstäbe aus dem Reaktor gezogen worden war.

Im Laufe des Experiments sollte die Hälfte der Umwälzpumpen mit dem Turbosatz auslaufen. Um die sichere Kühlung des Reaktors zu verbessern, wurden zusätzlich zu den normalerweise laufenden 6 Pumpen auch die 2 Reservepumpen vor Versuchsbeginn zugeschaltet. Damit ergab sich in Verletzung von Betriebsvorschriften ein zu grosser Kühlmittelstrom und ein verkleinerter Dampfgehalt im Reaktor, welcher zusätzliche Reaktivität absorbierte und dadurch ein Ausdampfen noch gefährlicher machte.

Das Einschalten der beiden zusätzlichen Umwälzpumpen führte zu Störungen von Druck und Niveau in den Dampfseparatoren. Um eine dadurch ausgelöste Schnellabschaltung des Reaktors zu vermeiden, wurden die entsprechenden Eingriffe ausgeschaltet.

Der Versuch wurde um 1 Uhr 23 Minuten 4 Sekunden bei 200 MW Leistung durch Schliessen der Dampfturbinen-Ventile gestartet. Kurz danach begann die Reaktorleistung langsam zu steigen. Grund dafür war zunehmende Dampfblasenbildung im Reaktor wegen abnehmender Kühlmittelumwälzung und auch wegen einer kurz zuvor vorgenommenen Reduktion der Zufuhr kalten Speisewassers. Auf Grund

der beobachteten Leistungszunahme wurde 36 Sekunden nach Versuchsbeginn der Knopf zur Reaktorschnellabschaltung gedrückt. Wegen des sehr instabilen Zustands des Reaktors und der Nichtverfügbarkeit schnell wirkender Steuerstäbe nach den vorausgegangenen Eingriffen war der Reaktivitätsstörfall mit sehr starker Leistungsexkursion nicht mehr aufzuhalten.

Zusammengefasst zeigen sich somit folgende Hauptursachen für den Unfall und seine Auswirkungen:

- Menschliche Fehler. Solche liegen vor bei der Bedienungsmannschaft, welche unbefugt, aus nicht ersichtlicher Motivation, Sicherheitssysteme ausser Funktion setzte und Betriebsvorschriften verletzte. Die Erklärung eines sowjetischen Delegierten, die Leute hätten sich wegen der bisher ausgezeichneten Erfahrungen mit den Tschernobyl-Reaktoren zu sicher gefühlt, vermag nicht zu überzeugen. Sie zeigt, dass neben allfälliger Disziplinlosigkeit mangelnde Ausbildung eine wichtige Rolle gespielt hat, indem der Bedienungsmannschaft die Sicherheitsgrenzen und das Gefahrenpotential ihrer Anlage offensichtlich zu wenig bekannt waren. Eine entsprechende Bewusstseinsbildung kann vor allem durch Simulatortraining erreicht werden; diese Ausbildungsmethode befindet sich in der Sowjetunion noch in einem sehr frühen Stadium. Schuld trägt aber auch die Organisation des Betriebs und der Sicherheitsaufsicht, welcher es nicht gelungen ist, mehrfache Verletzung angeblich vorhandener Vorschriften zu verhindern.
- Empfindliches Reaktorsystem. Als massgebende Ursache für den Ablauf des Unfalls haben sich in erster Linie der positive Blasenkoeffizient des Kühlmittels und in zweiter Linie das relativ langsam wirkende Schnellabschalt-system erwiesen. Diese beiden Ursachen können durch Fehlhandlungen des Personals noch zusätzlich ungünstig beeinflusst werden, ohne dass automatische Blockierungen eingreifen würden.
- Fehlen eines umfassenden und starken Containments zur Linderung der Auswirkungen von schweren Unfällen. Ein solches Containment müsste in diesem Fall nicht nur für Kühlmittelverlust-, sondern auch für Reaktivitätsstör-fälle dimensioniert werden.

#### 4. Auswirkungen des Unfalls in Russland

Der Unfall im Kernkraftwerk Tschernobyl hatte Auswirkungen auf das Personal, welches den Reaktor betrieb und welches den Brand bekämpfte, auf die Bevölkerung in einem Umkreis mit einem Radius von 30 km sowie einigen Gebieten bis zu einer Entfernung von 60 km, und auf die Umwelt und somit auch indirekt auf die Bevölkerung in weiten Teilen Russlands (und in vielen anderen Ländern).

Vom Betriebs- und Einsatzpersonal wurden 203 Leute so stark bestrahlt, dass sie ein akutes Strahlensyndrom zeigten. Die geschätzten Dosen betragen zwischen 200 und 1600 rem. Zusätzlich zu den hohen Ganzkörperdosen erhielten 48 Personen hohe  $\beta$ -Hautdosen, die schwere Hautverbrennungen bewirkten. Bis Ende Juli starben 31 Personen.

Für die Bevölkerung, die nach und nach aus der 30 km Zone evakuiert wurde, wurden maximale Ganzkörperdosen von 30-40 rem angegeben; die Mehrheit dieser Bevölkerung soll Dosen von weniger als 25 rem erhalten haben. Die Kollektivdosis für die evakuierte Bevölkerung (135'000) wird auf 1,6 Millionen manrem geschätzt. Die Kollektivdosis der Bevölkerung im übrigen europäischen Teil der Sowjetunion wurde mit 29 Millionen manrem angegeben und in der Diskussion als konservativ geschätzter Wert bezeichnet.

Die Kontamination der 30 km Zone kann am besten durch die externen Dosen charakterisiert werden, die die Bevölkerung erhalten hätte, wenn sie ein Jahr lang in dieser Zone gelebt hätte. Dabei wurden die Lebensgewohnheiten und der Schutzfaktor von Gebäuden berücksichtigt. In der Nähe des zerstörten Kraftwerkes, in einem Abstand zwischen 3 und 7 km, betragen diese Dosen 25-300 rem/Jahr, für einen Abstand von 10-15 km noch 4-250 rem/Jahr, und für den Abstand von 25-30 km 0,4-40 rem/Jahr.

Es dürfte sicher einige Jahre dauern, bis grössere Gebiete innerhalb der 30 km Zone wieder bewohnt werden können.

Probleme, die noch gelöst werden müssen, um die 30 km Zone erfolgreich dekontaminieren zu können, sind u.a. die Entfernung einer 5-10 cm dicken Erd-

schicht und die Dosen für das Personal, welches diese Arbeit durchführt, die sichere Lagerung grosser Mengen kontaminierter Erde, die Bindung von Radionukliden in der Erde, die wieder bebaut wird, mit Komplexbildner und die Entwicklung von Methoden, um Wälder und Gewässer zu dekontaminieren. Umlagerungen und Weiterverbreitung der radioaktiven Stoffe durch Wind und Wasser sollen weitgehendst verhindert werden, so dass eine systematische Dekontamination durchgeführt werden kann. Staubentwicklung bei den durchzuführenden Arbeiten oder durch Brände ist möglichst zu vermeiden. Die Abgabe von Aktivstoffen aus dem zerstörten Reaktor muss noch weiter reduziert werden.

#### 5. Massnahmen zur Verhinderung künftiger Reaktivitätsstörfälle in RBMK-1000 Reaktoren

Nach dem Unfall sind die folgenden Sofortmassnahmen angeordnet worden, um die RBMK-1000 Reaktoren in Zukunft sicherer zu betreiben:

- a) Mindestens 80 Steuerstäbe (äquivalent) müssen immer voll im Kern verbleiben. Dies bewirkt einen sehr kleinen positiven oder sogar negativen Blasenkoeffizienten und gewährleistet überdies auch die Möglichkeit einer schnelleren Reaktorabschaltung. Mit dieser Massnahme wird die Wirtschaftlichkeit der Anlage etwas verschlechtert.
- b) Die minimale Einfahrtiefe der Steuerstäbe wird durch elektrische Verriegelungen auf 1.2 m begrenzt. Dadurch werden die Wirkungen der Massnahme a) verstärkt.
- c) Verbesserung der Betriebsvorschriften, um sicher zu stellen, dass die Massnahme a) eingehalten wird, dass das Reaktorschnellabschaltsystem nicht leichtfertig blockiert werden kann und dass ein Betrieb mit Leistungen unter 700 MW vermieden wird.

Mittelfristige Massnahmen um das Anlageverhalten weniger empfindlich gegen menschliche Eingriffe zu machen, schliessen ein:

- d) Einführung von höher angereichertem Brennstoff. Unabhängig von der Steuerstabposition wird dabei der Blasenkoeffizient immer negativ.
- e) Installation eines zweiten, diversitären schnellen Abschaltsystems.

Die vorgeschlagenen Massnahmen sind zweifellos geeignet, die Sicherheit der RBMK-Reaktoren, insbesondere bezüglich ihrer Empfindlichkeit gegen Reaktivitätsstürfälle, zu verbessern. Eine Diskussion über die Wirksamkeit dieser Massnahmen oder über andere Schwachstellen des RBMK-Reaktortyps fand am Expertentreffen allerdings nicht statt. Ueberzeugendstes Argument für die Verbesserung der Sicherheit sowjetischer Kernkraftwerke ist wohl das eigene Interesse der dort zuständigen Leute, eine Wiederholung ähnlicher Unfälle künftig mit allen verfügbaren Mitteln zu vermeiden. In diesem Zusammenhang ist daran zu erinnern, dass ein Kraftwerk mit 4 RBMK-1000 Reaktoren in 40 km Abstand von Leningrad betrieben wird.

Die Möglichkeit des Auftretens ähnlicher Unfälle in der Schweiz wird im Anhang 1 diskutiert, allfällige Auswirkungen des Tschernobyl Unfalls auf die schweizerischen Reaktoren im Anhang 2.

	RBMK-1000	K K L
<b>Leistung:</b>		
Thermisch	3200 MW	3138 MW
elektrisch netto	950 MW	990 MW
<b>Reaktorkern:</b>		
Brennstoff	Uranoxid UO <sub>2</sub>	Uranoxid UO <sub>2</sub>
Moderator	Graphit	Wasser
Kühlmittel	Siedendes Wasser	Siedendes Wasser
Hüllrohre	Zirkon d = 13.6 mm	Zirkon d = 12.3 mm
Durchmesser	11.8 m	4.4 m
Höhe	7.0 m	3.8 m
<b>Primärkreislauf:</b>		
Brennelemente in	1661 Druckrohren d = 88 mm, s = 4 mm	1 Druckbehälter d = 6.34 m, s = 144 mm
Wasser-Dampf-Separatoren	4 Zylinder d = 2.8 m ℓ = 31 m	Im Druckbehälter
Umwälzpumpen	8	2
<b>Containment:</b>	Umschliesst Teile von Reaktorkern und Primärkreislauf	Umschliesst ganzen Reaktorkern und Primärkreislauf, Doppelcontainment
<b>Schnellabschaltung:</b>		
Einfahrzeit ca.	10 sec	1 sec
<b>Reaktivitätskoeffizient der Dampfblasen:</b>	Positiv	Negativ

Tabelle 1: Einige Merkmale des RBMK-1000 Reaktors und Vergleich mit dem Reaktor Leibstadt

ANHANG 1Könnte ein ähnlicher Unfall in der Schweiz passieren?

In schweizerischen Kernkraftwerken kann die Reaktorschnellabschaltung durch das Bedienungspersonal im Kommandoraum nicht unterdrückt bzw. überbrückt werden. Eingriffe in das Abschaltssystem sind zwar durch Wartungspersonal möglich, jedoch nur zu Zwecken der Prüfung oder Reparatur erlaubt, wobei die Funktionsfähigkeit des Systems erhalten bleiben muss. In jedem Fall erfordert ein solcher Eingriff entweder eine schriftlich festgelegte Prüfvorschrift oder eine schriftliche Arbeitserlaubnis. Die Einstellwerte (Grenzwerte) des Reaktorschutzsystems sowie dessen Funktionsbereitschaft sind in behördlich überprüften Vorschriften festgelegt. Eine Aenderung dieser Vorschriften darf nur mit dem Einverständnis der Behörden vorgenommen werden.

Sollte trotzdem ein Störfall mit nicht funktionierendem Schnellabschaltssystem eintreten, so erreichen die schweizerischen Siede- und Druckwasserreaktoren auf Grund ihrer physikalischen Eigenschaften und der vorhandenen Sicherheitsventile einen stabilen und sicheren Zustand. Dieser Zustand kann gehalten werden bis eine Schnellabschaltung von Hand ausgelöst wird, oder bis der Reaktor durch das in allen Anlagen verfügbare zweite Abschaltssystem in den unterkritischen Zustand gebracht wird. Ein nicht beherrschbarer Reaktivitätsstörfall ähnlich demjenigen in Tschernobyl kann ausgeschlossen werden.

Falls aus irgendwelchen Gründen der Reaktorkern eines schweizerischen Kernkraftwerkes schwer beschädigt werden und evtl. schmelzen sollte, so stehen als zusätzliche Barrieren der massive Reaktordruckbehälter und das Doppelcontainment zur Verfügung. Diese Bauteile würden die Freisetzung der radioaktiven Stoffe verhindern oder mindestens verzögern und reduzieren. Ihre Wirkung zeigte sich beim Unfall in der Anlage TMI-2 1979, wo bei ebenfalls schwerster Kernbeschädigung nur eine sehr geringe Menge radioaktiver Stoffe freigesetzt worden ist.

ANHANG 2Folgerungen aus dem Treffen für die schweizerischen Kernkraftwerke

Wegen der Verschiedenartigkeit der Reaktortypen sind direkte Folgerungen nicht zu erwarten. Der Unfall Tschernobyl ist jedoch Anlass, die Tätigkeit der schweizerischen Sicherheitsbehörden auf dem Gebiete der "Schweren Unfälle" (Beschädigung oder Schmelzen des Reaktorkerns) zu beschleunigen und evtl. zu verstärken. Entsprechende Vorbereitungen waren schon bisher in Abstimmung mit Arbeiten in andern Ländern und internationalen Organisationen im Gange. Es geht dabei um die Gebiete

- Analyse der Sicherheit der bestehenden Kernkraftwerke in bezug auf schwere Störfälle (Risikoanalysen, denkbare Quellterme)
- Möglichkeit sichererer Reaktortypen
- Notwendigkeit und Möglichkeiten technischer Verbesserungen der bestehenden Kernkraftwerke, insbesondere des Containments
- Ausbildung und Qualifikation des Personals, organisatorische Abläufe
- Massnahmen und Zonen des Notfallschutzes
- Einsatz und Kapazität der Aufsichtsbehörden.

Bei diesen Untersuchungen und den daraus sich ergebenden Massnahmen sollen die Erfahrungen aus dem Unfall Tschernobyl mitberücksichtigt werden.

DIVISION PRINCIPALE DE LA SECURITE  
DES INSTALLATIONS NUCLEAIRES

5303 Würenlingen (056/ 98 28 53)

Informations relatives à l'accident de Tchernobyl  
obtenues lors de la réunion d'experts de l'AIEA  
(25 au 29 août 1986)

Table des matières

1 - Motif du rapport	2
2 - Structures et caractéristiques particulières de la centrale nucléaire Tchernobyl 4	2
3 - Déroulement et cause de l'accident	5
3.1 Déroulement	
3.2 Genèse et causes	
4 - Conséquences de l'accident en URSS	10
5 - Mesures destinées à empêcher à l'avenir des accidents de réactivité avec fuites radioac- tives dans les réacteurs RBMK-1000	12
Tableau : Quelques caractéristiques du réacteur RBMK-1000 et comparaison avec le réacteur de Leibstadt	14
APPENDICE 1: Un accident analogue pourrait-il se produire en Suisse?	15
APPENDICE 2: Enseignements à tirer de la réunion pour les centrales nucléaires suisses	16

## 1 - Motif du rapport

Le 26 avril 1986 vers 01.24h, deux explosions se sont succédé dans la quatrième tranche de la centrale nucléaire soviétique de Tchernobyl, détruisant la plus grande partie du réacteur et du bâtiment qui l'abritait. Des incendies ont alors éclaté à l'intérieur du bâtiment et du coeur du réacteur, et, durant dix jours, de grandes quantités de substances radioactives ont été projetées dans l'atmosphère. Tchernobyl est situé en Ukraine, à environ 120 km au nord de la capitale, Kiev. De Berne, la distance est de quelque 1'700 km à vol d'oiseau. Un premier nuage radioactif qui s'en était échappé a atteint la Suisse le 30 avril. La contamination radioactive de notre pays a dépassé les premières estimations du fait que d'importantes précipitations ont lessivé le nuage radioactif et entraîné les substances radioactives vers le sol.

A l'instigation de l'Agence internationale de l'énergie atomique (AIEA), une réunion d'experts a eu lieu du 25 au 29 août au siège de cette organisation à Vienne. Des spécialistes soviétiques y ont fait rapport sur la cause, le déroulement et les conséquences de l'accident. Ils ont présenté un rapport en trois volumes totalisant 366 pages, traduit en anglais par les soins de l'AIEA, et ils ont répondu à des questions qui leur étaient posées. Ils ont également laissé entendre que les questions encore en suspens recevraient réponse ultérieurement.

## 2 - Structure et caractéristiques particulières de la centrale nucléaire Tchernobyl-4

Tchernobyl-4 est équipé d'un réacteur du type RBMK-1000. Il s'agit d'un réacteur du type à tubes de force, à eau bouillante et modéré au graphite. La vapeur produite dans le réacteur est amenée directement dans deux turbo-alternateurs par quatre séparateurs eau/

vapeur. Quelques-unes des caractéristiques de cette installation figurent dans le tableau (p. 14) en regard des éléments correspondants de la centrale de Leibstadt, construite en Suisse et équipée d'un réacteur à eau bouillante ayant à peu près la même puissance. Il convient de souligner trois particularités du réacteur accidenté qui ont joué un rôle:

- Le coefficient de réactivité associé aux bulles de vapeur, dit coefficient de vide de la réactivité, est positif, c'est-à-dire que l'accroissement de la proportion de vapeur dans le mélange eau-vapeur circulant le long des éléments combustibles entraîne une augmentation de la réactivité et, partant, de la puissance du réacteur. En l'absence de manoeuvres de réglage, celui-ci a donc un comportement instable, du fait que ses fluctuations de puissance fortuites se trouvent amplifiées. Dans le cas d'une valeur élevée d'un coefficient de vide positif, des systèmes de commande qui agissent rapidement et vigoureusement sont indispensables pour stabiliser la puissance. Tout dérangement se traduisant par la formation de bulles de vapeur, tel une chute de pression ou une panne de l'alimentation en eau ou des pompes de circulation, doit pouvoir être limité à temps par un arrêt rapide du réacteur; à défaut, il en résulte une excursion de puissance qui risque d'être impossible à maîtriser. Lorsque le coefficient de vide est négatif, la puissance du réacteur se stabilise en cas de dérangement, même sans arrêt rapide, à la seule condition que le fonctionnement des soupapes de sécurité soit assuré.

- Le réacteur comporte 211 barres de commande, utilisées pour diverses fonctions. L'arrêt rapide peut être provoqué par 12 signaux différents; il est réalisé par l'introduction automatique de toutes les barres de commande (à l'exception des barres dites courtes\*) à l'intérieur du coeur. Le nombre élevé de

---

\*) c'est-à-dire dont la longueur est inférieure à la hauteur du coeur

barres est réputé compenser leur temps d'introduction relativement long (vitesse 0,4 m/s). Par ailleurs, il existe une prescription exigeant que l'équivalent d'au moins 30 barres se trouvent en permanence dans le coeur, de telle sorte que leur effet se manifeste fortement dès le début d'un mouvement d'introduction; bien entendu, cette disposition importante n'est efficace que si elle est respectée en toute circonstance.

En outre, le coefficient de vide dépend aussi du nombre de barres introduites. Plus ce nombre est élevé, plus le coefficient est faible (moins positif).

- Les centrales nucléaires suisses sont dotées d'un système de confinement, c'est-à-dire d'une double enveloppe étanche résistant à la pression, qui contient l'ensemble du circuit primaire. Rien de tel à Tchernobyl, où l'on a installé, en lieu et place, un "système de limitation des accidents": quelques-uns des compartiments abritant le circuit primaire sont dimensionnés de façon à résister à la pression résultant des fuites de vapeur, qui y sont recueillies et amenées à un bassin de condensation situé sous le réacteur. On admet, comme base de dimensionnement de ce système, la rupture de certaines conduites dans les compartiments, mais non l'excursion de puissance. Le système n'englobe pas la partie supérieure des tubes de force, ni les conduites de liaison transportant le mélange eau/vapeur entre les tubes de force et les séparateurs, ni la partie des tubulures descendant des séparateurs située dans les mêmes locaux que ces derniers.

### 3 - Déroulement et cause de l'accident

#### 3.1 Déroulement

A l'origine de la catastrophe de Tchernobyl, on a reconnu un accident de réactivité suivi d'une excursion de puissance qui a entraîné, en l'espace de quelques secondes, la fusion, voire l'évaporation d'une partie du combustible. Les particules de combustible très chaudes se sont immédiatement trouvées au contact direct du caloporteur, ce qui a provoqué ce qu'on appelle une explosion de vapeur. Du fait de l'augmentation explosive de la pression dans les canaux de refroidissement, de nombreux tubes de force ont été détruits.

Il en est résulté une surpression considérable dans l'espace au-dessus du coeur. Elle a soulevé la partie supérieure du réacteur. Les canaux de refroidissement encore intacts ont été arrachés et les barres de commande expulsées. Il s'en est suivi un accroissement brutal de la pression dans le bâtiment du réacteur, dont le toit a été détruit, de même que les parois les moins solides de la partie supérieure.

Quelques instants plus tard, une seconde déflagration s'est produite, déclenchée soit par une nouvelle excursion de réactivité, soit par une explosion d'hydrogène. Une explication exacte ne peut encore en être donnée à l'heure actuelle. Ces deux explosions successives ont expulsé du combustible, du graphite et des structures du coeur. Des fragments sont retombés sur les toits des bâtiments proches et dans la halle du réacteur. La plus grande partie des fragments restants du coeur, homogénéisée, s'est amoncelée en gravats dans la fosse du réacteur. A la suite de ces destructions, la réaction neutronique en chaîne a été entièrement arrêtée malgré l'absence de barres d'arrêt.

De nombreuses conduites de caloporteur ayant été endommagées, le circuit caloporteur primaire s'est entièrement vidé. Ainsi, la réalimentation ultérieure avec de l'eau de refroidissement de secours est restée sans effet. De leur côté, les conduites rompues ont amené de l'air dans la fosse du réacteur, attisant un incendie de graphite qui a fait rage durant des jours. Cependant, ce même apport d'air a empêché la fusion du combustible en une masse compacte et une réaction de celle-ci avec le béton de la dalle de support du coeur, ce qui aurait pu conduire à la perforation de cette dernière.

L'incendie a détruit environ 250 t de graphite (10 % de l'inventaire). En comblant la fosse de bore, de plomb, d'argile et de sable (5'000 t) durant six jours, ainsi qu'en injectant de l'azote liquide comme fluide de refroidissement, on a pu stabiliser provisoirement les restes du coeur, dix jours après le début de l'accident. La température en surface atteint encore quelque 150 °C. La chaleur est évacuée par circulation d'air; de plus, on a installé, sous ces restes de structures, un système de refroidissement destiné à protéger les fondations.

Les dix premiers jours, le rejet de substances radioactives dans l'atmosphère a atteint, sans les gaz rares, de 2 à 12 mégacuries par jour. Il a ensuite fortement diminué, sans doute grâce aux mesures prises; au mois d'août, il représentait quelques curies par jour. Selon une estimation d'origine soviétique, tous les gaz rares radioactifs ont été libérés, de même qu'environ 50 mégacuries des autres produits de fission (3,5 % de l'inventaire présent dans le réacteur); pour l'iode et le césium radioactifs, relativement volatils, on a indiqué des proportions de 20 et 13 %, respectivement. La discussion a fait apparaître que les valeurs réelles pourraient se situer passablement plus haut encore.

### 3.2 Genèse et causes de l'accident

On avait prévu d'arrêter Tchernobyl-4 pour procéder à des travaux d'entretien. Auparavant, une expérience devait montrer dans quelle mesure, en situation de dérangement, un turbo-alternateur mu par la seule énergie cinétique pourrait encore servir de source d'électricité de secours.

Des essais analogues avaient été faits antérieurement et il s'agissait de tester une amélioration apportée à l'alternateur. Selon des sources soviétiques, le programme de ces travaux n'était pas au point et n'avait pas été approuvé par les services compétents. Il n'a pas été possible aux participants de la conférence de définir la répartition exacte des compétences entre le directeur de l'essai et le personnel de la centrale.

En vue de l'essai, il fallait amener le réacteur à une puissance thermique stationnaire de 700 à 1'000 MW. Prévue parmi les premières manipulations, la fermeture des vannes de vapeur vers le seul turbo-alternateur encore en service déclencherait normalement un arrêt d'urgence. Contrairement à ce que prévoyait le programme d'essai, cette intervention avait été neutralisée pour permettre, au besoin, la répétition de l'expérience (possible seulement une année plus tard sans cela).

La réduction de la puissance ne s'étant pas opérée conformément au programme, le niveau de puissance est tombé à 30 MW et n'a pu être ramené à 200 MW que deux heures plus tard. Un niveau de puissance plus élevé n'était plus possible par suite de l'augmentation rapide de "l'empoisonnement au xénon", conséquence du trop bas niveau de puissance, alors même qu'au mépris des prescriptions d'exploitation, on avait déjà retiré du réacteur un trop grand nombre de barres de commande.

Au cours de l'expérience, la moitié des pompes de circulation devaient tourner sur leur lancée avec le turbo-alternateur. Afin d'améliorer le refroidissement sûr du réacteur, on a enclenché dès le début de l'expérience deux pompes de réserve, en plus des six unités en service normalement. Il en est résulté, en violation des prescriptions, un débit trop important de fluide caloporteur et une réduction de la proportion de vapeur contenue dans le réacteur; cela l'a conduit à absorber davantage de réactivité, et a rendu encore plus dangereuse une vaporisation rapide de l'eau contenue dans le coeur.

Le recours aux deux pompes de circulation supplémentaires a entraîné des perturbations de pression et de niveau des séparateurs de vapeur. Pour éviter l'arrêt rapide du réacteur que ces perturbations auraient dû provoquer, on a neutralisé les automatismes correspondants.

L'expérience a débuté à 1 heure 23 minutes 4 secondes et à 200 MW de puissance, par la fermeture des vannes d'admission de vapeur à la turbine. Peu après, la puissance du réacteur a commencé à augmenter lentement. En effet, des bulles de vapeur de plus en plus importantes se formaient dans le réacteur par suite de la réduction graduelle du débit de fluide caloporteur, et aussi par le fait qu'on avait, peu auparavant, diminué l'amenée d'eau d'alimentation froide. Au vu de l'augmentation de la puissance, on a appuyé sur le bouton d'arrêt rapide du réacteur 36 secondes après le début de l'expérience. En raison de l'état très instable du réacteur et du fait de l'indisponibilité de barres de commande à action rapide résultant des manoeuvres antérieures, il n'a plus été possible d'éviter l'accident de réactivité accompagné d'une très forte excursion de puissance.

En résumé, les principaux faits suivants apparaissent à l'origine de l'accident et de ses conséquences:

- Des erreurs humaines. Elles sont imputables à l'équipe d'exploitation, qui a rendu inopérants des systèmes de sécurité et violé des prescriptions sans y avoir été autorisée et sans motif apparent. L'explication donnée par un délégué soviétique, selon laquelle les gens se seraient sentis trop sûrs du fait des excellentes expériences passées avec les réacteurs de Tchernobyl, ne convainc pas. Elle montre qu'à part un éventuel manque de discipline, l'insuffisance de la formation a joué un rôle important: manifestement, le personnel ne connaissait pas les limites de sécurité ni le potentiel de danger de son installation. Il s'agit ici d'une prise de conscience qu'on acquiert surtout par un entraînement au simulateur, méthode de formation dont l'introduction en Union soviétique n'en est qu'à ses débuts. Mais une part de responsabilité incombe également à l'organisation de l'exploitation et à celle de la surveillance par l'autorité de sécurité, qui n'est pas parvenue à empêcher une multiple violation de prescriptions réputées avoir été édictées.
- Un système de réacteur délicat. Il apparaît que le déroulement de l'accident est essentiellement imputable, d'abord au coefficient de vide positif du fluide caloporteur, ensuite à la lenteur relative du système d'arrêt rapide. En intervenant à mauvais escient, le personnel peut encore aggraver ces deux éléments négatifs sans que des blocages automatiques interviennent.
- Absence d'enceinte de confinement entourant complètement l'installation et suffisamment solide, destinée à limiter les effets d'accidents graves. En l'occurrence, une telle enceinte devrait être dimensionnée pour faire face non seulement à la perte du caloporteur, mais aussi à des accidents de réactivité.

#### 4 - Conséquences de l'accident en URSS

Les conséquences de l'accident de Tchernobyl ont touché le personnel d'exploitation de la centrale, l'équipe de lutte contre l'incendie, la population des environs dans un rayon de 30 km voire, par endroit, jusqu'à 60 km de distance, ainsi que l'environnement et par lui, indirectement, la population de vastes régions d'URSS (et de beaucoup d'autres pays).

Parmi le personnel d'exploitation et d'intervention, 203 personnes ont été si gravement exposées aux rayonnements qu'elles présentaient un syndrome aigu d'irradiation. L'évaluation des doses d'exposition donne des valeurs comprises entre 200 et 1'600 rem. En plus des doses élevées subies au corps entier, 48 personnes ont subi de fortes doses  $\beta$  à la peau, qui se sont traduites par de graves brûlures. A la fin de juillet, 31 personnes étaient décédées.

Pour la population que l'on a progressivement évacuée de la zone des 30 km, on a annoncé des doses maximales au corps entier de 30-40 rem; la plupart de ces personnes auraient reçu moins de 25 rem. La dose collective de la population évacuée (135'000 personnes) est évaluée à 1,6 million manrem. Quant à la dose collective de la population dans le reste de la partie européenne de l'Union soviétique, on a articulé le chiffre de 29 millions manrem, une estimation qualifiée de pessimiste au cours de la discussion.

La meilleure manière de se faire une idée de la contamination dans la zone des 30 km consiste à déterminer les doses externes auxquelles la population serait exposée si elle devait vivre une année dans cette zone. On a tenu compte des habitudes de vie et de la protection offerte par les bâtiments. A proximité de la centrale détruite, à une distance de 3 à 7 km, ces doses attein-

draient 25-300 rem, à une distance de 10 à 15 km, elles seraient de 4-250 rem et entre 25 et 30 km d'éloignement, de 0,4-40 rem après une année.

Il est vraisemblable que quelques années s'écouleront avant que des surfaces d'une certaine importance puissent à nouveau être habitées dans la zone des 30 km.

Parmi les problèmes qu'il faudra résoudre encore pour décontaminer cette zone, mentionnons l'évacuation d'une couche de 5-10 cm de terre, la protection radiologique du personnel chargé de ces travaux, puis l'entreposage sûr de grandes quantités de terre contaminée, la fixation, à l'aide d'agents complexants, des radionucléides contenus dans la terre recultivée et le développement de méthodes de décontamination des forêts et des eaux. On empêchera dans toute la mesure du possible le transfert et la dissémination ultérieurs de substances radioactives par le vent et par les eaux pour permettre une décontamination systématique. Il faudra s'efforcer d'éviter la formation de poussière lors de ces travaux ou par suite d'incendies (cendres). Les rejets de substances radioactives hors du réacteur détruit devront encore être réduits.

5 - Mesures destinées à empêcher à l'avenir des accidents de réactivité dans les réacteurs du type RBMK-1000

---

A la suite de l'accident, les mesures suivantes ont été immédiatement ordonnées pour accroître à l'avenir la sécurité lors de l'exploitation des réacteurs du type RBMK-1000:

- a) Au moins 80 barres de commande entières (ou leur équivalent) doivent toujours rester à l'intérieur du coeur. Il en résulte un coefficient de vide très faiblement positif, voire négatif, et au surplus, l'arrêt du réacteur peut être opéré plus rapidement. Cette mesure réduit quelque peu la rentabilité de l'installation.
- b) Un dispositif de verrouillage électrique doit empêcher que les barres de commande puissent être extraites complètement du coeur et faire en sorte qu'au minimum 1,20 m de leur longueur y reste introduite. Les effets de la mesure précédente en seront renforcés.
- c) Les prescriptions d'exploitation seront améliorées pour garantir que la mesure a) soit véritablement respectée, que le système d'arrêt rapide du réacteur ne puisse pas être bloqué de manière irréfléchie et qu'on évite de faire marcher l'installation à une puissance inférieure à 700 MW.

A moyen terme, les mesures suivantes s'imposent, parmi d'autres, pour rendre le comportement de l'installation moins sensible aux interventions humaines:

- d) Adoption de combustible plus fortement enrichi. Le coefficient de vide sera alors toujours négatif, indépendamment de la position des barres de commande.
- e) Mise en place d'un second système d'arrêt rapide, conçu différemment du premier.

Les mesures proposées sont incontestablement de nature à améliorer la sécurité des réacteurs RBMK-1000, particulièrement pour ce qui est de leur sensibilité à des accidents de réactivité. Lors de la réunion d'experts, la discussion n'a cependant pas abordé l'efficacité de ces mesures ni de possibles autres points faibles des réacteurs RBMK-1000. L'argument le plus convaincant en faveur d'améliorations réelles de la sécurité dans les centrales nucléaires soviétiques est sans doute l'intérêt des responsables eux-mêmes à éviter à l'avenir, par tous les moyens, de semblables accidents. Rappelons à ce propos qu'une centrale comprenant quatre réacteurs du type RBMK-1000 est en service à 40 km de Leningrad.

La possibilité que des accidents comparables se produisent en Suisse est évaluée dans l'appendice 1, tandis que les conséquences éventuelles de la catastrophe de Tchernobyl pour les réacteurs suisses figurent dans l'appendice 2.

TABLEAU

	RBMK-1000	Leibstadt
<b>Puissance:</b>		
thermique	3200 MW	3138 MW
électrique nette	950 MW	990 MW
<b>Coeur du réacteur:</b>		
combustible	oxyde d'uranium UO <sub>2</sub>	oxyde d'uranium UO <sub>2</sub>
modérateur	graphite	eau
caloporteur	eau bouillante	eau bouillante
tubes de gainage	zirконium d = 13,6 mm	zirконium d = 12,3
diamètre	11,8 m	4,4 m
hauteur	7,0 m	3,8 m
<b>Circuit primaire:</b>		
éléments combustibles à l'intérieur de	1661 tubes de force d = 88 mm, s = 4 mm	1 cuve de pression d = 6,34 m, s = 144 mm
séparateurs eau/vapeur	4 cylindres, d = 2,8 m l = 31 m	dans cuve de pression
pompes de circulation	8	2
<b>Confinement:</b>	entoure des parties du coeur et du circuit primaire	entoure tout le coeur et le circuit pri- maire, confinement double
<b>Arrêt rapide:</b>		
temps d'introduction environ	10 sec	1 sec
<b>Coefficient de réactivité des bulles de vapeur</b>	positif	négatif

d = diamètre  
s = épaisseur paroi

Quelques caractéristiques du réacteur RBMK-1000  
Comparaison avec le réacteur de Leibstadt

APPENDICE 1Un accident comparable pourrait-il se produire en Suisse ?

Dans les centrales nucléaires suisses, le personnel d'exploitation dans la salle de commande ne peut ni bloquer, ni ponter le système d'arrêt d'urgence. Il est vrai que le personnel d'entretien peut intervenir dans ce système, mais il n'est autorisé à le faire qu'à des fins de contrôle ou de réparation, et sans jamais en entraver le fonctionnement. Dans tous les cas, une telle intervention exige une prescription de test ou une autorisation de travail, l'une et l'autre formulées par écrit. Les valeurs de consigne (limites) du système de protection du réacteur ainsi que sa disponibilité font l'objet de prescriptions soumises à vérification par l'autorité de surveillance. Les prescriptions ne peuvent être modifiées qu'avec l'approbation de cette même autorité.

S'il se produisait malgré tout un dérangement doublé d'une panne du système d'arrêt d'urgence, les réacteurs à eau bouillante ou à eau sous pression exploités en Suisse parviendraient encore à un état stable et sûr grâce à leurs propriétés physiques et aux soupapes de sécurité dont ils sont équipés. Cet état stable peut être maintenu jusqu'à ce qu'un arrêt d'urgence soit déclenché manuellement ou que le second système d'arrêt dont est dotée chaque installation amène le réacteur à l'état sous-critique. Un accident de réactivité impossible à maîtriser, du genre de celui de Tchernobyl, peut être exclu.

Si, pour des raisons quelconques, le coeur du réacteur d'une centrale nucléaire helvétique devait être gravement endommagé, voire détruit par fusion, la radioactivité se heurterait aux barrières supplémentaires que constituent une massive cuve de pression et la double enceinte de confinement. Ces structures empêcheraient, ou du moins retarderaient et réduiraient le rejet de substances radioactives. On en a eu la preuve en 1979 lors de l'accident de Three Mile Island, où seule une quantité minime de radioactivité s'était échappée, malgré de très graves dégâts au coeur.

APPENDICE 2

## PROTOKOLL

Enseignements à tirer de la réunion pour les  
centrales nucléaires suisses

Etant donné la différence de types de réacteurs, il ne faut pas s'attendre à des enseignements utilisables directement. La catastrophe de Tchernobyl incitera cependant à accélérer et peut-être à renforcer les activités des autorités suisses de sécurité dans le domaine des accidents graves (dommages au coeur du réacteur ou sa fusion). Des travaux préparatoires étaient déjà en cours, de concert avec ce qui se fait dans d'autres pays et dans les organisations internationales. Ils sont consacrés aux problèmes suivants:

- Analyse de sécurité des centrales nucléaires existantes dans l'optique d'un accident grave (analyse de risques, termes-sources envisageables)
- Possibilité de réaliser des types de réacteurs plus sûrs
- Nécessité et possibilité d'apporter des améliorations techniques aux centrales nucléaires existantes, en particulier à leur confinement
- Formation et qualification du personnel, questions d'organisation
- Mesures de protection en cas d'urgence, délimitation des zones correspondantes
- Engagement et capacité des autorités de surveillance

Les enseignements à tirer de Tchernobyl seront pris en compte dans ces études et dans les mesures qui en découleront.