

AECL-7772

ATOMIC ENERGY
OF CANADA LIMITED



L'ÉNERGIE ATOMIQUE
DU CANADA LIMITÉE

THE STATUS OF SAFEGUARDING 600 MW(e) CANDU REACTORS

**La situation du système de garanties nucléaires pour
les réacteurs CANDU de 600 MW(e)**

**A. von BAECKMANN, D.E. RUNDQUIST, V. PUSHKARJOV, R.M. SMITH,
C.W. ZARECKI, R.M. DUNCAN and J.G. HODGKINSON**

Report IAEA -CN-42/148 presented at the IAEA International Conference on
Nuclear Power Experience, Vienna, 13-17 September 1982

(Egalement disponible en français sous le numéro AECL-7772F)

Chalk River Nuclear Laboratories

Laboratoires nucléaires de Chalk River

Chalk River, Ontario

September 1982 septembrie

The papers presented by Canada are reproduced with permission of the International Atomic Energy Agency and the authors. They include:

IAEA-CN-42/36	AECL-7761	IAEA-CN-42/145	AECL-7767
IAEA-CN-42/68	AECL-7762	IAEA-CN-42/146	AECL-7768
IAEA-CN-42/141	AECL-7763	IAEA-CN-42/147	AECL-7769
IAEA-CN-42/91	AECL-7764	IAEA-CN-42/28	AECL-7770
IAEA-CN-42/142	AECL-7765	IAEA-CN-42/47	AECL-7771
IAEA-CN-42/143	AECL-7766	IAEA-CN-42/148	AECL-7772

ATOMIC ENERGY OF CANADA LIMITED

THE STATUS OF SAFEGUARDING 600 MW(e) CANDU REACTORS

A. von Baeckmann, D.E. Rundquist and V. Pushkarjov
International Atomic Energy Agency
Vienna, Austria

R.M. Smith and C.W. Zarecki
Atomic Energy of Canada Limited Research Company
Whiteshell Nuclear Research Establishment
Pinawa, Manitoba
Canada

R.M. Duncan and J.G. Hodgkinson
Atomic Energy Control Board
Ottawa, Ontario
Canada

Report IAEA-CN-42/148 presented at the IAEA International Conference on
Nuclear Power Experience, Vienna, 13-17 September 1982.

(Egalement disponible en français sous le numéro AECL-7772F)

Chalk River Nuclear Laboratories
Chalk River, Ontario
September 1982

AECL-7772

L'ENERGIE ATOMIQUE DU CANADA LIMITEE

LA SITUATION DU SYSTEME DE GARANTIES NUCLEAIRES
POUR LES REACTEURS CANDU DE 600 MW(e)

par

A. von Baeckmann, D.E. Rundquist, V. Pushkarjov,
R.M. Smith, C.W. Zarecki, R.M. Duncan et J.G. Hodgkinson

RESUME

Cette communication donne les grandes lignes du système de garanties nucléaires pour les réacteurs CANDU de 600 MW(e) (CANada Deutérium Uranium) et se concentre surtout sur les quatre dernières années. Elle étudie des facteurs tels que la faculté de détecter des anomalies indiquant un détournement possible, et la rentabilité tout en gardant à l'esprit les objectifs de l'AIEA. Elle discute la mise en service et l'exploitation prochaine du système dans les réacteurs CANDU de 600 MW(e) et considère les développements futurs.

On avait conçu en 1977 un système de garanties nucléaires CANDU dont certaines parties du matériel avaient été éprouvés à la centrale nucléaire de Douglas Point. Depuis lors, on a consacré d'importants travaux à l'amélioration du système et à sa mise en application dans diverses centrales CANDU. Ces travaux recouvrent:

- 1) les analyses par méthode du chemin critique des détournements pour une centrale donnée,
- 2) modification du système afin qu'il convienne à chaque centrale, individuellement,
- 3) développement et fabrication de l'équipement, et
- 4) installation et essais de l'équipement.

On installe actuellement l'équipement du système des garanties nucléaires dans quatre centrales CANDU de 600 MW(e) en construction (au Québec et au Nouveau-Brunswick, au Canada, et en Argentine et en Corée) si bien que l'ensemble du système sera bientôt essayé dans des conditions d'exploitation. Ceci constituera le premier système de garanties nucléaires complet installé sur des réacteurs rechargés pendant la marche.

(Egalement disponible en français sous le numéro AECL-7772F)

Laboratoires nucléaires de Chalk River
Chalk River, Ontario
1982 septembre

AECL-7772

THE STATUS OF SAFEGUARDING 600 MW(e) CANDU REACTORS

ABSTRACT

This paper outlines developments in safeguarding 600 MW(e) CANDU (CANada Deuterium Uranium) reactors, with emphasis on the last five years. It addresses such factors as ability to detect anomalies indicative of possible diversion, and cost effectiveness while keeping IAEA objectives in mind. The upcoming commissioning and operation of the system in 600 MW(e) CANDU reactors is discussed and future development is considered.

By 1977, a CANDU Safeguards System had been conceived, and parts of the system hardware were being demonstrated at the Douglas Point Nuclear Generating Station in Canada. Since 1977, extensive work has been done to refine the system, and to implement it at the various CANDU stations. Work done includes:

- 1) performance of diversion path analysis at individual stations,
- 2) modification of the system to suit individual stations,
- 3) development and manufacture of equipment, and
- 4) installation and testing of equipment.

Presently, safeguards equipment is being installed in the four 600 MW(e) CANDU reactors under construction, (in the Canadian provinces of Quebec and New Brunswick and in Korea and Argentina), so that the entire system will shortly be tested under operating conditions. This will be the first comprehensive safeguards system for on-power fuelled reactors.

1. INTRODUCTION

At the May 1977 Salzburg Conference on Nuclear Power and its Fuel Cycle, a paper was presented entitled "Safeguarding On-Power Fuelled Reactors-Instrumentation and Techniques" [1]. This paper described the instrumentation and techniques considered necessary for safeguarding CANada Uranium Deuterium (CANDU) reactors and described a test program being carried out at the Douglas Point Nuclear Generating Station (NGS) in Ontario, Canada. This program consisted of a diversion path analysis, development of a safeguards approach, followed by development of prototype equipment and, finally, the testing of the concept and the equipment at the generating station.

The test program at the Douglas Point NGS indicated that certain equipment and approach concepts were realistic but also that the equipment did not have the reliability or, in some cases, a sufficient level of development to provide safeguards to the level required by the IAEA.

In 1978, an equipment development program was begun as part of the Canadian Safeguards Support Program to the IAEA and safeguards approaches were developed firstly for the 600 MW(e) CANDU reactors (Fig. 1) and later for the other CANDUs such as the Pickering and Bruce multi-unit stations.

During the last five years, Canadian safeguards staff, in collaboration with the IAEA, have developed the equipment necessary for the 600 MW(e) CANDU safeguards approach and are proceeding with the development of equipment needed for other CANDU stations. The equipment has been, or is being, installed in the four 600 MW(e) stations, Gentilly 2 and Point Lepreau in Canada, Wolsung in Korea and Embalse in Argentina. The installation, commissioning and testing program is being carried out jointly by Canada and the IAEA. The IAEA is now obtaining experience with this safeguards equipment.

The extent of the work in concept development and equipment development, manufacture and testing was significant. Close collaboration between the IAEA and Canada has also been required.

The Canadian group working on the development of CANDU safeguards approaches and equipment has grown to approximately 20 in number and has a similar number of contract staff. Both the IAEA Division of Development and Technical Support and Canada have expended considerable manpower and funds on this program. Initially, the emphasis was on defining the safeguards approach; then subsequently on the development and testing of prototype pieces of equipment and ensuring that the system will provide effective safeguards. As a result, the comprehensive safeguards approach, equipment and techniques that have been developed, are expected to be among the most comprehensive that are now available.

The work of the Canadian and IAEA development personnel is diminishing in the case of the 600 MW(e) stations and the operations groups are becoming more involved. System

availability, reliability, effectiveness, and maintenance requirements are currently being assessed.

A detailed description of the work that has been done in the last five years on the 600 MW(e) reactors follows.

2. CANDU 600 MW(e) SAFEGUARDS

The safeguards approach for CANDU 600 MW(e) reactors employs television surveillance systems, photo-surveillance cameras, radiation "yes-no" monitors that record any high radiation fields, counters for spent fuel bundles, an attribute verifier for spent fuel, and spent fuel sealing equipment. The equipment location is shown in Fig. 2 and the functions of the equipment are described below.

The spent-fuel, transfer-surveillance area encompasses the route taken by the irradiated fuel during transfer from the reactor core to the bays. A television surveillance system is used to observe all movements of the fuelling machines in the fuelling-machine rooms and fuelling-machine maintenance locks. Two television cameras are on top of removable assemblies located in emergency access openings in the floor of the south and north fuelling machine rooms, and similar arrangements are provided for a second pair of cameras in the south and north fuelling machine maintenance locks. For maintenance or repair work, the cameras can be removed through the emergency access floor plugs from accessible rooms located in the basement of the reactor building.

The television control unit, located in the service building, consists of: motion detection systems, floppy-disc video-recorders, video-cassette recorders, system control micro-processor, television monitor and an array of tamper-indicating and fault-indicating devices. This arrangement permits free access to the unit by the inspectors and also enables them to have uninterrupted observation of the recorded events. This control unit records pictures taken in the spent-fuel transfer area as well as pictures from cameras in the spent-fuel storage area. Each picture taken has recorded on it, the date, time and camera number.

Two film cameras provide the necessary coverage in the new fuel area. Both fuelling-machine transfer doors are viewed. A radiation sensor can be used to trigger the cameras to minimize the number of pictures taken.

Another film camera, equipped with a motion sensor, is positioned above the exit from the spent-fuel discharge room to provide surveillance of a number of openings in the walls (such as ventilation vents and an access door).

"Yes-no" monitors, placed on each of the new fuel and service ports, ensure that radioactive irradiated fuel does not pass through these ports (quite an abnormal procedure) without being

detected. These monitors are small thermoluminescent glass dosimeters secured with standard IAEA seals.

Bundle counters near the top of each of the two discharge elevators monitor the movement of irradiated fuel between the reactor and the storage bay. They consist of processing/logic electronics with power supply in a tamper-indicating package. Several Geiger tubes spaced to differentiate between single and double-bundle transfers are positioned so as to be direction-sensitive. Thus they are able to record the number of bundles passing the measurement point, the direction of the movement, and the time of the transfer. This fuel flow information is used to verify inventory records for the core and the spent-fuel bay.

The electronics packages for the bundle counter are located above the spent-fuel transfer room, which is an area with good accessibility. Eight penetrations of the ceiling (which is more than one metre thick) are provided to permit positioning of the Geiger tubes close to the spent-fuel ports. The necessary collimation and shielding was designed to comply with reactor containment specifications, operational safety requirements, and other criteria appropriate to nuclear power stations.

Surveillance of the three compartments of the spent-fuel bay is provided by a system using five cameras. The complicated topography of the bay dictates the location of two closed-circuit television cameras (CCTV) in the receiving bay, two CCTV cameras in the main bay, and in some cases one film camera in the defective fuel bay. These cameras are positioned to observe the water surface, access doors, and other above-surface wall openings.

Radiation "yes-no" monitors applied to the water purification piping system would detect and record removal of irradiated nuclear material from the bay through this route. Ready access to these monitors for checking and/or replacement is achieved by attaching them to the above-water portion of the system.

A "bundle verifier", which verifies that each fuel bundle in a loaded tray has been irradiated in the reactor, will be available in the main storage bay. The verifier is an ultraviolet, light-sensitive, viewing device that allows the inspector to view the Cerenkov glow produced by irradiated fuel bundles.

Tamper-indicating, spent fuel sealing units are used to enclose a stack of trays of spent fuel; ultrasonic seals, verifiable in-situ under water, are used to seal a cover onto this stack of trays. This containment enables the inspector to seal 864 irradiated bundles into a single unit. This of course greatly simplifies inventory taking.

A brief description of some of the equipment developed for use in the approach is as follows:

2.1 Film camera

The CANDU film surveillance camera was developed by Atomic Energy of Canada Limited (AECL) Engineering Company and produced by G. Kelk Ltd., a Canadian engineering firm. It uses a Minolta Super 8 camera as the heart of the system and includes as peripheral features: a date and time display on each frame, a choice of random or fixed interval time triggers, and either a motion-detection trigger or a gamma-radiation field trigger. The decision to develop this camera was taken because the models available to the IAEA did not have these very useful features.

2.2 Closed-circuit television (CCTV)

The CANDU 600 MW(e) approach calls for surveillance in the reactor vaults, the fuelling-machine rooms, and the storage bay. The first two of these areas present significant difficulties because of high radiation fields and inaccessibility during reactor operation. Other requirements are a high-capacity picture storage, on-the-spot review capability, high system reliability, and high tamper-resistance.

To meet these requirements, the CCTV system was developed and produced by the Canadian firm, Conspec Ltd., working under the direction of the AECL Engineering Company.

High reliability is achieved by using a micro-computer to monitor each function or subsystem. When a failure is detected, the micro-computer can either switch to a back-up component or by-pass the function, as required. There is a back-up unit available for each type of equipment in the system, including the disc recorders, the video-tape recorders, the motion-detectors and the micro-computer. The only exceptions are the video-cameras where the necessary reliability is obtained by using high quality units and preventive maintenance.

Difficulties with high radiation fields are overcome by using radiation-resistant cameras containing the minimum number of electronic components. Wherever possible, electronics and control functions are removed from the camera and placed in the central control station.

The system is capable of recording 100,000 pictures (frames) between inspection visits, and these can be reviewed in-situ at the central control station by the inspector. Alternatively, the videotape can be removed and returned to Vienna for review.

Among the reasons for developing the CCTV system was improvement in reliability over those systems in use at the time by the IAEA. Also, resistance to the high radiation level in CANDU 600 MW(e) reactor application had to be taken into account.

2.3 Bundle counter

The CANDU 600 MW(e) bundle counter was developed and produced at the Chalk River Nuclear Laboratories of the AECL Research Company. The counting is accomplished by Geiger tubes located near the fuel flow path close to the point where the fuel bundles are discharged from the core. Signals from these tubes are taken to a remote electronics package, located in an area which is accessible even when the reactor is at power. The electronics package includes logic functions which analyse the signals from the Geiger tubes (i.e. duration of signals and order of appearance) and determine the number of bundles transferred, the direction of transfer and whether the transfer is normal. This information is recorded along with the date and time of the transfer. Using this log, the IAEA inspector can independently verify the operator's fuelling records. A small "watch-dog" source of radiation is placed near each Geiger tube to enable the condition of the connecting cables and the Geiger tubes to be monitored continuously.

2.4 Cerenkov verifier

A system being developed by the AECL Research Company, views the Cerenkov glow emanating from irradiated fuel bundles. Bundles that do not have the characteristic glow will be identified as dummies or substitutes. The system consists of a light pipe or collimator extending below the water surface to cut out any extraneous building lighting. This collimator is connected to an ultraviolet-sensitive, night-viewing device which is in turn connected to a camera. The system is designed to be capable of operating under normal building lighting conditions.

2.5 Containment-sealing equipment

As indicated above, the sealing of irradiated fuel in-place in the storage bay is an important part of the safeguards approach. The stack of trays itself forms a containment shell and a rod, fixed to the bottom of the stack and reaching up to a cover placed on top of the stack, is used to lock the stack together to prevent the removal of fuel bundles. A seal can be applied to ensure the integrity of the containment shell.

The seal is capable of being applied and verified underwater at depths of about four metres. (The top bundles in the stack are stored under this depth of water.) The seal developed for this task, a cap-and-stud type containing an ultrasonically-readable

zone, was developed by the AECL Engineering Company in cooperation with the Joint Research Centre of the Commission of the European Communities at Ispra, Italy and with the Sandia Laboratories, U.S.A. The seal has relative ease of application, and a verification of its identity includes verification of its integrity.

All of the safeguards devices described above are tamper-indicating, i.e. they are designed to indicate any attempt to change their parameters. In addition, they are designed to minimize interference with the operation of the facility.

Operating experience is being gained from the 600 MW(e) safeguards system presently installed in the Canadian 600 MW(e) units and work is continuing on the application of such of this equipment to multi-unit CANDU stations and other reactors.

The IAEA and Canada are presently in the process of developing maintenance and spare parts procedures to overcome difficulties inherent in maintaining these sophisticated pieces of equipment.

Experience gained in commissioning the safeguards equipment for CANDU 600 MW(e) NGSs will prove valuable in the future stations. A complete program has been developed that covers the IAEA and utility needs with respect to the installation, testing and commissioning of the equipment.

3. ADVANTAGES OF THE COMPREHENSIVE 600 MW(e) CANDU APPROACH

The CANDU safeguards approach, equipment and operation include, and are based in many respects, on the similar elements that are in operation for other reactor facilities subject to IAEA safeguards, e.g. Light Water Reactor facilities. CANDU safeguards include: containment/surveillance by seals, surveillance by cameras, and item accounting. These techniques and equipment have been employed for many years in other reactor facilities. These improved safeguards techniques and equipment developed for implementation in CANDU 600 MW(e) stations are expected to provide greater reliability and a higher level of assurance in detecting anomalies (which might indicate possible diversion of nuclear material) than those which have been achieved in the past.

600 MW(e) CANDU safeguards represent an advance on earlier safeguards approaches and equipment in the following respects:

3.1 Safeguards approaches

At the start of this present development, the CANDU facilities were carefully examined to determine the potential for

diversion and how safeguards could be best employed. Diversion path analyses were prepared for several variants of CANDU reactor, including the 600 MW(e) NGS. The IAEA, in close collaboration with Canadian design engineers and safeguards technical staff, developed approaches and concepts that would provide more effective safeguards. The equipment was then developed with operational characteristics to meet the requirements of the approach.

3.2 Instrumented item accounting

One of the most important advances is the presence of the spent fuel bundle counter. Safeguards applied operationally to other reactor facilities have employed containment and surveillance, but rely upon manual counting by the inspectors to determine the quantity of fuel elements removed from the reactor. The IAEA verification activities are also dependent upon this manual counting. CANDU safeguards approaches incorporate a counter to monitor continually the fuel path from the reactor to the irradiated fuel storage bays; this determines the number of bundles removed from the reactor and placed in storage. Automated counting is continually in operation and is not dependent upon the presence of the inspector when the fuel is removed. When the inspector visits the facility, the bundle counter provides data on the number of fuel bundles removed from the reactor since the last visit.

3.3 Reliability

The safeguards equipment was designed to provide a high level of reliability. IAEA experience has shown that some equipment (e.g., CCTV) developed for the commercial market is not reliable enough when used in a nuclear-material safeguards environment and depends on the inspector to observe failure and to initiate corrective action. Continuous monitoring of the equipment by the inspectors is neither practicable nor desirable in safeguarded nuclear facilities where there may be long periods between visits of the inspector. Equipment was needed that would operate more reliably, without monitoring, during the inspector's absence. The CANDU safeguards equipment was therefore developed to meet very high standards of reliability that are not provided in their commercial counterparts. Assessment of the actual reliability of the CANDU safeguards equipment under operating conditions can be determined only after extensive periods of operation in the reactor facilities. It is expected that the IAEA will have a high level of assurance that all the unattended equipment will operate satisfactorily for three months. (This is the planned period between inspectors' visits to a facility.) Careful choice of back-up measures and equipment redundancies will permit the reduction of physical inventory taking to a minimal level.

3.4 Redundancy

Safeguards equipment does not directly indicate diversion of nuclear material. Equipment such as seals, cameras and counters can only report anomalies, i.e., events that might be associated with diversion. These anomalies may be the result of the safeguards equipment failing to operate due to accidental disconnection, accidental breaking of sealed containers or other conditions that may be expected to occur sometimes under normal operating conditions. If the inspector is entirely dependent upon one item of safeguards equipment to provide assurance that diversion has not occurred at the facility, he may be forced to take a physical inventory of the nuclear material, should this equipment fail in his absence. This physical inventory could be a very time-consuming and expensive activity and would be very intrusive to the facility operator. The CANDU 600 MW(e) safeguards approach is not dependent upon the operation of any one unit of equipment. If, for any cause, one unit should fail, there is other equipment incorporated into the total approach that can indicate to the inspector whether diversion might have occurred in his absence. For example, if one of the seals on the spent fuel containment shell is damaged, there is a second seal on the same containment that can provide assurance that the integrity has not been violated. If both seals have been broken, the surveillance cameras can provide assurance that there have not been operations that might be associated with the removal of nuclear fuel. Other examples of redundancy in the CANDU 600 MW(e) safeguards approach are:

- 1) Bundle counters are backed-up by a physical count of the fuel bundles placed in the irradiated fuel storage bays since the previous inspection. This count would normally coincide with the stated number of new fuel bundles placed in the reactor since the previous visit.
- 2) CCTV viewing of the reactor face is backed up by "yes-no" monitors along some abnormal exit routes.

Hence, in the event of the failure of one unit of equipment or indecisive information, the inspector can check other units for verification that activities have not occurred that might indicate diversion. In most cases involving equipment problems, the inspector would not be required to undertake the major task of taking a physical inventory, which would be difficult and time-consuming for both the inspector and the facility operator.

4. FUTURE DEVELOPMENT

IAEA safeguards are steadily evolving and it is to be expected that, with further research and development and with operating experience, the effectiveness of safeguards will be further improved. There is always potential for improvement in the future and the IAEA, with assistance from the Canadian Safeguards Support Program, is continuing its efforts for improved safeguards for CANDU facilities. Developments that should further

improve the reliability of safeguards equipment, reduce costs and inspection time include:

- 1) techniques to enable surveillance film cameras to be used in areas where there are high levels of radiation,
- 2) modification of film camera circuitry to accommodate two redundant cameras within each unit,
- 3) improved ultrasonic seals for underwater application and readout,
- 4) techniques and equipment for determination of the number of bundles contained within the reactor core, and
- 5) techniques to allow normal facility operating data to be used for the application of safeguards.

5. COSTS

The costs of developing CANDU safeguards approaches and equipment have not been insignificant and have been borne by the IAEA and the Canadian Safeguards Support Program. In the past four years, over 12 M\$ (Cdn) has been contributed by Canada to this support program and the expenditures for this year will be about \$3.5 M\$ (Cdn). Most of these costs have resulted from the development and production of the safeguards equipment.

In order to provide the high level of reliability and completeness of information required for the effective application of IAEA safeguards, we have selected and developed high quality equipment. The cost of this equipment is substantial; however, for a 600 MW(e) NGS it represents only approximately 0.1 percent of the total cost of the generating station. A detailed breakdown of the costs of the equipment and its installation in a 600 MW(e) NGS is shown in Table I.

6. CONCLUSION

There has been extensive work in the development of CANDU safeguards since the last International Conference on Nuclear Power and this has resulted in the development and installation of improved equipment in the safeguards system now being installed in the 600 MW(e) CANDU NGS. The overall system is designed to improve the existing IAEA safeguards and to provide adequate coverage for each plausible, nuclear-material, diversion route. There is sufficient sensitivity and redundancy to enable the timely detection of possible diversion of a safeguards-significant quantity of nuclear material.

REFERENCES

- [1] WALIGURA, A., KONNOV, Y., SMITH, R.M., HEAD, D.A.,
HODGKINSON, J., Safeguarding On-Power Fuelled Reactors -
Instrumentation and Techniques, IAEA Int. Conf. on Nuclear
Power and Its Fuel Cycle, Salzburg (1977), also Atomic Energy
of Canada Limited Rep. AECL-5712 (1977).

EQUIPMENT	NUMBER	PRODUCTION COSTS (k\$(US))	INSTALLATION COSTS ^a (k\$(US))	TOTAL
Bundle Counters	2 ^b	100	250	
Film Cameras	3	30		
CCTV	1 ^c	285		
Fuel Verifier	1	65		
Containment Seals & Seal Verifiers	d	48		
Yes/No Monitors		2		
TOTALS		530	250	780

TABLE I SAFEGUARDS EQUIPMENT COSTS FOR A 600 MW(e) NGS

^aCosts include brackets, penetrations, wiring, lighting, etc. necessary for the installation and operation of the safeguards equipment.

^bComprises the Geiger tubes, collimators and electronic counting and readout equipment.

^cComprises eight cameras that are located in the reactor vault and spent fuel bay and the control unit that contains power supply, motion detection, tamper indication and recording components.

^dComprises the equipment for application of seals, equipment for initial measurement and verification of seals, and sufficient seals, rods and covers to contain two years output of fuel bundles from the reactor. Subsequently there will be a continuing cost of approximately 25 k\$(US)/year for the containment of fuel bundles as they are removed from the reactor.



FIG. 1 POINT LEPREAU 600 MW(e) CANDU UNDER CONSTRUCTION

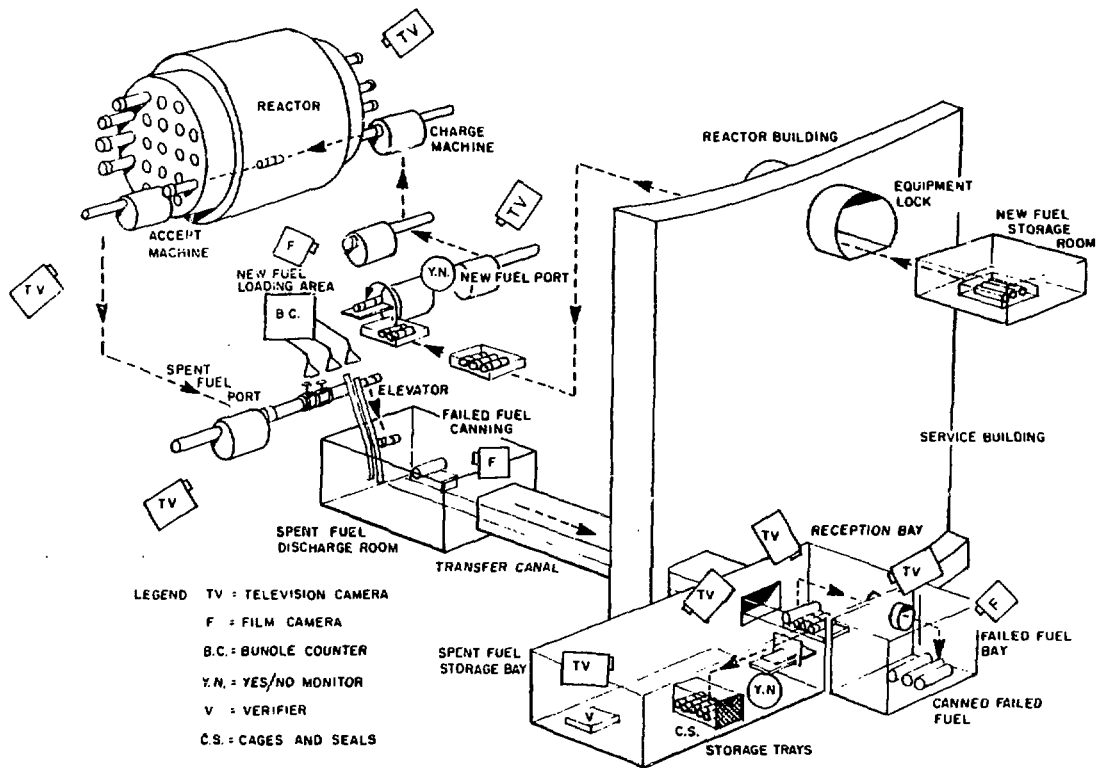


FIG. 2 LOCATION OF SAFEGUARDS INSTRUMENTATION

ISSN 0067 - 0367

**To identify individual documents in the series
we have assigned an AECL- number to each.**

**Please refer to the AECL- number when re-
questing additional copies of this document**

from

**Scientific Document Distribution Office
Atomic Energy of Canada Limited
Chalk River, Ontario, Canada
K0J 1J0**

Price \$2.00 per copy

ISSN 0067 - 0367

**Pour identifier les rapports individuels faisant
partie de cette série nous avons assigné
un numéro AECL- à chacun.**

**Veillez faire mention du numéro AECL- si
vous demandez d'autres exemplaires de ce
rapport**

au

**Service de Distribution des Documents Officiels
L'Énergie Atomique du Canada Limitée
Chalk River, Ontario, Canada
K0J 1J0**

Prix \$2.00 par exemplaire

AECL-7772F

ATOMIC ENERGY
OF CANADA LIMITED



L'ÉNERGIE ATOMIQUE
DU CANADA LIMITÉE

**LA SITUATION DU SYSTÈME DE GARANTIES NUCLÉAIRES
POUR LES RÉACTEURS CANDU DE 600 MW(e)**

The Status of Safeguarding 600 MW(e) CANDU Reactors

**A. von BAECKMANN, D.E. RUNDQUIST, V. PUSHKARJOV, R.M. SMITH,
C.W. ZARECKI, R.M. DUNCAN et J.G. HODGKINSON**

Rapport IAEA-CN-42/148 présenté à la Conférence internationale de l'AIEA sur l'expérience avec
l'énergie nucléaire, à Vienne, les 13-17 septembre 1982.

(Also obtainable in English as AECL-7772)

Chalk River Nuclear Laboratories

Laboratoires nucléaires de Chalk River

Chalk River, Ontario

September 1982 septembre

Les rapports présentés par le Canada sont reproduits avec la permission de l'Agence internationale de l'énergie atomique et les auteurs. Ils comprennent :

IAEA-CN-42/36	AECL-7761F	IAEA-CN-42/145	AECL-7767F
IAEA-CN-42/68	AECL-7762F	IAEA-CN-42/146	AECL-7768F
IAEA-CN-42/141	AECL-7763F	IAEA-CN-42/147	AECL-7769F
IAEA-CN-42/91	AECL-7764F	IAEA-CN-42/28	AECL-7770F
IAEA-CN-42/142	AECL-7765F	IAEA-CN-42/47	AECL-7771F
IAEA-CN-42/143	AECL-7766F	IAEA-CN-42/148	AECL-7772F

L'ENERGIE ATOMIQUE DU CANADA LIMITEE

LA SITUATION DU SYSTEME DE GARANTIES NUCLEAIRES
POUR LES REACTEURS CANDU DE 600 MW(e)

A. von Baeckmann, D.E. Rundquist et V. Pushkarjov
Agence internationale pour l'énergie nucléaire
Vienne, Autriche

R.M. Smith et C.W. Zarecki
L'Energie Atomique du Canada, Limitée, Société de recherche
Etablissement de recherches nucléaires de Whiteshell
Pinawa, Manitoba
Canada

R.M. Duncan et J.G. Hodgkinson
Commission de contrôle de l'énergie atomique
Ottawa, Ontario
Canada

Rapport IAEA-CN-42/148 présenté à la Conférence internationale de l'AIEA sur
sur l'expérience avec l'énergie nucléaire, à Vienne, les 13-17 septembre 1982.

(Also obtainable in English as AECL-7772)

Laboratoires nucléaires de Chalk River
Chalk River, Ontario
1982 septembre

AECL-7772F

ATOMIC ENERGY OF CANADA LIMITED

THE STATUS OF SAFEGUARDING 600 MW(e) CANDU REACTORS

by

A. von Baeckmann, D.E. Rundquist, V. Pushkarjov,
R.M. Smith, C.W. Zarecki, R.M. Duncan and J.G. Hodgkinson

ABSTRACT

This paper outlines developments in safeguarding 600 MW(e) CANDU (CANada Deuterium Uranium) reactors, with emphasis on the last five years. It addresses such factors as ability to detect anomalies indicative of possible diversion, and cost effectiveness while keeping IAEA objectives in mind. The upcoming commissioning and operation of the system in 600 MW(e) CANDU reactors is discussed and future development is considered.

By 1977, a CANDU Safeguards System had been conceived, and parts of the system hardware were being demonstrated at the Douglas Point Nuclear Generating Station in Canada. Since 1977, extensive work has been done to refine the system, and to implement it at the various CANDU stations. Work done includes:

- 1) performance of diversion path analysis at individual stations,
- 2) modification of the system to suit individual stations,
- 3) development and manufacture of equipment, and
- 4) installation and testing of equipment.

Presently, safeguards equipment is being installed in the four 600 MW(e) CANDU reactors under construction (in the Canadian provinces of Quebec and New Brunswick and in Korea and Argentina), so that the entire system will shortly be tested under operating conditions. This will be the first comprehensive safeguards system for on-power fuelled reactors.

(Also obtainable in English as AECL-7772)

Chalk River Nuclear Laboratories
Chalk River, Ontario
1982 September

AECL-7772F

LA SITUATION DU SYSTEME DE GARANTIES NUCLEAIRES
POUR LES REACTEURS CANDU DE 600 MW(e)

RESUME

Cette communication donne les grandes lignes du système de garanties nucléaires pour les réacteurs CANDU de 600 MW(e) (CANada Deutérium Uranium) et se concentre surtout sur les quatre dernières années. Elle étudie des facteurs tels que la faculté de détecter des anomalies indiquant un détournement possible, et la rentabilité tout en gardant à l'esprit les objectifs de l'AIEA. Elle discute la mise en service et l'exploitation prochaine du système dans les réacteurs CANDU de 600 MW(e) et considère les développements futurs.

On avait conçu en 1977 un système de garanties nucléaires CANDU dont certaines parties du matériel avaient été éprouvés à la centrale nucléaire de Douglas Point. Depuis lors, on a consacré d'importants travaux à l'amélioration du système et à sa mise en application dans diverses centrales CANDU. Ces travaux recouvrent:

- 1) les analyses par méthode du chemin critique des détournements pour une centrale donnée,
- 2) modification du système afin qu'il convienne à chaque centrale, individuellement,
- 3) développement et fabrication de l'équipement, et
- 4) installation et essais de l'équipement.

On installe actuellement l'équipement du système des garanties nucléaires dans quatre centrales CANDU de 600 MW(e) en construction (au Québec et au Nouveau-Brunswick, au Canada, et en Argentine et en Corée) si bien que l'ensemble du système sera bientôt essayé dans des conditions d'exploitation. Ceci constituera le premier système de garanties nucléaires complet installé sur des réacteurs rechargés pendant la marche.

1. INTRODUCTION

Une communication intitulée "Techniques et instrumentation pour le système de garanties nucléaires des réacteurs rechargés en marche" [1] fut présentée à la conférence sur l'énergie nucléaire tenue à Salzbourg en mai 1977. Elle décrivait les techniques et l'instrumentation jugées nécessaires pour assurer les garanties nucléaires dans les centrales CANDU (CANada Deutérium Uranium) ainsi qu'un programme d'essais effectué à la centrale nucléaire de Douglas Point en Ontario, au Canada. Ce programme comprenait une analyse par méthode du chemin critique des détournements, le développement d'une méthode des garanties nucléaires, suivi par le développement d'un prototype de l'équipement et, enfin, les essais du concept et de l'équipement à la centrale.

Le programme d'essais à la centrale de Douglas Point révéla que certains concepts d'équipement et de méthode étaient valables mais aussi que l'équipement n'était pas suffisamment fiable ou, dans certains cas, suffisamment développé, pour assurer le niveau de garanties nucléaires exigé par l'AIEA.

En 1978, on lança un programme de développement de l'équipement dans le cadre du programme canadien de soutien des garanties nucléaires de l'AIEA et on développa des méthodes de garanties nucléaires d'abord pour les réacteurs CANDU de 600 MW(e) et, plus tard, pour les autres CANDU tels que les centrales à plusieurs réacteurs de Pickering et de Bruce.

Au cours des cinq dernières années, le personnel canadien préposé aux garanties nucléaires a développé, en collaboration avec l'AIEA, l'équipement nécessaire à la méthode d'application des garanties au CANDU de 600 MW(e) et continue à développer l'équipement requis pour d'autres centrales CANDU. L'équipement a été installé, ou est en cours d'installation, dans les quatre centrales de 600 MW(e), soit Gentilly 2 et Pointe Lepreau au Canada, Wolsung en Corée, et Embalse en Argentine. Le Canada et l'AIEA effectuent ensemble l'installation, la mise en service et les essais et l'AIEA acquiert de l'expérience avec cet équipement de garanties nucléaires.

Les travaux, comme on les a décrit brièvement plus haut et comme on les décrira plus en détail, furent importants. Ils exigèrent également une étroite collaboration entre le Canada et l'AIEA.

Le groupe canadien travaillant sur le développement du plan et de l'équipement des garanties nucléaires CANDU est passé à environ 20 personnes et compte à peu près le même nombre de personnes sous contrat. La division de développement et de soutien technique de l'AIEA et le Canada ont consacré des fonds et des travaux considérables à ce programme. A l'origine, on cherchait surtout à définir la méthode des garanties nucléaires; ensuite, on s'est surtout attaché à développer et à tester les prototypes de diverses parties de l'équipement et à s'assurer que le système fournirait des garanties efficaces. De ce fait, la méthode, l'équipement et les techniques couvrant tous les aspects des garanties nucléaires qui

ont été développés, seront probablement parmi les meilleurs dont on puisse disposer actuellement.

Le personnel de développement de l'AIEA et du Canada effectue maintenant moins de travaux applicables aux centrales de 600 MW(e) et les groupes d'exploitation sont de plus en plus impliqués. On évalue actuellement la disponibilité, la fiabilité, l'efficacité et la maintenance du système.

On trouvera ci-après une description détaillée des travaux effectués au cours des cinq dernières années sur les réacteurs de 600 MW(e).

2. GARANTIES NUCLEAIRES POUR LE CANDU DE 600 MW(e)

La méthode d'application des garanties nucléaires aux réacteurs CANDU de 600 MW(e) utilise des systèmes de surveillance par télévision, des caméras de surveillance-photo, des moniteurs "tout ou rien" du rayonnement enregistrant tous champs de rayonnement élevés, des compteurs de grappes de combustible usé, un vérificateur d'attribut pour le combustible usé, et le matériel de scellement du combustible usé. La figure 1 indique les emplacements de l'équipement et ses fonctions sont décrites ci-après.

La zone de surveillance du transfert du combustible usé couvre la route empruntée par le combustible irradié lors de son transfert du coeur du réacteur aux piscines. On utilise un système de surveillance par télévision pour observer tous les mouvements des machines à combustible dans les salles et les sas de maintenance des machines à combustible. Deux caméras de télévision sont placées au dessus d'ensembles amovibles situés dans les trous d'accès d'urgence pratiqués dans le sol des salles de machines à combustible nord et sud, et une autre paire de caméras est disposée de la même manière dans les sas de maintenance des machines à combustible nord et sud. On peut enlever les caméras, pour entretien et réparation, par les plaques obturant l'accès d'urgence, à partir des salles accessibles situées dans le sous-sol du bâtiment du réacteur.

Le système de contrôle par télévision, situé dans le bâtiment des services, comprend: des systèmes de détection des mouvements, des enregistreurs vidéo sur disque souple, des enregistreurs vidéo sur bande, des micro-processeurs de contrôle du système, des moniteurs de télévision et un réseau de dispositifs de détection de défauts et d'incursions. Cet ensemble permet aux inspecteurs d'accéder librement au système de contrôle et leur permet également d'observer sans interruption les événements enregistrés. Le système de contrôle enregistre les images prises dans la zone de transfert du combustible usé de même que celles prises par les caméras dans la zone de stockage du combustible épuisé. Le numéro de la caméra, l'heure et la date sont enregistrés sur chaque image.

Deux caméras couvrent suffisamment la zone du combustible frais; elles surveillent les portes de transfert des deux machines à combustible. On fait appel à un détecteur de rayonnement pour

déclencher les caméras afin de réduire le nombre des clichés exposés et de simplifier leur étude.

Une autre caméra, munie d'un détecteur de mouvement, est située au-dessus de la sortie de la salle de décharge du combustible usé et surveille les ouvertures pratiquées dans les murs (telles que les portes d'accès et les trous de ventilation).

Des moniteurs "tout ou rien" situés sur tous les postes de service et de combustible neuf, garantissent que le combustible irradié radioactif ne passe pas par ces postes (une procédure bien anormale) sans être détecté. Ces moniteurs sont de petits dosimètres en verre radiophotoluminescent scellés avec le sceau habituel de l'AIEA.

Les compteurs de grappes situés près du sommet de chacun des deux ascenseurs de décharge surveillent le mouvement du combustible irradié entre le réacteur et les piscines de stockage. Ils consistent en systèmes électroniques de traitement/logique dont l'alimentation est renfermée dans une enceinte révélant toute effraction. Plusieurs tubes Geiger, suffisamment espacés pour différencier entre les transferts de grappes simples ou de grappes doubles, sont disposés de façon à être sensibles à la direction du mouvement. Ils peuvent donc enregistrer le nombre de grappes passant par le point de mesure, la direction du mouvement et l'heure du transfert. Ces renseignements sur les mouvements du combustible servent à vérifier les écritures de stock pour le coeur et la piscine de combustible épuisé.

Les ensembles électroniques du compteur de grappes sont situés au-dessus de la salle de transfert du combustible usé, qui est une zone d'accès facile. Huit ouvertures pratiquées dans le plafond (épais de plus d'un mètre) permettent la mise en place des tubes Geiger suffisamment près des postes de combustible usé. On a conçu le blindage et l'alignement nécessaires pour tenir compte des spécifications de confinement du réacteur, des conditions de sûreté opérationnelles et des autres critères appropriés aux centrales nucléaires.

Un système comportant cinq caméras assure la surveillance des trois compartiments de la piscine de combustible usé. La topographie compliquée de cette piscine exige l'emplacement de deux caméras de télévision en circuit fermé dans la piscine de réception, de deux autres caméras de télévision en circuit fermé dans la piscine principale et, dans certains cas, d'une caméra dans la piscine pour combustible défectueux. Ces caméras sont disposées de façon à pouvoir observer la surface de l'eau, les portes d'accès et les autres ouvertures pratiquées dans les murs, au-dessus de la surface de l'eau.

Des moniteurs de radiation "tout ou rien" appliqués contre la tuyauterie de purification de l'eau décèleraient et enregistreraient le prélèvement de matière nucléaire irradiée (tel que des éléments de combustible ou des morceaux de grappes brisées) dans la piscine à travers cette voie. On rend ces moniteurs

faciles à atteindre pour vérification et/ou remplacement en les fixant à la partie émergente du système.

Un "vérificateur de grappes", qui vérifie que les grappes que contient un plateau chargé ont bien été irradiées dans le réacteur, sera disponible dans la piscine de stockage principal. C'est un dispositif visuel sensible à la lumière et aux ultraviolets permettant à l'inspecteur de voir la luminescence d'effet Cerenkov produite par les grappes de combustible irradié.

On utilise des systèmes de scellement du combustible usé, révélant toute effraction pour renfermer une pile de plateaux de stockage de combustible usé; des sceaux ultrasoniques, vérifiables in situ sous l'eau, servent à sceller une couverture sur cette pile de plateaux. Ce système permet à l'inspecteur de sceller 864 grappes irradiées en un seul lot ce qui, bien entendu, simplifie beaucoup l'inventaire.

On trouvera ci-après une rapide description de l'équipement mis au point destiné à ce système:

2.1 Caméra

La caméra de surveillance CANDU a été développée par l'Energie Atomique du Canada, Limitée - Société d'ingénierie (EACL) et produite par G. Kelk Ltd., une société d'ingénierie canadienne. Elle est une caméra Minolta Super 8 dotée d'un certain nombre d'accessoires: enregistrement de la date et de l'heure sur chaque cliché, choix de déclenchement à intervalle fixe ou au hasard, et avec déclenchement par détection des mouvements ou par champ de rayonnement gamma. On a développé cette caméra parce que les modèles dont l'AIEA pouvait disposer ne possédaient pas ces très utiles caractéristiques.

2.2 Télévision en circuit fermé

La méthode CANDU 600 MW(e) demande la surveillance dans l'enceinte du réacteur, les salles de machines à combustible, et la piscine de stockage. Les deux premières de ces zones présentent des difficultés importantes à cause de leurs champs de rayonnement élevés et de leur inaccessibilité lorsque le réacteur est en marche. D'autres conditions à remplir sont une capacité d'enregistrement des images élevées, la possibilité d'examiner les images sur place, une fiabilité du système et une résistance aux effractions élevées.

Conspec Ltd., une société canadienne, a développé et produit le système de télévision en circuit fermé pour satisfaire ces conditions, en travaillant sous la direction de la Société d'ingénierie de l'EACL.

On atteint une fiabilité élevée en faisant appel à un micro-ordinateur pour contrôler chaque fonction ou sous-système. Lorsqu'il détecte une défaillance, le micro-ordinateur peut soit passer à un élément de secours ou shunter la fonction, selon les besoins. Il existe un élément de secours pour chaque type

d'équipement du système, y compris les enregistreurs sur disque, les magnétoscopes, les détecteurs de mouvement et le micro-ordinateur. Les seules exceptions sont les caméras dont la fiabilité est réalisée par utilisation d'appareils de haute qualité et l'exécution d'une maintenance préventive.

On surmonte les difficultés créées par les champs de rayonnement élevés en utilisant des caméras à l'épreuve des rayonnements et contenant le minimum de composants électroniques. Lorsque cela est possible, on enlève les commandes et les parties électroniques des caméras pour les placer au poste de commande central.

Le système peut enregistrer 100 000 images entre deux visites d'inspection consécutives, et les inspecteurs peuvent les examiner sur place au poste de commande central; on peut également enlever la bande magnétoscopique et l'envoyer à Vienne, pour examen.

Une des raisons du développement du système de télévision en circuit fermé était le désir d'améliorer la fiabilité des systèmes alors utilisés par l'AIEA. De plus, il fallait aussi tenir compte de la résistance au niveau élevé de rayonnement dans les applications du réacteur CANDU 600 MW(e).

2.3 Compteur de grappes

Les Laboratoires nucléaires de Chalk River de la Société de recherche de l'EACL, ont développé et fabriqué le compteur de grappes CANDU 600 MW(e). Le comptage s'effectue grâce à des tubes Geiger situés près du parcours du combustible, à proximité du point où les grappes sortent du coeur. Les signaux émis par ces tubes sont transmis à un ensemble électronique situé dans une zone accessible même lorsque le réacteur fonctionne. Cet ensemble électronique comprend des fonctions logiques qui analysent les signaux des tubes Geiger (p. ex.: la durée des signaux et leur ordre d'apparition) et détermine le nombre de grappes transférées, la direction du transfert et si le transfert est normal ou non. Ces renseignements sont enregistrés avec la date et l'heure du transfert. A l'aide de ce journal, les inspecteurs peuvent vérifier indépendamment les registres de rechargement de l'opérateur. Une source de radiation de faible intensité, placée près de chaque tube Geiger, permet de vérifier continuellement l'état des câbles et des tubes Geiger.

2.4 Vérificateur Cerenkov

Un système, développé par la Société de recherche de l'EACL, examine la luminescence par effet Cerenkov émise par les grappes de combustible irradié. Les grappes qui ne dégagent pas cette luminescence caractéristique seront identifiées comme étant des grappes factices ou de substitution. Le système consiste en un tube ou un collimateur plongeant au dessous de la surface de l'eau afin d'éliminer toute éclairage parasite. Le collimateur est relié à un dispositif de vision nocturne, sensible aux ultraviolets, lui-même relié à une caméra. Le système est conçu pour fonctionner avec l'éclairage normal du bâtiment.

2.5 Equipement de scellement-confinement

Comme on l'a déjà dit, le scellement du combustible irradié en place dans la piscine de stockage est un facteur important du plan de garanties nucléaires. La pile de plateaux elle-même forme l'enveloppe de confinement et une tige, fixée à la base de la pile et allant jusqu'au couvercle placé par dessus la pile, sert à verrouiller la pile et à prévenir l'enlèvement de grappes de combustible. On peut fixer un sceau afin de garantir l'intégrité de l'enveloppe de confinement.

On peut appliquer, et le vérifier, ce sceau sous l'eau jusqu'à une profondeur de quatre mètres (profondeur à laquelle se trouvent les grappes supérieures de la pile). Le sceau développé à cette fin, du type tige-capuchon et comportant une zone lisible aux ultra-sons, a été développé par la Société d'ingénierie de l'EACL en collaboration avec le Centre de recherche mixte de la Commission de la communauté européenne à Ispra, en Italie et les Sandia Laboratories, aux États-Unis. Le sceau est assez facile à mettre en place et la vérification de son identité inclut celle de son intégrité.

Tous ces dispositifs de garanties nucléaires décrits ci-dessus révèlent les effractions, c'est-à-dire qu'ils sont conçus pour indiquer tout essai de changement de leurs paramètres. En outre, ils ont été conçus pour gêner le moins possible l'exploitation de l'installation.

Les systèmes de garanties nucléaires pour les réacteurs CANDU 600 MW(e) actuellement installés dans les centrales canadiennes procurent une expérience en exploitation et on poursuit des travaux sur l'application d'une grande proportion de cet équipement aux centrales à plusieurs réacteurs et à d'autres réacteurs.

Le Canada et l'AIEA développent actuellement des procédures pour la maintenance et pour les pièces de rechange afin de surmonter les difficultés inhérentes à l'entretien de ces appareillages complexes.

L'expérience acquise dans la mise en service de l'équipement pour garanties nucléaires des centrales CANDU 600 MW(e) se révélera précieuse pour les centrales futures. On a développé un programme complet couvrant les besoins de l'AIEA et des compagnies d'électricité en ce qui concerne l'installation, les essais et la mise en service de l'équipement.

3. LES AVANTAGES DE LA METHODE COMPLETE CANDU 600 MW(e)

La méthode, l'équipement et l'exploitation utilisés pour les garanties nucléaires CANDU comprennent et reposent, sous bien des aspects, sur les éléments d'autres installations de réacteurs soumises aux garanties nucléaires de l'AIEA, c'est-à-dire les installations de réacteurs à eau légère. Les garanties CANDU comprennent: confinement/surveillance par sceaux, surveillance par caméras, et le comptage. On emploie ces techniques et ces

équipements depuis de nombreuses années dans d'autres installations de réacteurs. On pense que ces techniques et équipements améliorés de garanties nucléaires développés pour être utilisés dans les centrales CANDU 600 MW(e) résulteront en une plus grande fiabilité et un niveau plus élevé d'assurance pour la détection des anomalies (qui peuvent indiquer les détournements possibles de matières nucléaires) que ceux atteints par le passé.

Les garanties nucléaires CANDU 600 MW(e) représentent un progrès par rapport aux méthodes et équipements précédents, des points de vue suivants:

3.1 Méthodes des garanties nucléaires

A l'origine du développement actuel, on a soigneusement étudié les installations CANDU pour déterminer les possibilités de détournements et comment les systèmes de garanties pourraient être utilisés au mieux. On a préparé des analyses par méthode des chemins critiques des détournements pour plusieurs variantes de réacteurs CANDU y compris les centrales de 600 MW(e). L'AIEA, en étroite collaboration avec les ingénieurs d'étude et le personnel technique affecté aux garanties nucléaires, a développé les méthodes et concepts qui produiraient les garanties les plus efficaces. On a incorporé les caractéristiques opérationnelles nécessaires pour satisfaire aux exigences du plan à l'équipement qui a été ensuite développé.

3.2 Comptage automatique des éléments

Un des plus importants progrès est l'utilisation des compteurs de grappes de combustible usé. Les garanties appliquées opérationnellement aux autres installations de réacteurs faisaient appel au confinement et à la surveillance, mais se faisaient au comptage manuel effectué par des inspecteurs pour établir le nombre d'éléments de combustible enlevés du réacteur. Les mesures de vérification de l'AIEA dépendent aussi du comptage manuel. Les méthodes de garanties CANDU comportent un compteur qui surveille en permanence les voies empruntées par le combustible depuis les réacteurs jusqu'aux piscines de stockage de combustible irradié; ceci établit le nombre de grappes enlevées du réacteur et stockées. Le comptage automatique est permanent et ne dépend pas de la présence d'un inspecteur lors de l'enlèvement du combustible. Lorsqu'un inspecteur visite une installation, le compteur de grappes donne le nombre de grappes de combustible enlevées du réacteur depuis la dernière visite.

3.3 Fiabilité

On a conçu l'équipement de garanties afin d'obtenir un niveau élevé de fiabilité. L'expérience de l'AIEA a montré que certains appareils (p. ex. les systèmes de télévision en circuit fermé) conçus pour le marché commercial n'étaient pas assez fiables lorsqu'on les utilisait aux fins de garanties de matières

nucléaires et qu'il incombe à l'opérateur de constater les défaillances et de déclencher les mesures correctives. La surveillance permanente de l'équipement par les opérateurs n'est ni pratique ni souhaitable dans une installation nucléaire lorsque les visites d'inspection peuvent être très espacées. Il fallait des appareils qui fonctionnent de façon plus fiable, sans surveillance, en l'absence des inspecteurs. On a donc développé l'équipement de garanties CANDU devant satisfaire des normes très strictes de fiabilité que n'offrent pas les appareils du commerce. On ne peut évaluer la fiabilité réelle de l'équipement de garanties nucléaires CANDU qu'après de longues périodes de fonctionnement dans les installations de réacteurs. On pense que l'AIEA peut être raisonnablement sûre que tous les appareils fonctionnant sans surveillance se comporteront de façon satisfaisante pendant trois mois (période prévue entre deux visites d'inspection consécutive). Le choix prudent de mesures de secours et la redondance des appareils permet de minimiser la prise d'inventaire manuelle.

3.4 Redondance d'appareillage

Les équipements de garanties nucléaires ne révèlent pas directement les détournements de matières nucléaires. Les équipements tels que les sceaux, les caméras et les compteurs ne peuvent que révéler les anomalies, c'est-à-dire les événements qui pourraient être associés à des détournements. Ces anomalies peuvent résulter de la défaillance de l'équipement du fait d'un débranchage accidentel, de la rupture involontaire d'un conteneur scellé ou de tout autre événement qui pourrait se produire de temps à autre dans des conditions normales d'exploitation. Si les inspecteurs ne se fient qu'à une seule pièce d'équipement de garanties pour vérifier qu'aucun détournement ne s'est produit à l'installation, ils peuvent être contraints de procéder à l'inventaire manuel des matières nucléaires si cet équipement tombe en panne durant leur absence. Ceci pourrait être lent et coûteux et gênerait considérablement l'exploitant de l'installation. La méthode des garanties nucléaires CANDU 600 MW(e) ne dépend pas du fonctionnement d'un seul équipement. Si, pour une raison quelconque, un appareil tombe en panne, il existe un autre appareil incorporé à l'ensemble du système qui indiquera aux inspecteurs si un détournement a peut-être eu lieu en son absence. Par exemple, si un des sceaux de l'enveloppe de confinement du combustible usé est endommagé, un second sceau, apposé à la même enveloppe, peut garantir que l'intégrité n'a pas été violée. Si les deux sceaux sont brisés, les caméras de surveillance peuvent révéler que rien ne s'est produit qui puisse être associé à un détournement de combustible nucléaire. D'autres exemples de redondance des garanties nucléaires CANDU 600 MW(e) sont:

- 1) Les compteurs de grappes sont renforcés par un compte physique des grappes de combustible placées dans les piscines de stockage du combustible irradié depuis l'inspection précédente. Ce compte doit normalement coïncider avec le nombre de grappes de combustible frais placées dans le réacteur depuis la visite précédente.

- 2) Les systèmes de télévision en circuit fermé qui surveillent la face du réacteur sont renforcés par des moniteurs "tout ou rien" situés le long de certaines voies de sortie anormales.

Donc, en cas de défaillance d'un appareil ou de renseignements imprécis, les inspecteurs peuvent consulter d'autres appareils pour vérifier si des activités pouvant indiquer un détournement ont eu lieu. Dans la plupart des cas impliquant des problèmes d'équipement, les inspecteurs n'auraient pas à entreprendre la tâche compliquée qu'est l'inventaire manuel, opération longue et difficile pour les inspecteurs et les exploitants.

4. DEVELOPPEMENTS FUTURS

Les garanties nucléaires de l'AIEA évoluent constamment et on s'attent à ce que, la recherche et développement et l'expérience d'exploitation aidant, leur efficacité sera encore meilleure à l'avenir. On peut toujours perfectionner et l'AIEA, avec le concours du Programme canadien de soutien des garanties nucléaires, continue ses travaux pour améliorer les garanties appliquées aux installations CANDU. Parmi les développements qui amélioreront la fiabilité de l'équipement de garanties nucléaires et réduiront les coûts et le temps qu'exigent les inspections, on compte:

- 1) des techniques permettant d'employer des caméras de surveillance dans des zones où existent des niveaux de rayonnement élevés,
- 2) la modification des circuits des caméras pour permettre de placer deux appareils dans chaque ensemble,
- 3) des sceaux ultrasoniques pour emploi et lecture sous l'eau,
- 4) des techniques et des équipements pour déterminer le nombre de grappes que contient le coeur du réacteur, et
- 5) des techniques pour permettre d'appliquer les données normales d'exploitation de l'installation aux garanties nucléaires.

5. COUTS

Les coûts du développement des méthodes et de l'équipement de garanties nucléaires CANDU ont été relativement élevés et ont été supportés par l'AIEA et le Programme canadien de soutien des garanties nucléaires. Au cours des dernières quatre années, le Canada a contribué plus de 12 millions de dollars canadiens à ce programme et, cette année, les dépenses atteindront environ 3 millions et demi de dollars canadiens. La plupart de ces coûts ont découlé du développement et de la production de l'équipement pour garanties nucléaires.

Afin que les renseignements nécessaires à l'application efficace des garanties de l'AIEA soient très fiables et très

complets, nous avons choisi et développé des appareils de haute qualité. Il va de soi que ces appareils sont assez coûteux, mais pour une centrale de 600 MW(e) ils ne représentent qu'environ 0.1 pour 100 du coût total de la centrale. Le tableau 1 donne le détail des coûts de l'équipement et de son installation dans une centrale de 600 MW(e).

6. CONCLUSIONS

On a effectué des travaux considérables pour développer les garanties nucléaires CANDU depuis la dernière Conférence internationale sur l'énergie nucléaire et il en est résulté le développement et l'installation d'équipements perfectionnés dans le système de garanties qu'on installe actuellement dans les centrales de 600 MW(e). Le système global est conçu dans le but d'améliorer les garanties nucléaires AIEA existantes et de couvrir convenablement toutes les voies plausibles de détournement de matières nucléaires. Les appareils sont suffisamment sensibles et redondants pour permettre de déceler en temps utile le détournement possible d'une quantité suffisamment importante de matières nucléaires, du point de vue des garanties.

REFERENCES

- [1] WALIGURA, A., KONNOW, Y., R.M., HEAD, D.A., HODGKINSON, J., Garanties nucléaires pour les réacteurs rechargés en marche - Instrumentation et techniques, Conférence internationale de l'AIEA sur l'énergie nucléaire et ses cycles de combustible, Salzburg (1977). Egalement rapport de l'Energie Atomique du Canada, Limitée, AECL-5712 (1977).

EQUIPEMENT	NOMBRE	COÛTS DE PRODUCTION (k\$(E.-U.))	COÛTS ^a D'INSTALLATION (k\$(E.-U.))	TOTAL
Compteurs de grappes	2 ^b	100	} 250	
Caméras	3	30		
Télévision circuit fermé	1 ^c	285		
Vérificateur du combustible	1	65		
Sceaux de confinement et vérificateurs des sceaux	d	48		
Moniteurs "tout ou rien"		2		
TOTAUX		530	250	780

TABLEAU I COUT DE L'EQUIPEMENT POUR GARANTIES NUCLEAIRES D'UNE CENTRALE DE 600 MW(e)

^aLes coûts comprennent les supports, les pénétrations, le câblage, l'éclairage etc. nécessaires à l'installation et à l'opération de l'équipement pour garanties.

^bComprend les tubes Geiger, les collimateurs et l'équipement électronique de comptage et de lecture.

^cComprend huit caméras situées dans l'enceinte du réacteur et la piscine de stockage et le dispositif de commande contenant l'alimentation, le détecteur de mouvement, l'indicateur d'effractions et les éléments enregistreurs.

^dComprend l'équipement pour pose des sceaux, pour mesure initiale et vérification des sceaux, et assez de sceaux, tiges et couvercles pour confiner deux ans de production de grappes de combustible irradiées. Les coûts subséquents seront de l'ordre de 25 k\$(E.-U.) pour le confinement des grappes de combustible au fur et à mesure qu'on les enlève du réacteur.

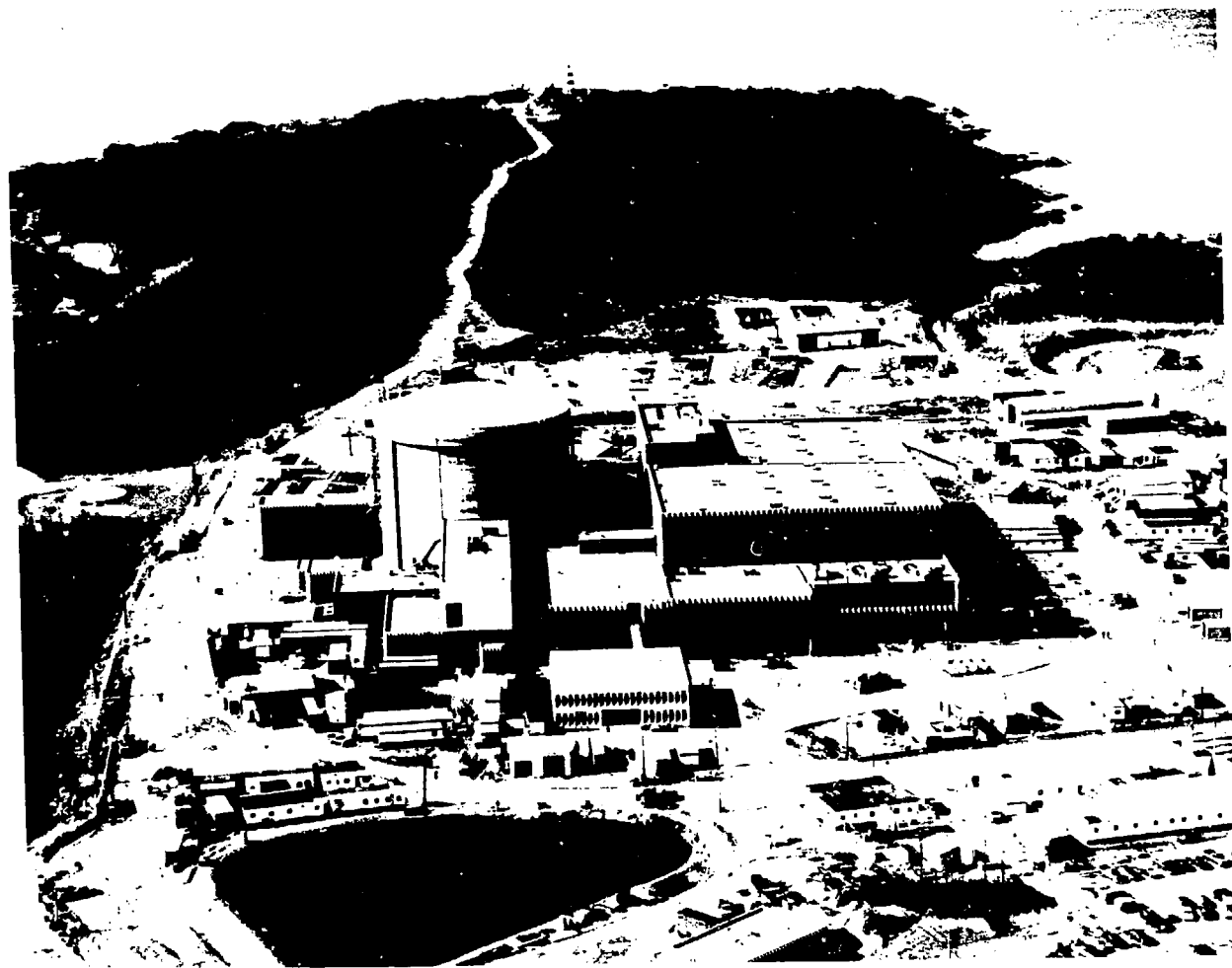


FIG. 1 LA CENTRALE CANDU POINTE LEPREAU DE
600 MW(ε) EN COURS DE CONSTRUCTION

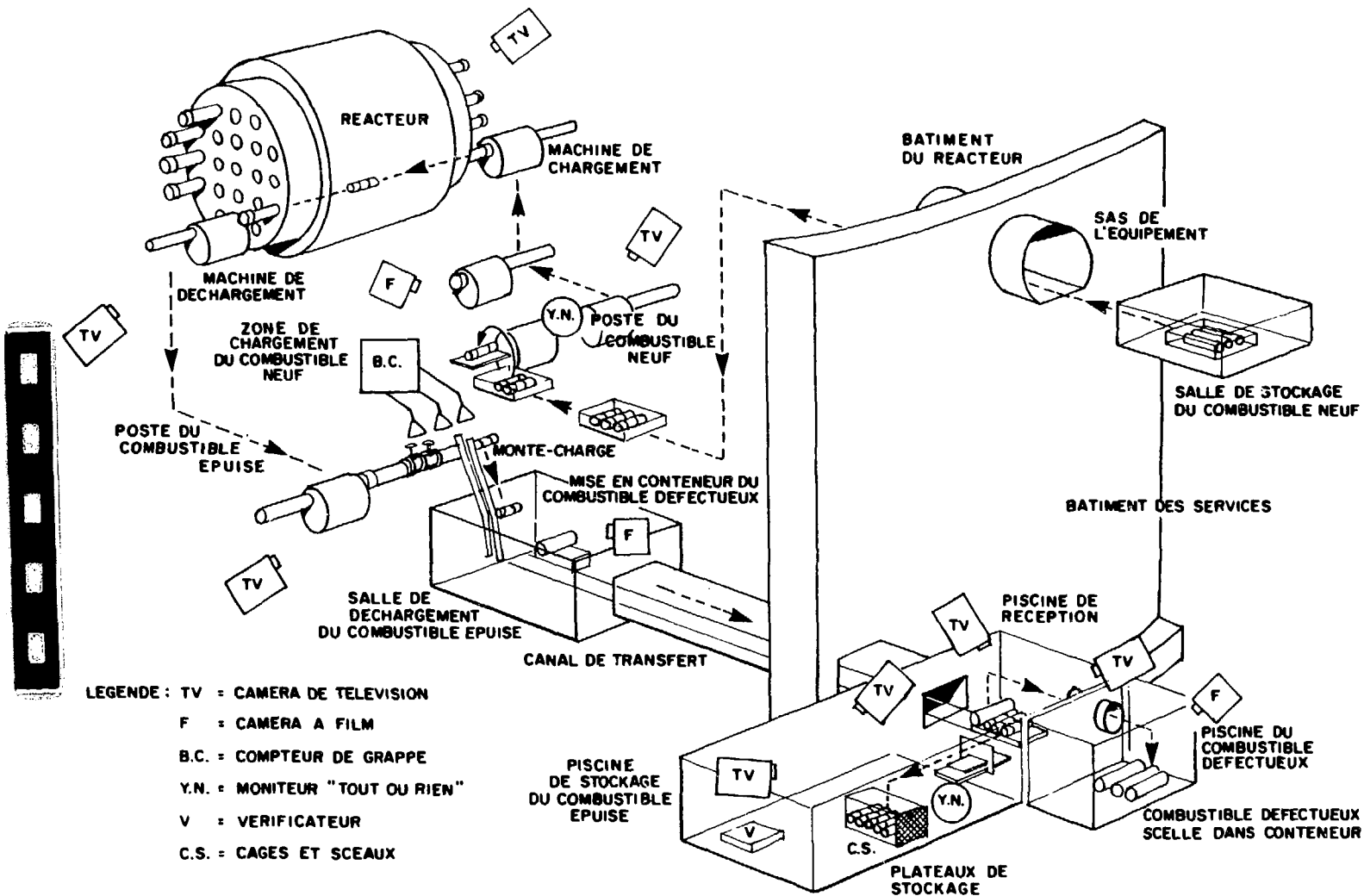


FIG. 2 EMBLEMMENT DE L'INSTRUMENTATION
 POUR GARANTIES NUCLEAIRES

ISSN 0067 - 0367

To identify individual documents in the series
we have assigned an AECL- number to each.

Please refer to the AECL- number when re-
questing additional copies of this document

from

Scientific Document Distribution Office
Atomic Energy of Canada Limited
Chalk River, Ontario, Canada
K0J 1J0

Price \$2.00 per copy

ISSN 0067 - 0367

Pour identifier les rapports individuels faisant
partie de cette série nous avons assigné
un numéro AECL- à chacun.

Veuillez faire mention du numéro AECL- si
vous demandez d'autres exemplaires de ce
rapport

au

Service de Distribution des Documents Officiels
L'Énergie Atomique du Canada Limitée
Chalk River, Ontario, Canada
K0J 1J0

Prix \$2.00 par exemplaire