



AECL-7768

ATOMIC ENERGY
OF CANADA LIMITED



L'ÉNERGIE ATOMIQUE
DU CANADA LIMITÉE

**THE CANDU MAN-MACHINE INTERFACE
AND SIMULATOR TRAINING**

**La liaison homme-machine et les simulateurs
de formation pour les centrales nucléaires CANDU**

E.M. HINCHLEY, N. YANOFSKY, J.D. BEATTIE and E.F. FENTON

Report IAEA-CN-42/146 presented at the IAEA International Conference on
Nuclear Power Experience, Vienna, 13-17 September 1982

(Egalement disponible en français sous le numéro AECL-7768F)

Chalk River Nuclear Laboratories

Laboratoires nucléaires de Chalk River

Chalk River, Ontario

September 1982 septembre

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 CANDU MAN-MACHINE INTERFACE
AND SIMULATOR TRAINING

E.M. Hinchley and N. Yanofsky
Atomic Energy of Canada Limited
Engineering Company
Mississauga, Ontario
Canada

J.D. Beattie and E.F. Fenton
Ontario Hydro
Toronto, Ontario
Canada

Report IAEA-CN-42/146 presented at the IAEA International Conference on
Nuclear Power Experience, Vienna, 13-17 September 1982.

(Egalement disponible en français sous le numéro AECL-7768F)

Chalk River Nuclear Laboratories
Chalk River, Ontario
September 1982

AECL-7768

LA LIAISON HOMME-MACHINE ET LES SIMULATEURS
DE FORMATION POUR LES CENTRALES NUCLEAIRES CANDU

par

E.M. Hinchley, N. Yanofsky, J.D. Beattie et E.F. Fenton

RESUME

Les plus remarquables caractéristiques de la liaison homme-machine pour les centrales nucléaires CANDU (CANada Deutérium Uranium) sont l'emploi très étendu d'affichages de tracés graphiques en couleurs commandés par ordinateurs et le nombre restreint de commandes manuelles.

La liaison homme-machine pour les centrales CANDU est conçu de façon à présenter à l'opérateur des renseignements concis et faciles à assimiler. Par exemple:

- 1) on utilise le conditionnement des alarmes pour supprimer la majorité des alarmes consécutives résultant d'un évènement primaire important, tel qu'une perte de puissance;
- 2) dans le cas d'une perturbation importante, les rapports d'alarme sont triés par ordre de priorité, et le plus important est transmis le premier à l'opérateur;
- 3) les affichages de tracés graphiques en couleurs indiquant les variables du procédé importantes connexes sur le même écran améliorent la compréhension du procédé;
- 4) on utilise des lampes de signalisation montées sur panneaux uniquement pour faire ressortir les situations anormales ou d'alarme; c'est la solution par "panneau d'affichage obscur" du génie des facteurs humains.

Les développements futurs dans l'utilisation des ordinateurs pour les systèmes d'arrêt de sûreté et l'application de la technologie des voies principales de données aux systèmes de régulation des centrales présenteront des exigences particulières et de nouvelles possibilités pour l'application du génie des facteurs humains dans la salle de commande. On considère ici l'évolution de la salle de commande qui en résultera.

Une bonne interaction homme-machine dépend de la formation des opérateurs autant que de la conception de la salle de commande. Au Canada, on utilise des simulateurs de formation pris en charge sur ordinateurs qui indiquent les réactions de la centrale aux actions de l'opérateur, pour la formation des opérateurs. Ces simulateurs soutiennent la formation en service normal de tous les systèmes de la centrale de même que dans les opérations de "gestion des défaillances" après une panne.

(Egalement disponible en français sous le numéro AECL-7768F)

THE CANDU MAN-MACHINE INTERFACE AND
SIMULATOR TRAINING

ABSTRACT

The most significant features of the man-machine interface for CANDU (CANada Deuterium Uranium) reactor stations are the extensive use of computer-driven, colour-graphics displays and the small number of manual controls.

The man-machine interface to CANDU stations is designed to present the operator with concise, easily comprehended information. For example:

- 1) Alarm conditioning is used to suppress the majority of the consequential alarms which result from a primary, important event such as a power loss.
- 2) In the event of a major disturbance, alarm reports are sorted in order of priority, giving the operator the most important first.
- 3) Colour-graphic displays that show key related process variables on the same screen serve to enhance understanding of the process.
- 4) Panel-mounted indicator-lamps are used only to highlight abnormal or alarm conditions; the "dark panel" approach to human-factors engineering.

Future developments in the use of computers in safety shutdown systems, and the use of data-highway technologies in plant-regulating systems will present special requirements and new opportunities in the application of human-factors engineering to the control room. The resulting control room evolution is discussed.

Good man-machine interaction depends on operator training as much as on control-room design. In Canada, computerized training simulators, which indicate plant response to operator action, are being introduced for operator training. Such simulators support training in normal operation of all plant systems and also in the "fault management" tasks following malfunctions.

1. INTRODUCTION

Reliable operation of nuclear power plants is achieved through a combination of sound principles for design, construction, maintenance and operation. CANDU (CANada Deuterium Uranium) nuclear power plants have been world leaders in the reliable production of electricity [1]. This leadership can be credited in part to carefully trained operators working in plants that incorporate a high degree of automation in combination with well-integrated interfaces between the operators and the plant. The design of controls and man-machine interfaces is related to the task of designing training simulators and operator training programs. They are both related to effective plant operation.

This paper reviews the CANDU control rooms, the role of computers, and their effects on man-machine interfaces from the early CANDU plants to the most recent ones. It shows how the training of operators and the simulators used for operator training have developed during this evolution. Continuing developments in man-machine interface and training-simulator designs are discussed. The simulator experience comes from Ontario Hydro, the utility with the most CANDU experience to date.

2. EVOLUTION OF CANDU DESIGNS

CANDU power station designs have evolved over the past quarter century from small prototypes to large, multi-unit stations. In order to illustrate the concurrent changes in man-machine interface designs and operator training, the following stations are referred to in this paper:

<u>Station</u>	<u>MW(e)</u>	<u>In-Service Date</u>
Douglas Point	206	1966
Pickering A	2060	1971
Bruce A	2960	1976
600 MW(e) standard design	600	1982
Darlington	3524	1988 (Forecast)

The man-machine interface is reviewed from several perspectives:

- 1) The physical arrangement of panels, desks, controls, displays, and alarms to facilitate operator actions.
- 2) The evolving role of the digital computers in the man-machine interface.
- 3) The continuing increases in intelligence in alarm and processing annunciation.
- 4) The change from conventional meters and recorders to computer-driven displays and computer recording of data.

2.1 Physical arrangements

All CANDU control rooms feature a sit-down operator's desk facing stand-up panels (Fig. 1). This allows the operator to monitor the panels from his desk, but requires him to stand at the panels to carry out control actions. To aid monitoring, stations since Pickering A have had some display capabilities and operator action at the operator's desk. This trend is continuing with Darlington which has much more control and monitoring capability at a larger sit-down area in front of stand-up panels.

The stand-up panels have a sloping front section with manual controls, a vertical section with monitoring devices, and an inclined upper section for alarm windows. Beginning with the Pickering A station, there has been a strict systems approach to the layout of these panels. At each panel section, the controls, displays, and alarms are all dedicated to the same plant system.

Standardized devices are used on the panels within each station. Colour-coded labels describe the types of functions. Handswitches are used for control functions and indicating lights for status indication. Beginning with Bruce A, many indicating lamps have been replaced by Electro-Magnetic Indicators (EMIs). These are small, three-position indicators that can be directly incorporated into mimic diagrams on the panels. There has been an expanded use of mimics and of coloured lines to help group functions on the panels (Fig. 2).

The 600 MW(e) stations have extended these ideas to a "dark panel" approach. Lights are on only for discrepancies. EMIs provide normal indication. Handswitch handles are illuminated whenever the state of the controlled device is in disagreement with the selected state. These techniques have allowed further expansion of panel graphics and mimics.

2.2 Computers and the operator interface

All CANDU stations, beginning with Douglas Point, have had digital computers incorporated into the control systems. Pickering A and later stations have direct digital control (with no analog or manual backup) for all major control loops. These include in present designs: reactor control, overall plant

control, boiler level and pressure control, heat transport system pressure and inventory control, turbine runup and on-power refuelling. Operator interaction with these control functions is through keyboards and displays.

This extensive use of control computers has made it easy to provide computer-based information to the operators. In Pickering A, the computer's role in providing operator information was limited to actuating conventional meters and presenting alarm messages to supplement the hard-wired annunciation. In Bruce A, the computer's role in the operator interface was expanded to drive a large number of Cathode Ray Tube (CRT) displays and provide an intelligent annunciation system.

The role of computers in Darlington will be further expanded, especially in safety system applications.

2.3 Intelligent alarm annunciation

Douglas Point has a conventional window annunciation system consisting of more than 600 windows. It uses colour-coded windows and a limited recording capability, along with an audible alarm that differentiates between a new alarm, an acknowledged alarm and a return-to-normal situation.

Pickering A improved on this system by using the plant computers to give alphanumeric CRT messages with each alarm and a printed record of alarms and messages. The number of alarm windows was reduced because of the abilities of the plant computers to present alarm messages.

At Bruce A the alarm windows are supplemented by two, alarm-message, CRT displays and high speed, electrostatic printers. All alarms are categorized as major or minor. However, under certain upset conditions, only the major alarm messages are displayed on the CRT; both the major and minor ones are available on high speed printers. The computer also removes certain messages when they give redundant information. For example, a low-flow message would be removed if there was a message that the associated pump had tripped.

These principles have gained wide acceptance among operating staff at Bruce A, and have been incorporated, with improvements, into the next generation of stations. The 600 MW(e) stations have a reduced number of alarm windows. The windows give information on system problems, but the detailed information is on two, side-by-side, colour, CRT displays. The alarm windows are hard-wired and therefore provide required information even if both computers (and thus the plant) are unavailable. The alarm windows and the CRT messages are colour-coded to identify systems and alarm priorities.

The three alarm priorities are safety, major, and minor. New alarm messages are identified by a blinking symbol (its colour identifying the priority) and by an audible alarm. As at Bruce A, during major upsets, the minor alarms are suppressed from the CRTs but not from the printers. A change in alarm status triggers a

change in the identifying symbol and the audible alarm. Thus cycling alarms will not cause the CRT to fill up with unwanted messages.

Additional features include conditioning to suppress unnecessary alarms, computer-generated alarm summaries on the printer, and a software facility that allows nuisance alarms to be temporarily removed.

2.4 Displays and data recording

In Douglas Point, the plant computer played no role in the normal presentation and recording of plant data. In Pickering A, the computer system had an essential control function, some role in alarm annunciation, but a very limited role in information display and recording. The control panels in Pickering A are dominated by large numbers of meters and recorders, although a number of these are driven directly by the plant computers.

The development of reliable and inexpensive raster scan CRT displays and better printers allowed Bruce A to become the first CANDU station to replace large numbers of conventional meters and recorders by computer-driven devices. Eight control panels and the operator's desk each have a keyboard and monochromatic, CRT monitor as the main operator interface at that specific panel. Each communication station can access a wide variety of displays - from its own system and the others. Display formats include graphical trends, barcharts, alphanumeric information, and special purpose pictorial displays. Electrostatic printers provide copies of any display on demand in addition to output of regular logs.

This system is used for information necessary to normal operation, but has not been employed for special safety systems which may be required when the computer system is unavailable. It has led to a 40% reduction in the numbers of meters and recorders. It has had such unanimous operator acceptance that separate computer-based monitoring systems are now being retrofitted to the plant safety systems. The operators had found that the conventional, safety-system displays led to more operating problems and errors than the operator-driven displays in the rest of the plant.

The 600 MW(e) stations are based on the Bruce A design, but use full colour instead of monochromatic displays. They use more communication stations (11) and more pictorial displays. Colour has allowed the consolidation of some displays, and a further reduction in conventional indication. The reduction in conventional instrumentation at both Bruce A and the 600s has left more room for mimic-style, panel layouts, and has also allowed certain controls to be brought to the main panel instead of being placed in remote locations.

The Darlington station will further extend the use of computer-driven, colour CRTs and computer data-logging to the special safety systems. The separate, safety-system computers will also be used in semi-automated system testing. The safety-system

displays will be mainly of a bar-chart type that will allow good display density and clarity.

3. THE EVOLUTION OF OPERATOR TRAINING BY SIMULATORS

Effective man-machine interaction depends on suitable operator training as well as on sound interface design. An important development in operator training in Canadian nuclear plants is the introduction of training simulators. These are full-scale, computer-based simulators that present an operational replica of the generating unit main control panel (including the switchyard and electrical services panels). All the indications and the responses to operator actions are faithful reproductions of those in the real control room.

Instructor facilities are provided, through which an instructor can perform functions appropriate to the training situation. He can choose the initial conditions for any desired situation, and then 'run' the simulation. He can 'freeze' it at any point to allow inspection and explanation time during an exercise, and then let it run again from the frozen position. Large numbers of individual faults can be entered, ranging from very minor ones to the most severe. Where an appropriate trainee action is to request corrective action in the field, the instructor can act as the simulated maintenance crew or field operator and enter the correction. These instructor functions can be performed either in the simulator control room or at an instructor's console, separated from the control room by one-way glass. Communication with the computer system is through dedicated-function pushbuttons and interactive 'menu-selection' CRT displays.

One such simulator, in service now (at the Pickering Nuclear Training Centre), is a replica of one of the four Pickering Generating Station units (540 MW(e)). It was built after the station had been in operation for several years. The success of the simulator approach to training within Ontario Hydro has been so great that all their CANDU stations will have a dedicated simulator. The next simulators (now in the design and acquisition phases) will be available earlier in the lives of their stations. The newest station (Darlington) is scheduled to have a working simulator before the first unit (of four) is in service.

3.1 The contribution of simulator training

Simulator training is part of a lengthy process of operator selection and development [2]. A typical candidate for unit first-operator training has secondary school education (to university entrance level, usually emphasizing sciences and mathematics), and has employment training in various areas of technology, scientific fundamentals, technical skills, safety, and management skills. He has on-the-job training and experience in specific plant systems, field work, and radiation protection and safety, and has worked as

an assistant operator and field (or second) operator. He has demonstrated the personal qualities and abilities, the motivation, and the capability for responsibility, essential to the first-operator job. This typically requires a period of six years from secondary school graduation.

The first-operator training extends over another two years and during this period, simulator training is integrated into a program of further training in scientific fundamentals, equipment principles and operation, control systems and procedures. There are also on-shift rotations at several stages in the two years.

The main thrust of the simulator training comes in three courses, each of three weeks duration, as shown in Table 1. During each day of these courses, time is divided between the simulator control room and a classroom, so that lessons can be illustrated and techniques exercised. The first three-week course concentrates on the steady-state condition at full power, with routine operations and manoeuvres around this state. It provides a hands-on introduction to the normal, day-to-day, unit operation. The second course is concerned with major manoeuvres, such as start-up and shutdown of individual systems, and of the whole unit. It includes such situations as the approach to critical, and the recovery from reactor trip. The third course focusses on response to malfunctions, from minor ones up to events such as loss of coolant, loss of power supplies, steam leaks, etc. Responses to these malfunctions are practised under various plant conditions. The final course culminates in a one-week session of 'simulator field check-outs' where trainees are evaluated in normal and abnormal scenarios requiring successful operation and understanding of the entire, over-all, unit action. Examples are: start-up (to full load) following a poison shutdown, turbine trip and recovery, and full load rejection and re-establishment of unit operation.

Once a first-operator is fully authorized, he continues to attend simulator refresher courses, divided into three one-week sessions per year. During these refresher sessions, start-ups, shutdowns, and major malfunction scenarios are practised.

3.2 Benefits of simulator training

In all the simulator-based training, and throughout the training program, emphasis is placed on two important elements: developing experience through practice, and being able to relate a knowledge of fundamental principles to the behaviour of plant systems in both normal and abnormal conditions. These two elements provide the operator with the tools he needs to respond appropriately when faced with situations not specifically covered by written procedures. To appreciate when procedures do or do not apply, and to understand the connection between the fundamental principles and the behaviour of the systems he observes, are among the most important attributes of a good operator.

There are additional benefits that have accrued from the availability of the training simulator, such as identifying the need for, and allowing the development of, improved operating procedures.

4. FURTHER DEVELOPMENTS

The Darlington station now under construction will extend the principles already proven in operating CANDU stations. There will be further improvements in computer displays and annunciation. Operator communication will include the use of light pens along with dedicated keyboards. The extension of computer use to safety systems in this plant will allow better testing procedures and will free the operators from the more tedious aspects of regular testing [3]. Greater use of remote logic and multiplexing along with a data highway concept will be another feature of newer designs.

The CANDU operator interface already includes a limited number of displays which use computer intelligence to predict the course of ongoing transients. Studies are in progress to allow extensions so the computer intelligence can be of greater assistance to operators in diagnosing malfunctions and assisting the operator in responding correctly. This system, Abnormal Incident Decision Support (AIDS) System, is expected to be implemented first in a training simulator before incorporation in an operating station. This shows another link between the operator interface and simulator training.

One technological development in the training simulators now being designed and built is particularly interesting in the context of the man-machine interface. It is the development of 'stylized instrument displays' for the instructor, which will portray, on a CRT screen, simplified pictorial views of any desired part of the control panel. These displays will be continually updated to show meter readings, status indications, handswitch positions, etc. just as they are on the control panel, and the instructor at his console will thereby be able to observe the state of all panel devices, despite being too far away to see them directly.

5. SUMMARY AND CONCLUSIONS

The CANDU experience with the operator interface and with the design and use of operator training simulators points to a number of important principles:

- 1) Computer-driven displays are in general more versatile and easier to arrange to suit operator requirements. They should simplify the operator's task by replacing conventional instruments, not just supplementing them.
- 2) Rationalized, computer-assisted, alarm-annunciation systems including prioritization, grouping and suppression of less important alarms, help to quickly point operators to the causes of trouble.

- 3) Much of the station record-keeping is better done with computer monitoring rather than conventional chart recorders. Again, the computer records should replace conventional records, not merely supplement them.
- 4) The overall design of the man-machine interface should be treated as an integrated task to assure rational layout of panels and consistent rules for colours, switch positions, lights, display formats, etc. from one panel to another. It should also assure convenient operation without excessive movement among panels.
- 5) Operator training-simulators allow a reduction in the amount of in-plant training required by operators. This benefit is greater if the simulator is full-scope and is a faithful reproduction of the plant for which the operators will be authorized.
- 6) There should be a mechanism to allow feedback from operator experience in the plants and on training simulators to modify designs of the man-machine interface when appropriate. Computer-based designs should include enough flexibility to allow well-controlled changes.
- 7) CANDU reactor capacity factors have exceeded those of all other reactor types, in part, because of their well-planned and automated interfaces and thoroughly trained operators.

REFERENCES

- [1] McCONNELL, L.G., CANDU Operating Experience, paper no. IAEA-CN-42/68, IAEA Int. Conf. on Nuclear Power Experience, Vienna (1982).
- [2] HOWEY, G.R., Ontario Hydro Hires Staff Centrally, Nuclear Engineering International 25, 296 (1980) 29.
- [3] McNEIL, T.O., FIEGUTH, W., Computer Systems Used in CANDU Nuclear Generating Stations, Canadian Conf. on Industrial Computers, Hamilton (1982).

MONTH	
1	SIMULATOR INTRODUCTION — 1 WEEK
2	— INTERVIEWS AND SCREENING
3	— ON SHIFT
4	— COURSES
5	— SEMINARS
	— SELF-STUDY
	— ASSIGNMENTS
6	NUCLEAR GENERAL EXAM
	— COURSES
7	— SEMINARS
8	— SELF-STUDY
	— ASSIGNMENTS
9	CONVENTIONAL GENERAL EXAM
10	
	— ON SHIFT — FIELD CHECKOUTS
11	— COURSES
12	RADIATION PROTECTION EXAMS
13	
	— ON SHIFT — FIELD CHECKOUTS
14	— PANEL WATCHER QUALIFICATION
15	FIRST SIMULATOR COURSE — 3 WEEKS
	— ON SHIFT — FIELD CHECKOUTS
16	— SEMINARS AND SELF-STUDY
	CONVENTIONAL SPECIFIC EXAM
17	SECOND SIMULATOR COURSE — 3 WEEKS
18	— ON SHIFT — FIELD CHECKOUTS
	— SEMINARS
19	— SELF-STUDY
20	NUCLEAR SPECIFIC EXAM
	THIRD SIMULATOR COURSE — 2 WEEKS
21	— ON SHIFT — FIELD CHECKOUTS
22	THIRD SIMULATOR COURSE — 1 WEEK CHECKOUT
23	
	— CO PILOT
24	
25	— INTERVIEWS
	— APPLICATION FOR AUTHORIZATION
26	AUTHORIZED UNIT FIRST OPERATOR

TABLE I SIMPLIFIED OUTLINE OF FIRST OPERATOR TRAINING
(WITH SIMULATOR COURSES HIGH LIGHTED)

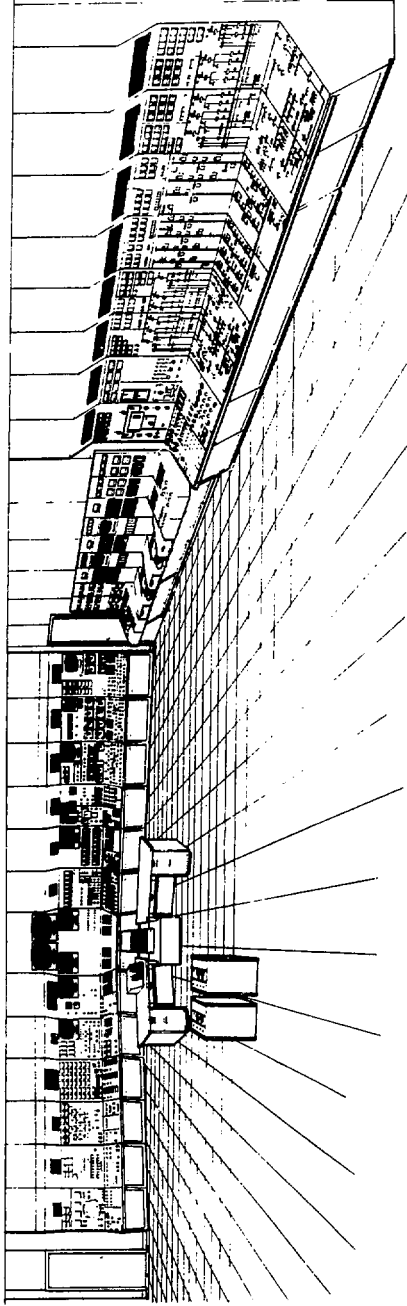


FIG. 1 600 MW(E) STATION CONTROL ROOM

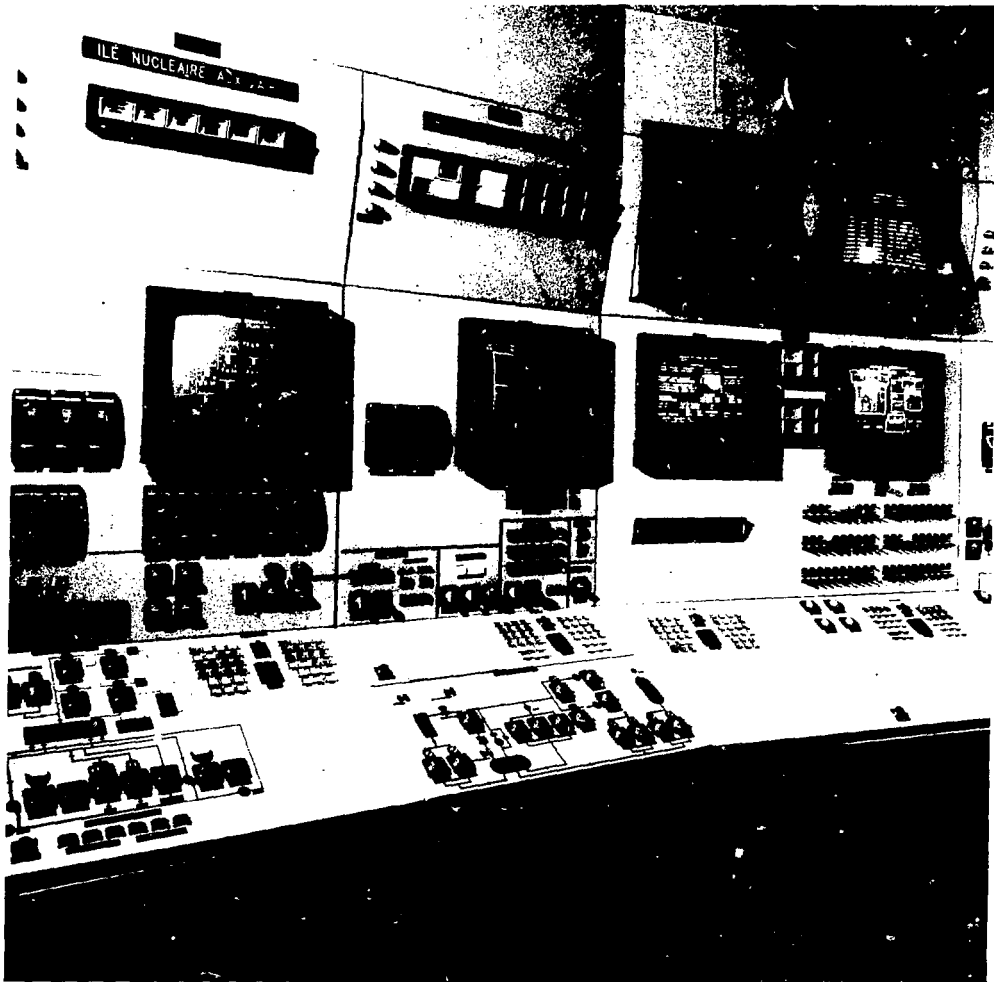


FIG. 2 600 MW(E) CONTROL PANELS

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

AECL-7768F

**ATOMIC ENERGY
OF CANADA LIMITED**



**L'ÉNERGIE ATOMIQUE
DU CANADA LIMITÉE**

**LA LIAISON HOMME-MACHINE ET LES SIMULATEURS DE
FORMATION POUR LES CENTRALES NUCLÉAIRES CANDU**

The CANDU Man-Machine Interface and Simulator Training

E.M. HINCHLEY, N. YANOFKY, J.D. BEATTIE et E.F. FENTON

Rapport IAEA-CN-42/146 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-7768)

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 LIAISON HOMME-MACHINE ET LES SIMULATEURS
DE FORMATION POUR LES CENTRALES NUCLEAIRES CANDU

E.M. Hinchley et N. Yanofsky
L'Energie Atomique du Canada, Limitée
Société d'ingénierie
Mississauga, Ontario
Canada

J.D. Beattie et E.F. Fenton
Ontario Hydro
Toronto, Ontario
Canada

Rapport IAEA-CN-42/146 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-7768)

Laboratoires nucléaires de Chalk River
Chalk River, Ontario
1982 septembre

AECL-7768F

ATOMIC ENERGY OF CANADA LIMITED

THE CANDU MAN-MACHINE INTERFACE AND
SIMULATOR TRAINING

by

E.M. Hinchley, N. Yanofsky, J.D. Beattie and E.F. Fenton

ABSTRACT

The most significant features of the man-machine interface for CANDU (CANada Deuterium Uranium) reactor stations are the extensive use of computer-driven, colour-graphics displays and the small number of manual controls.

The man-machine interface to CANDU stations is designed to present the operator with concise, easily comprehended information. For example:

- 1) Alarm conditioning is used to suppress the majority of the consequential alarms which result from a primary, important event such as a power loss.
- 2) In the event of a major disturbance, alarm reports are sorted in order of priority, giving the operator the most important first.
- 3) Colour-graphic displays that show key related process variables on the same screen serve to enhance understanding of the process.
- 4) Panel-mounted indicator-lamps are used only to highlight abnormal or alarm conditions; the "dark panel" approach to human-factors engineering.

Future developments in the use of computers in safety shutdown systems, and the use of data-highway technologies in plant-regulating systems will present special requirements and new opportunities in the application of human-factors engineering to the control room. The resulting control room evolution is discussed.

Good man-machine interaction depends on operator training as much as on control-room design. In Canada, computerized training simulators, which indicate plant response to operator action, are being introduced for operator training. Such simulators support training in normal operation of all plant systems and also in the "fault management" tasks following malfunctions.

(Also obtainable in English as AECL-7768)

Chalk River Nuclear Laboratories
Chalk River, Ontario
1982 September

AECL-7768F

LA LIAISON HOMME-MACHINE ET LES SIMULATEURS
DE FORMATION POUR LES CENTRALES NUCLEAIRES CANDU

RESUME

Les plus remarquables caractéristiques de la liaison homme-machine pour les centrales nucléaires CANDU (CANada Deutérium Uranium) sont l'emploi très étendu d'affichages de tracés graphiques en couleurs commandés par ordinateurs et le nombre restreint de commandes manuelles.

La liaison homme-machine pour les centrales CANDU est conçue de façon à présenter à l'opérateur des renseignements concis et faciles à assimiler. Par exemple:

- 1) on utilise le conditionnement des alarmes pour supprimer la majorité des alarmes consécutives résultant d'un événement primaire important, tel qu'une perte de puissance;
- 2) dans le cas d'une perturbation importante, les rapports d'alarme sont triés par ordre de priorité, et le plus important est transmis le premier à l'opérateur;
- 3) les affichages de tracés graphiques en couleurs indiquent les variables du procédé importantes connexes sur le même écran améliorent la compréhension du procédé;
- 4) on utilise des lampes de signalisation montées sur panneaux uniquement pour faire ressortir les situations anormales ou d'alarme; c'est la solution par "panneau d'affichage obscur" du génie des facteurs humains.

Les développements futurs dans l'utilisation des ordinateurs pour les systèmes d'arrêt de sûreté et l'application de la technologie des voies principales de données aux systèmes de régulation des centrales présenteront des exigences particulières et de nouvelles possibilités pour l'application du génie des

facteurs humains dans la salle de commande. On considère ici l'évolution de la salle de commande qui en résultera.

Une bonne interaction homme-machine dépend de la formation des opérateurs autant que de la conception de la salle de commande. Au Canada, on utilise des simulateurs de formation pris en charge sur ordinateurs qui indiquent les réactions de la centrale aux actions de l'opérateur, pour la formation des opérateurs. Ces simulateurs soutiennent la formation en service normal de tous les systèmes de la centrale de même que dans les opérations de "gestion des défaillances" après une panne.

1. INTRODUCTION

Le fonctionnement sûr des centrales nucléaires est réalisé par la combinaison de bons principes de conception, de construction, de maintenance et d'exploitation. Les centrales nucléaires CANDU (CANada Deutérium Uranium) sont en tête de file quant à la production sûre d'électricité [1]. On peut attribuer cette suprémacie, en partie, aux opérateurs très bien formés qui travaillent dans des centrales comportant un niveau d'automatisation élevé ainsi qu'aux liaisons bien intégrées entre les opérateurs et la centrale. La conception des systèmes de contrôle-commande et des liaisons homme-machine est reliée à la tâche de concevoir des simulateurs de formation et des programmes de formation d'opérateurs. L'exploitation efficace des centrales dépend de ces deux facteurs.

Cette communication étudie les salles de commande CANDU, le rôle des ordinateurs, et leurs effets sur les liaisons homme-machine depuis les premières centrales CANDU jusqu'au plus récentes. Elle montre comment la formation des opérateurs et les simulateurs utilisés pour la formation des opérateurs ont évolué au cours de cette période. Elle examine également les développements qui se poursuivent dans la conception des liaisons homme-machine et des simulateurs de formation. L'expérience en simulation provient de l'Hydro-Ontario, la compagnie d'électricité qui a eu, jusqu'ici, la plus grande expérience avec le CANDU.

2. EVOLUTION DES CONCEPTS CANDU

Au cours des vingt-cinq dernières années, le concept des centrales CANDU est passé des petits prototypes aux centrales à réacteur multiple de grande puissance. Afin d'illustrer les évolutions parallèles en conception des liaisons homme-machine et en formation des opérateurs, cette communication portera sur les centrales suivantes:

Centrale	MW(e)	Année d'entrée en service
Douglas Point	206	1966
Pickering A	2060	1971
Bruce A	2960	1976
Centrale courante de 600MWe	600	1982
Darlington	3524	1988 (Prévue)

On considère la liaison homme-machine de plusieurs points de vue:

- 1) la disposition physique des panneaux, des consoles, des commandes, des systèmes d'affichage et des alarmes pour faciliter le travail des opérateurs;
- 2) le rôle progressif des ordinateurs numériques dans la liaison homme-machine,
- 3) l'accroissement continu de l'information dans le traitement et l'annonce des alarmes,
- 4) le remplacement des enregistreurs et des instruments de mesure classiques par des systèmes d'affichage commandés par ordinateurs et par l'enregistrement des données sur ordinateurs.

2.1 Systèmes physiques

Toutes les salles de commande CANDU comportent une console à laquelle l'opérateur est assis et qui fait face à des panneaux où il doit se tenir debout (fig. 1). Ceci permet à l'opérateur de surveiller les panneaux depuis la console mais il est obligé de se lever pour effectuer les manoeuvres de contrôle-commande. Pour faciliter la surveillance, les centrales construites depuis Pickering A comportent certaines possibilités d'affichage et de manoeuvres d'opérateur à partir de la console. Cette tendance se perpétue à Darlington dont les possibilités de contrôle-commande et de surveillance sont plus grandes dans un espace plus grand dans lequel l'opérateur est assis en face des panneaux où il doit se tenir debout.

La partie avant de ces panneaux est inclinée et comporte des commandes manuelles, la partie verticale comporte des appareils de surveillance, et la partie supérieure inclinée comporte des voyants d'alarme. A partir de la centrale de Pickering A, on a suivi une approche systématique très rigoureuse en ce qui concerne la disposition de ces panneaux; les commandes, les systèmes d'affichage et les alarmes de chaque partie de panneau sont toutes destinées à un même système de la centrale.

On utilise des dispositifs normalisés sur tous les panneaux d'une même centrale. Des étiquettes dont la couleur est codifiée décrivent les types de fonctions. On utilise des interrupteurs manuels pour les fonctions de contrôle-commande et des voyants lumineux pour l'indication des états. A partir de Bruce A, on a remplacé un grand nombre de voyants lumineux par des indicateurs électromagnétiques (EMI). Ce sont de petits indicateurs à trois positions qu'on peut directement incorporer dans les schémas des panneaux. On a employé davantage de schémas et de lignes colorés pour faciliter le groupage des fonctions sur les panneaux (fig. 2).

On a appliqué ces idées à la solution par "panneau obscur" dans les centrales de 600 MW(e) où les voyants lumineux ne

s'allument qu'en cas de différences et les EMI donnent les indications normales. La poignée des interrupteurs manuels s'illumine lorsque l'état du dispositif commandé ne correspond pas à l'état désiré. Ces techniques ont permis d'étendre davantage l'emploi des graphiques et des schémas de panneaux.

2.2 Liaison entre les ordinateurs et l'opérateur

A partir de Douglas Point, on a incorporé des ordinateurs dans les systèmes de contrôle-commande de toutes les centrales CANDU. A Pickering A, et dans les centrales postérieures, on a utilisé le contrôle-commande numérique direct (sans système de relève manuel ou analogique) pour toutes les boucles de contrôle-commande principales. Celles-ci comprennent, dans les concepts actuels: le contrôle-commande du réacteur, le contrôle-commande d'ensemble de la centrale, le contrôle de la pression et du niveau dans la chaudière nucléaire, le contrôle de la quantité totale d'eau et de la pression dans le système de caloportage, l'accélération des turbines et le rechargement du combustible en marche. L'interaction de l'opérateur et de ces fonctions s'effectue par claviers et affichage.

Cet emploi poussé des ordinateurs de contrôle-commande a facilité la transmission des renseignements des ordinateurs aux opérateurs. A Pickering A, le rôle de l'ordinateur dans la transmission des renseignements à l'opérateur se limitait à actionner des instruments de mesure classiques et à présenter des messages d'alarmes pour compléter les annonces câblées. A Bruce A, le rôle des ordinateurs dans la liaison avec l'opérateur s'est étendu à la commande d'un grand nombre d'affichages par tubes cathodiques et à la fourniture d'un système annonceur intelligent.

A Darlington, le rôle des ordinateurs s'étendra encore davantage, particulièrement dans les applications des systèmes de sécurité.

2.3 Système annonceur d'alarme intelligent

La centrale de Douglas Point comporte un système annonceur par voyants composé de plus de 600 voyants colorés selon un code et ce système a des possibilités d'enregistrement limitées qu'un dispositif d'alarme sonore qui différencie les alarmes nouvelles, les alarmes reçues et l'état de retour à la normale.

On a amélioré ce système à Pickering A en utilisant les ordinateurs de la centrale pour donner des messages par affichages cathodiques alphanumériques pour chaque alarme et un relevé imprimé des alarmes et des messages. On a réduit le nombre des voyants d'alarme du fait de l'aptitude des ordinateurs de la centrale à présenter les messages d'alarmes.

A Bruce A, les voyants d'alarme sont complétés par deux imprimantes électrostatiques rapides pour les messages d'alarmes et les affichages sur tubes cathodiques. Les alarmes sont classées

selon qu'elles sont importantes ou secondaires; toutefois, dans certaines conditions de dérangement, seules les messages d'alarmes importants sont affichés sur les tubes cathodiques; les imprimantes rapides donnent toutes les alarmes, importantes comme secondaires. L'ordinateur supprime également certains messages lorsqu'ils donnent une information superflue. Par exemple, un message de faible débit sera supprimé si un autre message avertit que la pompe intéressée s'est arrêtée.

Ces principes ont été généralement acceptés par le personnel d'exploitation de Bruce A, et on les a incorporé, avec les améliorations, dans la génération suivante de centrales. Les voyants donnent des renseignements sur les problèmes se produisant dans les systèmes, mais le détail des renseignements est donné par deux affichages sur tubes cathodiques en couleur situés côte-à-côte. Les voyants d'alarme sont câblés et, par conséquent, donnent les renseignements voulus même si les deux ordinateurs (et, par conséquent, la centrale) sont en dérangement. Les voyants d'alarme et les messages sur tubes cathodiques sont colorés selon un code qui permet d'identifier les systèmes et les degrés de priorité d'alarme.

Les trois degrés de priorité d'alarme, sont: sécurité, importante, secondaire. Un symbole clignotant et une alarme sonore identifient les nouveaux messages d'alarme et la couleur du symbole donne le degré de priorité. Comme à Bruce A, lors des dérangements importants, les alarmes secondaires sont supprimées sur les tubes cathodiques mais non sur les imprimantes. Les changements d'état d'alarme déclenchent un changement du symbole d'identification et de l'alarme sonore. Ainsi, le cyclage des alarmes ne provoquent pas l'encombrement des tubes cathodiques par des messages non voulus.

Parmi les caractéristiques supplémentaires, on compte le conditionnement pour supprimer les alarmes inutiles, les résumés d'alarme établis par les ordinateurs et portés sur les imprimantes, et un logiciel permettant la suppression temporaire des alarmes parasites.

2.4 Affichages et enregistrement des données

A Douglas Point, l'ordinateur de la centrale ne jouait aucun rôle dans la présentation et l'enregistrement normaux des données de la centrale. A Pickering A, le système d'ordinateur remplit une fonction de contrôle-commande essentielle, un certain rôle dans l'annonce des alarmes, mais un rôle très limité dans l'affichage et l'enregistrement de l'information. Les panneaux de contrôle-commande de Pickering A comportent surtout un grand nombre d'instruments de mesure et d'enregistreurs, bien que beaucoup d'entre-eux soient actionnés directement par les ordinateurs de la centrale.

La mise au point d'affichages sur tubes cathodiques à grille fiables, et peu coûteux, et de meilleures imprimantes a permis à Bruce A d'être la première centrale CANDU dans laquelle un grand nombre d'instruments de mesure et d'enregistreurs classiques sont

remplacés par des appareils commandés par ordinateurs. Chacun des huit panneaux de contrôle-commande et la console de l'opérateur sont équipés d'un clavier et d'un moniteur à tube cathodique monochrome comme liaison principale de l'opérateur en cet emplacement de panneau particulier. Chaque poste de communication peut avoir accès à une grande variété d'affichages, de son propre système et des autres systèmes. La présentation des affichages comprend des graphiques de tendance, des histogrammes des renseignements alphanumériques et des affichages synoptiques à usages spéciaux. Les imprimantes électrostatiques donnent des copies de tout affichage, sur demande, en plus des relevés courants.

On utilise le système pour obtenir les renseignements nécessaires à l'exploitation normale, mais on ne l'a pas employé pour les systèmes de sécurité spéciaux dont on peut avoir besoin lorsque le système d'ordinateur n'est pas disponible. Il en est résulté une réduction de 40% du nombre des instruments de mesure et des enregistreurs et les opérateurs l'ont accepté unanimement si bien qu'on modifie actuellement les systèmes de surveillance indépendants à ordinateurs pour les adapter aux systèmes de sécurité de la centrale déjà existants. Les opérateurs se sont aperçus que les affichages classiques des systèmes de sécurité causaient davantage de problèmes et d'erreurs d'exploitation que les affichages commandés par les opérateurs dans le reste de la centrale.

Les centrales de 600 MW(e) sont basées sur le concept de Bruce A mais elles utilisent des affichages en couleur au lieu d'affichages monochromatiques. Elles comportent davantage de postes de communication [11] et d'affichages synoptiques. L'utilisation de la couleur a permis de regrouper plusieurs affichages et de réduire davantage les indications classiques. La réduction de l'instrumentation classique à Bruce A et dans les centrales de 600 MW(e) a permis d'avoir plus de place pour les schémas des panneaux et a permis de placer certaines commandes dans le panneau principal au lieu de les installer dans des endroits éloignés.

A la centrale de Darlington, on étendra davantage l'utilisation des affichages sur tubes cathodiques en couleur commandés par ordinateur et de l'enregistrement des données par ordinateur aux systèmes de sécurité spéciaux. On utilisera aussi les ordinateurs indépendants des systèmes de sécurité pour les essais des systèmes semi-automatisés. Les affichages des systèmes de sécurité seront principalement du type histogramme qui permet une clarté et une densité d'affichage satisfaisant.

3. EVOLUTION DE LA FORMATION DES OPERATEURS PAR LES SIMULATEURS

L'interaction efficace homme-machine dépend de la formation convenable des opérateurs de même que d'une bonne conception de la liaison. Un fait nouveau important dans la formation des opérateurs dans les centrales canadiennes est l'introduction de simulateurs de formation. Ces simulateurs de grandeur nature, à

ordinateur, reproduisent les fonctions du panneau de contrôle-commande principal de la centrale (y compris les panneaux des services électriques et du poste de sectionnement). Toutes les indications et les réactions aux actions de l'opérateur sont la reproduction exacte de celles qui se présentent dans une salle de commande réelle.

On a prévu un poste pour un instructeur par lequel celui-ci peut effectuer les opérations appropriées à la situation de formation. Il peut choisir les conditions initiales pour n'importe quelle situation et puis procéder à la simulation. Il peut l'arrêter à un moment quelconque pour permettre soit l'inspection soit des explications au cours de l'exercice, puis la continuer à partir du point où il s'est arrêté. On peut y incorporer un grand nombre d'erreurs individuelles, allant des plus insignifiantes aux plus graves. Lorsque l'élève doit demander une mesure corrective, l'instructeur peut faire fonction d'équipe de maintenance ou d'opérateur local simulé et incorporer la mesure voulue. Ces fonctions peuvent être effectuées soit dans la salle de commande du simulateur soit de la console de l'instructeur qui est séparée de la salle de commande du simulateur par une fenêtre à glace d'observation. La communication avec l'ordinateur s'effectue par l'intermédiaire d'affichages sur tubes cathodiques interactifs du type à "sélection précise des opérations" et de boutons-poussoirs à fonctions particulières.

Un de ces simulateurs, en service actuellement (au Centre de formation nucléaire de Pickering), est une reproduction de l'une des quatre unités de la centrale de Pickering (540 MW(e)). Il a été construit plusieurs années après l'entrée en service de la centrale. Le succès de la méthode de formation par simulateurs au sein d'Hydro-Ontario a été si grand que toutes leurs centrales CANDU seront dotées d'un simulateur spécialement conçu pour chacune d'entre-elles. Les prochains simulateurs (actuellement en cours de conception et d'achat) seront utilisés tout au début de la vie des centrales. La centrale la plus récente (celle de Darlington) doit recevoir un simulateur de travail avant que le premier (des quatre réacteurs) soit en service.

3.1 L'apport des simulateurs de formation

La formation par simulateur fait partie du long processus de sélection et perfectionnement des opérateurs [2]. Le candidat type à la formation comme premier opérateur de réacteur détient un diplôme d'études secondaires supérieures (au niveau de l'admission aux universités, d'ordinaire avec spécialisation en sciences et en mathématiques) et une formation professionnelle dans divers domaines de la technologie, (les principes de base scientifiques, les techniques, la sécurité et la direction). Il a acquis une certaine expérience et une certaine formation pratique en systèmes particuliers de la centrale, en travaux particuliers, en protection et sûreté radiologiques, et a occupé les postes d'opérateur adjoint et d'opérateur sur place (ou de second opérateur). Il a fait preuve de qualités et d'aptitudes personnelles, d'allure, et d'aptitudes à assumer des responsabilités qui sont essentielles dans les

fonctions de premier opérateur. Normalement, ceci demande six ans d'expérience après la fin des études secondaires.

La formation de premier opérateur continue pendant deux ans et, au cours de cette période, on intègre la formation par simulateur dans le programme de formation complémentaire en principes de base scientifiques, en principes et fonctionnement de l'équipement, en systèmes et techniques de contrôle-commande. Au cours de ces deux ans, on y incorpore également les postes qu'il a faits par roulement à la centrale.

En général, la tendance de la formation par simulateur est de consister en trois cours de trois semaines chacun, comme l'indique le tableau 1. Chaque journée de cours se divise en périodes d'instruction dans la salle de commande du simulateur et d'instruction en classe afin de pouvoir expliquer les leçons et appliquer les techniques. Le premier de ces cours de trois semaines porte surtout sur le régime permanent à pleine puissance, les opérations et les manoeuvres habituelles étant effectuées autour de ce régime. Il permet une introduction pratique à l'exploitation normale et journalière du réacteur. Le second cours porte sur les manoeuvres les plus importantes, telles que la mise en route et l'arrêt de systèmes indépendants, et de l'ensemble du réacteur. Il comporte des situations telles que l'approche de la criticallité et le rétablissement après un arrêt d'urgence du réacteur. Le troisième cours porte sur les réactions aux dérangements, depuis les avaries secondaires jusqu'aux évènements tels que la perte de caloporteur et d'alimentation électrique, les fuites de vapeur, etc. On participe à des exercices pratiques dans lesquels les réactions à ces dérangements dans diverses conditions de la centrale sont reproduites. Le cours s'achève par une semaine de "contrôles sur simulateur" au cours de laquelle les élèves sont évalués dans des scénarios normaux et anormaux exigeant l'exploitation correcte et la compréhension de la réaction de l'ensemble du réacteur, par exemple: mise en route (jusqu'à la pleine puissance) après un arrêt par poison, arrêt et remise en marche des turbines et délestage à pleine puissance et remise en marche du réacteur.

Une fois qualifié, l'opérateur continue à suivre des cours de perfectionnement sur simulateur qui se divisent en trois séances d'une semaine par an. Lors de ces cours, il participe à des exercices pratiques à scénarios de mise en route, d'arrêt et d'avaries importantes.

3.2 Avantages de la formation par simulateur

Dans la formation par simulateur et tout au long du programme de formation, on insiste sur deux éléments importants: acquérir de l'expérience par la pratique et être à même d'établir un rapport entre la connaissance des principes fondamentaux et le comportement des systèmes de la centrale dans des conditions normales comme anormales. Ces deux éléments fournissent aux opérateurs les outils dont ils ont besoin pour réagir de façon appropriée lorsqu'ils ont à faire face à des situations que les procédures écrites ne couvrent pas particulièrement. Décider si les procédures sont

applicables ou non et comprendre le rapport entre les principes fondamentaux et le comportement réel des systèmes sont parmi les deux plus importantes qualités d'un bon opérateur.

Le fait de pouvoir disposer d'un simulateur de formation a procuré d'autres avantages tels que la possibilité de reconnaître le besoin de meilleures procédures d'exploitation et de les développer.

4. AUTRES DEVELOPPEMENTS

La centrale de Darlington, actuellement en construction, étendra l'application de principes déjà établis à d'autres centrales CANDU en exploitation. Les affichages et les annonces commandés par ordinateur seront perfectionnés davantage. Les moyens de communication de l'opérateur comprendront des photostyles ainsi que des claviers spéciaux. En étendant l'emploi des ordinateurs aux systèmes de sûreté de cette centrale, on pourra avoir de meilleures procédures d'essai et débarrasser les opérateurs des aspects les plus monotones des essais réguliers [3]. Une caractéristique du nouveau concept sera l'utilisation plus étendue de la logique à distance et du multiplexage de même que du concept de la voie principale de données.

La liaison avec les opérateurs de centrales CANDU comprend déjà un nombre limité d'affichages faisant appel à l'intelligence des ordinateurs pour prédire le développement des transitoires en cours. On effectue des études pour permettre l'extension de façon à ce que l'intelligence des ordinateurs soit plus utile aux opérateurs pour diagnostiquer les dérangements et aider le personnel à y réagir convenablement. On prévoit que ce système, le "Système de soutien des décisions en cas d'incident anormal" (AIDS) sera d'abord mis en oeuvre dans un simulateur de formation avant d'être incorporé dans une centrale en exploitation. Ceci montre l'autre lien entre la liaison avec les opérateurs et la formation par simulateur.

Un développement technique dans le domaine des simulateurs de formation actuellement à l'étude ou en construction est particulièrement intéressant dans le contexte de la liaison homme-machine. C'est celui "d'affichages d'instruments stylisés" destinés à l'instructeur qui donneront sur un tube cathodique des vues schématiques simplifiées d'une partie quelconque du panneau de contrôle-commande. Ces affichages seront mis à jour continuellement pour qu'ils donnent les indications des appareils de mesure, les indications d'état, la position des interrupteurs manuels, etc. exactement comme elles apparaissent sur le panneau de contrôle-commande, et l'instructeur pourra ainsi observer, de sa console, l'état de tous les dispositifs du panneau bien qu'il en soit trop éloigné pour les voir directement.

5. RESUME ET CONCLUSIONS

L'expérience CANDU dans les domaines de la liaison avec les opérateurs et de la conception et de l'emploi des simulateurs de formation fait ressortir un certain nombre de principes importants:

1. les affichages commandés par ordinateur sont d'ordinaire plus souples du point de vue de l'utilisation et plus faciles à disposer pour convenir aux besoins des opérateurs. Ils devraient simplifier la tâche des opérateurs en remplaçant les instruments classiques au lieu de seulement compléter ces instruments;
2. les systèmes annonceurs d'alarme rationalisés, assistés par ordinateur, y compris l'établissement des priorités, le groupement et la suppression des alarmes moins importantes permettront de diriger les opérateurs rapidement vers la cause du dérangement;
3. on peut mieux tenir une plus grande partie de relevés de service de la centrale en surveillant par ordinateur au lieu de par enregistreurs à graphique classiques. Ici encore, les relevés d'ordinateur devraient remplacer les relevés classiques et non simplement les compléter;
4. on devrait considérer l'ensemble du concept de la liaison homme-machine comme une tâche intégrée afin d'assurer une disposition rationnelle des panneaux et des règles cohérentes pour les couleurs, l'emplacement des interrupteurs, des voyants, des présentations d'affichage etc., d'un panneau à l'autre. On devrait aussi pouvoir assurer une exploitation convenable sans avoir à se déplacer exagérément d'un panneau à l'autre;
5. la formation des opérateurs par simulateurs permet de réduire la durée de la formation en centrale nécessaire aux opérateurs. L'avantage est d'autant plus grand que le simulateur reproduit toutes les fonctions et est une reproduction fidèle de la centrale pour laquelle l'opérateur sera autorisé;
6. on devrait prévoir un mécanisme permettant à l'opérateur d'apporter au système le fruit de son expérience dans les centrales et sur simulateur de formation afin de modifier les concepts de la liaison homme-machine lorsque cela est approprié. Les concepts à ordinateur devraient être suffisamment souples pour permettre le bon contrôle des modifications;
7. le facteur de capacité des réacteurs CANDU dépasse celui de tous les autres réacteurs, en partie grâce à une liaison bien conçue et automatisée et à la formation complète des opérateurs.

REFERENCES

- [1] McCONNELL, L.G., Expérience acquise dans l'exploitation du CANDU. Communication N°IAEA-CN-42/68. Conférence internationale sur l'expérience acquise dans le domaine nucléoénergétique, Vienne (1982).
- [2] HOWEY, G.R., Ontario Hydro Hires Staff Centrally, Nuclear Engineering International 25. 296 (1980) 29.
- [3] McNEIL, T.O., FIEGUTH, W., Systèmes d'ordinateurs utilisés dans les centrales CANDU. Conférence canadienne sur les ordinateurs industriels, Hamilton, (1982).

MOIS	
1	INTRODUCTION AU SIMULATEUR — 1 SEMAINE
2	— ENTREVUES ET SÉLECTION
3	— TRAVAIL EN ÉQUIPE
4	— COURS
4	— SÉMINAIRES
	— AUTOFORMATION
5	— TÂCHES
6	EXAMEN NUCLÉAIRE GÉNÉRAL
	— COURS
	— SÉMINAIRES
7	— AUTOFORMATION
8	— TÂCHES
9	EXAMEN CLASSIQUE GÉNÉRAL
10	
	— TRAVAIL EN ÉQUIPE — CONTRÔLES LOCAUX
11	— COURS
12	EXAMENS DE RADIOPROTECTION
13	
	— TRAVAIL EN ÉQUIPE — CONTRÔLES LOCAUX
14	— QUALIFICATION D'OBSERVATEUR DE PANNEAU DE COMMANDE
15	PREMIER COURS DE SIMULATEUR — 3 SEMAINES
16	— TRAVAIL EN ÉQUIPE — CONTRÔLES LOCAUX
	— SÉMINAIRES ET AUTOFORMATION
	EXAMEN CLASSIQUE SPÉCIFIQUE
17	DEUXIÈME COURS DE SIMULATEUR — 3 SEMAINES
18	— TRAVAIL EN ÉQUIPE — CONTRÔLE LOCAUX
	— SÉMINAIRES
19	— AUTOFORMATION
20	EXAMEN NUCLÉAIRE SPÉCIFIQUE
	TROISIÈME COURS DE SIMULATEUR — 2 SEMAINES
21	— TRAVAIL EN ÉQUIPE — CONTRÔLES LOCAUX
22	TROISIÈME COURS DE SIMULATEUR — 1 SEMAINE D'EXAMEN
23	— CO-PILOTAGE
24	
25	— ENTREVUES
	— DEMANDE D'AUTORISATION
26	PREMIER OPÉRATEUR DE RÉACTEUR AUTORISÉ

TABLEAU I DESCRIPTION SIMPLIFIÉE DE LA FORMATION DE PREMIER OPÉRATEUR (FAISANT RESSORTIR LES COURS DE SIMULATEUR)

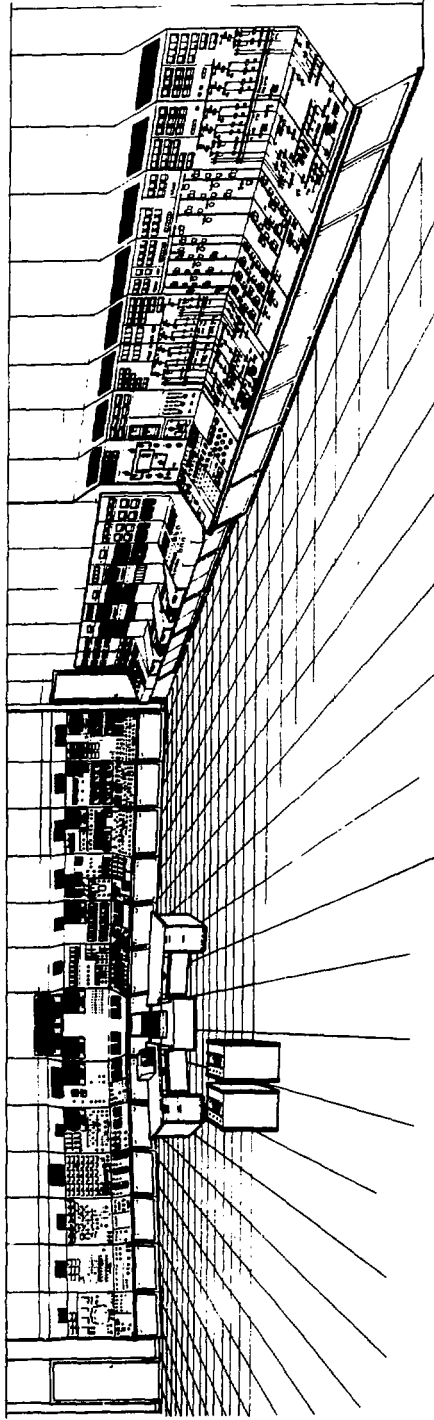


FIG. 1 SALLE DE COMMANDE DE CENTRALE 600 MW(ε)

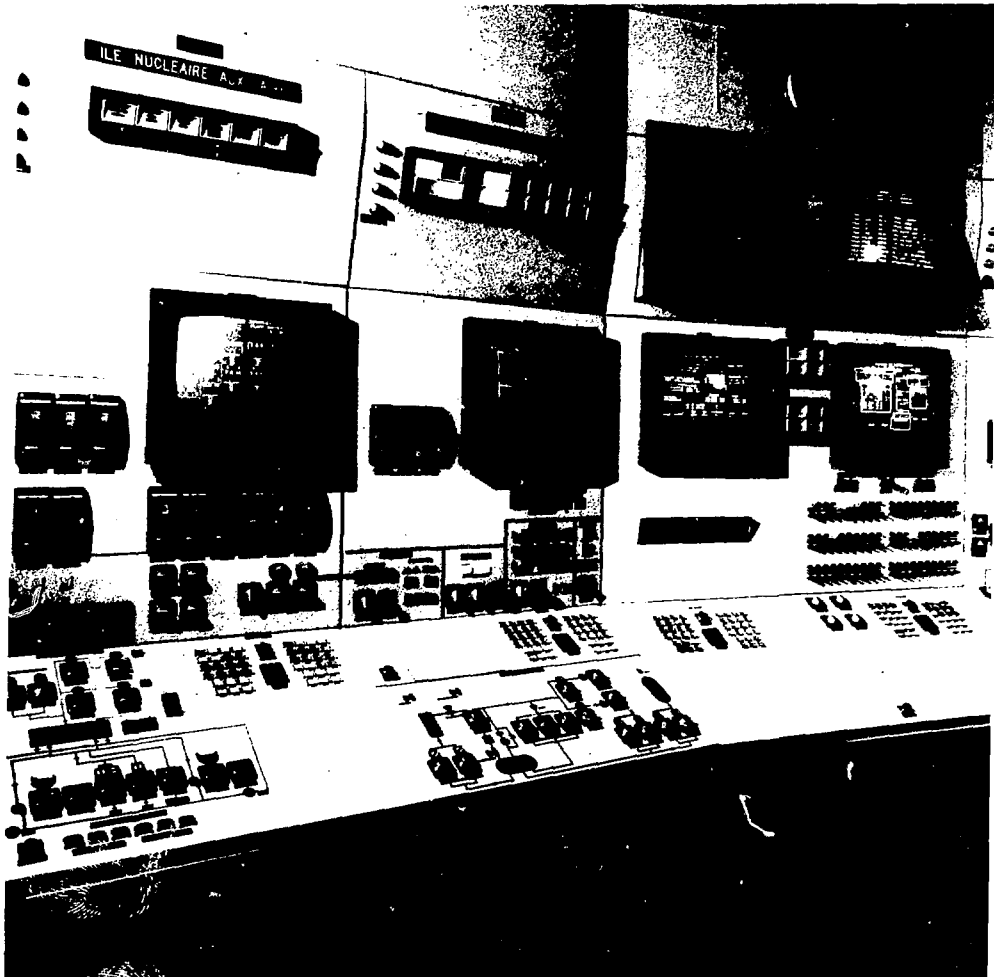


FIG. 2 TABLEUX DE COMMANDES, 600 MW(E)

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