

AECL-7765

ATOMIC ENERGY  
OF CANADA LIMITED



L'ÉNERGIE ATOMIQUE  
DU CANADA LIMITÉE

**CANADA'S URANIUM FUTURE, BASED ON  
FORTY YEARS OF DEVELOPMENT**

**L'avenir de l'uranium au Canada après quarante  
ans de développement**

**N. ASPIN, R.M. WILLIAMS and R.G. DAKERS**

Report IAEA-CN-42/142 presented at the IAEA International Conference on  
Nuclear Power Experience, Vienna, 13-17 September 1982

(Egalement disponible en français sous le numéro AECL-7765F)

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

CANADA'S URANIUM FUTURE, BASED ON FORTY YEARS OF DEVELOPMENT

N. Aspin  
Canadian Nuclear Association,  
Toronto, Ontario  
Canada

R.M. Williams  
Department of Energy, Mines and Resources  
Ottawa, Ontario  
Canada

R.G. Dakers  
Eldorado Nuclear Limited  
Ottawa, Ontario  
Canada

Report IAEA-CN-42/142 presented at the IAEA International Conference on  
Nuclear Power Experience, Vienna, 13-17 September 1982.

(Egalement disponible en français sous le numéro AECL-7765F)

Chalk River Nuclear Laboratories  
Chalk River, Ontario  
September 1982

AECL-7765

# L'ENERGIE ATOMIQUE DU CANADA LIMITEE

## L'AVENIR DE L'URANIUM AU CANADA APRES QUARANTE ANS DE DEVELOPPEMENT

par

N. Aspin, R.M. Williams et R.G. Dakers

### RESUME

Le rôle du Canada en tant que principal fournisseur d'uranium s'est amplifié dans les marchés cycliques de ces quarante dernières années. L'évaluation que l'on fait actuellement des ressources en uranium permettrait de penser qu'il serait possible, pour la fin des années 1980, d'accroître la production d'uranium de 50% par rapport aux quantités produites en 1959, qui étaient de 12 200 tonnes.

De nouvelles techniques susceptibles d'améliorer l'exploration sont mises au point puisque la découverte de gisements d'uranium devient de plus en plus difficile. La prospection radiométrique des champs de moraines glaciaires et l'emploi de méthodes de géophysique des sols ont contribué pour une large part à des découvertes récentes en Saskatchewan. Des progrès ont également été réalisés dans l'application des techniques de reconnaissance radiométriques aériennes, de diagraphie des trous de sonde, d'émanométrie (au radon et à l'hélium) et de géochimie régionale multi-élément.

L'automatisation et la mécanisation ont permis d'accroître le taux de productivité dans le domaine de l'exploitation de l'uranium; en outre, l'amélioration des systèmes de ventilation et une meilleure surveillance du milieu de travail au fond des mines ont contribué à assurer la santé et la sécurité des travailleurs. On assiste à une efficacité et à un rendement meilleurs dans toutes les phases du traitement du minerai.

On étudie présentement les facteurs qui contribuent à augmenter le temps qu'il faut pour exploiter les mines et les usines d'uranium, puisque dans les années 1950 il fallait trois ans, alors que maintenant il en faut dix.

La capacité de la raffinerie d'uranium du Canada de fabriquer de la poudre d' $UO_2$  qualité céramique selon des normes conformes est un facteur important qui a contribué à la mise au point fructueuse d'un combustible en uranium naturel de forte densité pour le réacteur CANDU (CANada Deutérium Uranium). Plus de 400 000 assemblages combustibles ont été fabriqués par trois sociétés. La raffinerie entreprend de développer sur une grande échelle sa capacité de production.

Au cours des dix dernières années, l'inquiétude croissante à l'égard des répercussions sociales et écologiques que peut avoir la production d'uranium a donné lieu à un certain nombre d'enquêtes publiques qui ont permis de faire un examen sérieux de toutes les phases de l'industrie de l'uranium. Il en a résulté l'établissement de conditions qui assurent la sécurité dans les travaux de prospection, d'exploitation et d'affinage.

(Egalement disponible en français sous le numéro AECL-7765F)

Laboratoires nucléaires de Chalk River  
Chalk River, Ontario  
1982 septembre

AECL-7765

## CANADA'S URANIUM FUTURE, BASED ON FORTY YEARS OF DEVELOPMENT

## ABSTRACT

Canada's role as a major supplier of uranium has matured through the cyclical markets of the past forty years. Present resource estimates would support a potential production capability by the late 1980s 50 per cent greater than the peak production of 12 200 tonnes uranium in 1959.

New and improved exploration techniques are being developed as uranium deposits become more difficult to discover. Radiometric prospecting of glacial boulder fields and the use of improved airborne and ground geophysical methods have contributed significantly to recent discoveries in Saskatchewan. Advances have also been made in the use of airborne radiometric reconnaissance, borehole logging, emanometry (radon and helium gas) and multi-element regional geochemistry techniques.

Higher productivity in uranium mining has been achieved through automation and mechanization, while improved ventilation systems in conjunction with underground environmental monitoring have contributed to worker health and safety. Improved efficiency is being achieved in all phases of ore processing.

Factors contributing to the increased time required to develop uranium mines and mills from a minimum of three years in the 1950s to the ten years typical of today, are discussed.

The ability of Canada's uranium refinery to manufacture ceramic grade  $UO_2$  powder to consistent standards has been a major factor in the successful development of high density natural uranium fuel for the CANDU (CANada Deuterium Uranium) reactor. Over 400 000 fuel assemblies have been manufactured by three companies. The refinery is undertaking a major expansion of its capacity.

During the past decade, the increased concern for social and environmental issues gave rise to a number of public inquiries that have examined every phase of the uranium industry. As a result, conditions under which uranium exploration, mining and refining can proceed safely have been established.

## 1. INTRODUCTION

The major development of Canada's uranium industry began forty years ago with the reopening in the Northwest Territories of the Port Radium mine, in response to the demand for uranium by the United States and British governments. At the same time, the radium plant at Port Hope in Ontario was converted to produce nuclear-pure uranium trioxide ( $UO_3$ ). With government incentives and strong demand, the industry developed quickly and by 1959 twenty-three mines with nineteen ore-processing plants were in operation in five mining districts. Production in that year (Fig. 1) reached 12 200 tonnes uranium, equivalent to 37 percent of the Western world total [1].

The early uranium discoveries relied to a large extent on the surface expression of the ore body, since at present there is no technique that can directly detect uranium more than a short distance from mineralization. However, the Canadian industry has developed a wide variety of exploration technologies, which when used in combination with painstaking data analysis have been responsible for finding some of the recent uranium ore bodies in Saskatchewan that can occur at depth or beneath excessive thicknesses of overburden.

Canadian production facilities have attained a high level of efficiency. Several are large capacity operations and all have successfully achieved successively higher standards of worker health and safety. Following the initial development of ore processing and refining technologies, research and development efforts have been directed towards the introduction of cost-saving efficiencies and the implementation of modifications that will reduce the environmental impact of production.

This high degree of uranium exploration and mining activity has attracted a great deal of public attention. Over an eight year period, there have been fourteen public enquiries in Canada into all phases of the uranium industry. The overwhelming conclusion of these public examinations has been that it is in the public interest and benefit to proceed with uranium exploration and mining provided that state-of-the-art technologies are used.

## 2. PRODUCTION POTENTIAL

The first major commercial sales of Canadian uranium were made in 1966, although nuclear power programs did not develop as rapidly as anticipated, and it was not until 1973 that the industry showed true signs of revival from the decline of the

1960s [1,2]. Despite this uneasy transition from government purchases to the commercial era, Canada's industry continued to be a major supplier of uranium to the world market. Second only to the United States, Canada has accounted for almost 20 per cent of the world's production for the past 15 years.

With the advent of the sellers' market in 1974, Canadian exploration activity increased dramatically. By 1976, exploration expenditures had risen to \$43 million<sup>1</sup>, a 10-fold increase over levels of activity recorded in 1971 and 1972. Expenditures continued to rise to almost \$130 million in both 1980 and 1981. This activity has led to several important discoveries in northern Saskatchewan, which have contributed to increases in estimates of Canada's uranium resources. According to the most recent assessment of world uranium supply, prepared jointly by the Nuclear Energy Agency (NEA) of OECD and the International Atomic Energy Agency (IAEA), Canada currently possesses a sizeable portion of the world's uranium resources [3], that is, almost 12 per cent of the Reasonably Assured Resources and 28 percent of the world's Estimated Additional Resources [3].

In 1981, Canada had eight uranium operations, all located in Ontario and Saskatchewan, which produced a total of 7 800 tonnes uranium (Table 1). In addition, two production centres were under construction and expected to be in production by 1984, at which time Canada's annual uranium production capability will approach 15 000 tonnes uranium. Several other prospective production centres exist that could increase Canada's supply capability still further, as illustrated in Fig. 2. Actual achievement of the levels of production envisaged under these production-capability scenarios, however, will be dependent on market development [4,5].

### 3. EXPLORATION TECHNOLOGY

Considerable experience was gained by the Canadian mineral industry in the field of uranium exploration technology during the boom years of the 1940s and 1950s. However, since virtually no exploration for uranium was carried out in Canada between 1956 and 1966, most of the specialized development in uranium exploration technology has occurred over the past 15 years. The discovery of Saskatchewan's Rabbit Lake deposit in 1968 marked the beginning of a major exploration effort, which has resulted in a number of important discoveries, all associated with the unconformity at the base of the Athabasca Sandstone. More than half of Canada's total uranium exploration expenditures in recent years has been in this area, and this effort has been a major contributing factor to the development and application of new and improved exploration techniques.

In contrast to deposits of other economic minerals, uranium is commonly not directly detectable by techniques known at present for more than a short distance from mineralization. Deposits occurring at depth, for example, or beneath excessive thicknesses of overburden or permafrost are not readily detectable. There is

<sup>1</sup>Canadian \$

no specific exploration technique with universal application and a wide variety of methods are commonly required, often in combination, depending on the particular geographical and geological conditions. The importance of determining favourable areas, before selecting the detailed exploration techniques to be used, has been demonstrated in the case of a number of discoveries, as has the importance of the re-interpretation of previously available data [6].

The exploration program that led to the discovery of the Key Lake deposits in 1975 and 1976 is one of several well-documented Canadian cases, where a wide variety of geological, geophysical and geochemical techniques were used. Over 40 different exploration methods were employed, together with some 2 400 drill holes, before the deposits were fully delineated [7]. A variety of methods were also used in the program that led to the Midwest Lake discovery in 1977, several of them designed to help determine the thickness of sandstone over the pre-Athabasca unconformity. In common with Key Lake, Rabbit Lake, and Cluff Lake, the Midwest Lake area has been subjected to continental glaciation, and boulder-tracing techniques proved very useful in narrowing the search. Ultimately the availability of geological knowledge about other discoveries in the area resulted in the re-interpretation of geological and geophysical data and a subsequent deep drilling program that led to the Midwest Lake discovery at a depth of 200 metres [8].

Canadian industry has been in the forefront of developing new and improved geophysical techniques and its expertise in this field has gained worldwide recognition. Fixed-wing airborne magnetic, electromagnetic and radiometric systems, used for reconnaissance exploration and geological mapping, have attained a high degree of sophistication, and helicopter-borne systems are now being routinely employed in more detailed prospecting programs. Significant strides continue to be made in the area of computerized data processing, interpretive and presentation systems, more recently with the incorporation of microprocessors and memory modules into ground geophysical (and geochemical) equipment, leading to increased automation and cost-effectiveness. Sophisticated gradiometer/magnetometer and electromagnetic systems are being developed to attain greater capabilities for depth penetration and increased use is being made of advanced borehole logging techniques with similar objectives. Many of these techniques have been used successfully in the Athabasca Basin [9].

In the field of geochemistry, significant improvements have been achieved in the design of equipment and techniques for measuring radon concentrations in soils and for the systematic sampling of lake and stream sediments and lake, stream and subsurface waters. The latter developments have been a spin-off from Canada's Uranium Reconnaissance Program (URP), conducted jointly by the federal and provincial governments from 1975 to 1979. URP has provided useful regional radiometric and geochemical data for large areas of Canada, and is now being



used routinely by the industry for reconnaissance-stage uranium exploration [4,9].

#### 4. MINING TECHNOLOGY

In the 1950s, the federal government through its Crown Corporation, now known as Eldorado Nuclear Limited, was the sole purchaser of uranium concentrates for upgrading and resale to the United States and British governments. It provided fixed price contracts with firm delivery schedules out to 1963 [2]. Ontario's new Elliot Lake mining companies were under great pressure to bring their mines into operation and start delivering uranium concentrates. Under these circumstances, 18 months was the average time from initial design to first production from a mine-mill complex [10]. There was no time for a phased development so the mines came into operation at their maximum design capacity [11].

Elliot Lake ore is mined at depths of up to 1 000 metres with an average uranium grade of about one kilogram per tonne. Under these conditions, plants were designed to extract and process from 3 000 to almost 6 000 tonnes of ore per day. Most companies opted for load-haul-dump, trackless mining methods because the ore bodies were sufficiently thick and shallow-dipping. Some companies had difficulty achieving high efficiencies with these mining techniques and reverted, at great expense, to more conventional slusher-stopping operations with track haulage [12]. In recent years, a shortage of experienced miners has caused a shift back to trackless mining and increased automation and mechanization. These developments, together with expanded ore handling capacities, have made the large tonnage Elliot Lake operations highly efficient.

Initially, underground ventilation in uranium mines was typical of that in the Canadian hard rock mining industry, that is, 57 000 cubic metres a minute with an efficiency of 30%, increasing as the workings expanded away from the shaft [13]. The uranium mine atmosphere presents quite a challenge. In addition to radon emanations, there are aldehydes in diesel exhaust fumes, silica dust and the chemical products resulting from blasting. As the international limits for exposure to radon daughter products were progressively lowered from 12 working level months (WLM) to 4 WLM, mine ventilation was increased ten-fold and efficiency increased to 60%. Today, for example, ventilation accounts for 15% of the operating cost of an Elliot Lake mine with 14 tonnes of fresh air being required for every tonne of ore recovered [12]. All companies now undertake extensive environmental monitoring to protect the health of the underground workers and some have eliminated the hazard from diesel fumes by converting to electric powered equipment.

During the 1970s, the uranium mines in the Athabasca Basin of Northern Saskatchewan were developed under very different circumstances from those existing twenty years earlier at Elliot Lake. In the intervening years, Canadian Government policy had

changed, so that it required a peaceful end use for the Canadian uranium as fuel for the world's nuclear power reactors. This commercial market did not have an unlimited demand so that the various mines were developed in a phased manner with expanding markets.

The industry's success in responding to unique and challenging situations has been recently illustrated with the start-up of Saskatchewan's Cluff Lake mining operation. The "D" ore body at Cluff Lake was unique among the high grade ore bodies of the Athabasca region [14] and the open-pit mining of the ore body presented a new set of problems in terms of radiation protection of the miners. With the exception of the bench being worked, a thick cover of non-radioactive overburden was maintained over the ore at all times to serve as radiation shielding. The ore was mined using earth movers whose cabs were pressurized with filtered air to protect the operators. The trucks transporting the ore to the nearby mill passed through a special external washing procedure each time they left the pit in order to prevent environmental contamination. The "D" ore body, containing over 5 000 tonnes of uranium, was completely mined out in two summers of operations although the mill is still processing stockpiled ore. The new developments in the Athabasca Basin are also of a different character than Canada's established producing operations; the deposits are of higher grade and amenable to open-pit exploitation, thus contributing to lower costs of production.

#### 5. ORE PROCESSING TECHNOLOGY

With the exception of Eldorado's plant near Uranium City, Saskatchewan, which uses an alkaline leaching process, all Canadian uranium mills have used an acid leaching process to extract uranium from the ore. This process was developed by the laboratories of Canada's Department of Energy, Mines and Resources based on prior experience in South Africa. With minor modifications, this extraction technology was used in all 11 mines in the Elliot Lake district. Although there have been improvements in the process over the years aimed at improving efficiency and decreasing costs, the technology remains the mainstay of the industry as demonstrated by its continued use in Elliot Lake's three operating plants.

In this process, the ore is crushed and ground to a 200 mesh size pulp. Initially, this was achieved by grinding in rod and ball mills, which have now been replaced by semi-autogenous grinding followed by pebble milling. The water and solids are separated in neutral thickeners and disc filters with the solids being resuspended in sulphuric acid in rubber-lined steel pachuca where they are heated by steam to a temperature of 75°C for a period of 48 hours. This treatment extracts some 97% of the uranium from the ore. The pregnant solution, containing the uranium following separation from the solids by filtration, is loaded onto ion exchange columns while the solids are neutralized with limestone and sent to the tailings disposal area. The

uranium is eluted from the ion exchange columns with nitric acid and precipitated with ammonia. The resulting ammonium diuranate or yellowcake is dried and packaged for shipment to the Eldorado refinery.

A significant departure from this generally used process has been made at the Cluff Lake operation, because of the extremely high grade of the ore in the "D" ore body [14]. High grade ore (greater than 30%) is mixed with the high grade output (45%) from gravity separation of medium grade ores. This mixture is subjected to acid leaching, followed by two direct precipitation steps to produce yellowcake, thus eliminating an ion-exchange or solvent extraction purification stage. The low grade fraction from the pre-concentration still contains appreciable quantities of uranium and is stockpiled for processing by more conventional extraction techniques when the property's lower grade ore bodies are exploited in the future.

In the early days of the industry, uranium mill tailings were treated in the same manner as tailings from any base metal operation. In recent years, increasing societal concerns about the slow release of radioactivity from tailings has led to increased regulatory controls that have produced many changes in the design and management of tailings areas. Containment now takes place behind engineered impervious structures and greater care is taken with the treatment of effluents before they are discharged into local water-ways. Re-vegetation of abandoned tailings areas is undertaken whenever possible.

Much of Canada's research and development in the ore processing area is directed towards the modification of the milling processes to produce tailings that are more environmentally benign [15]. In a wider context, detailed consideration is being given to the conditions that will ensure that tailings areas will not present a hazard to future generations.

## 6. REFINING AND CONVERSION TECHNOLOGY

The uranium refining [16] and conversion processes currently in use at Eldorado's Port Hope refinery have been developed from more than twenty years of operating experience. Twenty per cent of the refinery output is in the form of natural uranium, ceramic uranium dioxide ( $UO_2$ ) powder to fuel CANDU (CANada Uranium Deuterium) reactors, while the remaining 80% is exported as uranium hexafluoride ( $UF_6$ ) to fuel light water reactors. The processes have progressed from small, batch-scale quantities of a few hundred kilograms, developed in the 1950s, to continuous production processes of tonnage quantities in the 1980s. Based upon this experience, Eldorado is expanding its  $UO_2$  production capacity to 2 500 tonnes uranium per annum in 1982 and constructing a new refinery with 18 000 tonnes uranium per annum capacity for operation in 1983.

Although the refining and conversion of  $UO_2$  fuels is a single continuous process, there are two distinct operations, refining and conversion. In the refining operation, uranium mine concentrates or yellowcake are dissolved in nitric acid and the uranium is separated from impurities by solvent extraction, producing a purified uranyl nitrate solution. In the conversion operation, the uranyl nitrate solution is contacted with aqueous ammonia to precipitate ammonium diuranate that is separated, dried and chemically reduced with hydrogen at  $600^\circ C$  to  $UO_2$  powder. The hot  $UO_2$  powder is cooled and conditioned under a low oxygen atmosphere to produce a stabilized  $UO_2$  product.

Simplified schematics of the refining and conversion processes are shown in Fig. 3.

The development of the refining process from small batch-scale operations to larger-scale continuous operations has been brought about by improved knowledge of the chemical parameters and closer control of the process variables. Control of the solvent extraction operation, the single most important unit operation in the refining process, has required the development of methods to determine the effect and interaction of impurities on the separation of uranium. As the volume of production increased, so did the need for the control of other process variables such as temperature, acidity, energy input, and solvent and solution flowrates. The development of reliable process instrumentation greatly assisted in improved control and increased efficiency in the solvent extraction operation.

Similar advances have been made in the  $UO_2$  conversion process, particularly in the hydrogen reduction process used to produce  $UO_2$  powder. Successively larger-size rotary kilns have been developed up to the present 75 cm diameter kiln, which has a 1 200 tonne uranium per annum capacity, to replace the original batch-reduction furnaces. The development has required the controlling of temperatures and kiln conditions within a narrow range to produce the special physical properties of  $UO_2$  powder required for the manufacture of CANDU fuel.

Increasingly stringent regulatory requirements for occupational health, safety and control of emissions to the environment have necessitated increased recycling within the plant and the development of improved emission control systems. Installation of recycle and chemical recovery systems have increased the complexity of the process and imposed additional control requirements.

The increased ventilation requirements within the operating plants have required the use of large air filtration systems, usually with secondary or back-up systems installed in series with the primary system.

The disposal of chemical and low-level radioactive wastes from uranium refining and conversion operations has been an increasingly difficult problem. In 1980, after some five years

in the development, approval was received to recycle liquid refinery wastes to uranium mills for recovery of residual uranium, not extracted in the refining process. This recycle system has proven to be both economically and environmentally attractive.

A second liquid waste, ammonium nitrate, produced in the  $UO_2$  conversion process has been approved for use as liquid fertilizer. Currently, 1 million litres per annum of this material are being distributed for agricultural use.

Historically, the cost of uranium refining and conversion has been less than 10 per cent of the finished cost for CANDU fuel. Labour, chemicals, energy and maintenance costs are the major components of these refining and conversion costs.

Future developments will continue the trend of increasing automation of uranium refining and conversion processes. Recycle and recovery systems will be used to offset the rising costs of energy and chemicals and to minimize the generation of wastes in the process. New plants will be essentially pollution free and isolated from the environment.

## 7. FUEL FABRICATION

CANDU fuel is designed to maximize uranium content and minimize neutron absorbing material, so that each 24 kg fuel bundle contains more than 90 per cent uranium dioxide. The rapid development of fuel was greatly assisted by the availability of three experimental reactors capable of simulating power reactor conditions. Our understanding of fuel performance leading to improved designs was helped by the features of CANDU, which permit on-line detection of defective fuel and its prompt removal by the on-power refuelling system. The majority of the early defects were caused by reactor power ramps and these were eliminated by changing the fuelling schemes and through the introduction of graphite-CANLUB coatings on the inside of the Zircaloy sheath. Over 99.8% of the fuel bundles irradiated have performed as intended [17].

In addition to the early development program jointly conducted by Eldorado and Atomic Energy of Canada Limited (AECL), the successful development of natural uranium fuel for CANDU reactors has required the coordinated efforts of the main user of the CANDU system, Ontario Hydro, and the fuel fabricators, Canadian General Electric Company Limited, Combustion Engineering Superheater Limited and Westinghouse Canada Limited. These three companies have fabricated over 400 000 fuel assemblies in total. The fabrication of the fuel, and the associated quality assurance program are described by Gacesa et al. [18].

## 8. THE PUBLIC PROCESS

Formal public evaluation of uranium projects has become a regular feature at every stage of development of the Canadian uranium industry. The following commissions of inquiry have deliberated during the past eight years.

- 1974 - Ham Commission - Ontario [19].
- 1975 - Environmental Assessment and Review Process for Port Granby, Blind River, Dill Township, Hope Township and Warman [20].
- 1976 - Environmental Assessment for Elliot Lake Expansion [21].
- 1977 - Bayda Inquiry - Saskatchewan [22].
- 1979 - Bates Commission - British Columbia [23].
- 1979 - Environmental Assessment - Labrador [24].
- 1979 - Key Lake Inquiry - Saskatchewan [25].
- 1980 - Select Committee on Ontario Hydro Affairs [26].
- 1981 - Northwest Territories Uranium Inquiry [27].
- 1982 - McCleave Commission - Nova Scotia [28].

The style of these hearings has varied widely, from royal commissions of inquiry to select committees of provincial legislatures to environmental assessment boards. In general, these hearings have found that it is in the public interest to proceed with the projects provided that state-of-the-art technologies are utilized.

There is no doubt that societal concerns have increased the number of regulatory requirements on the uranium industry. For example, in the expansion of the Elliot Lake mines, the Ontario Government empowered the Environmental Assessment Board to publicly scrutinize every phase of the proposals. The Board hearings extended over a three year period and resulted in short and long term recommendations, primarily affecting the usage of water and process chemicals in the mills and the management of tailings and their effluents.

When the Elliot Lake mines first opened in the 1950s they were regulated primarily by the Ontario Mining Act. The federal government's Atomic Energy Control Act had the ultimate authority, but at that time contained very few mining regulations. In marked contrast, the present expansion or re-opening of each facility requires federal government approval under the much extended regulations of the Atomic Energy Control Act together with some 30 provincial approvals.

In an environment of heightened public interest, the Saskatchewan government was anxious to resolve whether or not uranium exploration and mining should be permitted in the province. Toward this end, the Cluff Lake Board of Inquiry was established early in 1977. Following the release of the Board's recommendations in mid-1978, the provincial government approved the start-up of the Cluff Lake mining operations [22] and the continuance of uranium exploration and mining in Saskatchewan.

In addition to the requirement that 50% of the mine workers be northern residents and that business opportunities for northerners be available in each project, the developers of the Cluff Lake project made an additional social decision in not building a permanent mine site community. Following the lead taken earlier with the development of the Rabbit Lake deposit, the company established a fly-in-fly-out schedule for all employees, one week on - one week off, with a two-shift a day, seven-day, work week. This has helped to reduce the social cost, which had contributed to the high cost of production at Eldorado's Uranium City operation in Northern Saskatchewan.

To ensure greater public participation in provincial resource development and an orderly start-up schedule for the proposed uranium mines, the Saskatchewan Mining Development Corporation was created. This public company may purchase up to 50% participation in any uranium exploration or mining venture in the province. Ten years is approximately the time required to bring a Canadian uranium mine complex into production in the 1980s. This is about five times longer than it took to open an uranium mine in the early 1950s. Many factors have contributed to this change. For example, the uranium market has changed from one in which governments would buy every kilogram of uranium that could be mined to one that is very sensitive to the changing expansion plans of the nuclear power industry. Responding under these latter circumstances requires careful planning and phasing of each new uranium operation. Each new uranium facility generates its own public hearing process. While many generic issues have been settled by previous inquiries, there are still many local issues surrounding each proposal and time is required for an adequate public participation. All of these factors combine to stretch out the time required to bring a facility into production and result in major increases in the overall cost. Currently, it appears that most uranium mining issues have been addressed, with future changes being of degree, not of substance. The one outstanding issue relates to the requirements for the abandonment and close-out of uranium tailings areas. Governments and the industry are working together in an effort to resolve this complex issue.

## 9. CONCLUSIONS

Canada's uranium industry is in a strong position to meet the future needs of the uranium market. Most of the output from Ontario's underground mines is committed to the year 2020, while Saskatchewan's high grade open-pit operations should be competitive in any market. With this strong base, the development

of many other promising deposits, which are scattered from the Atlantic to the Pacific and north of the Arctic Circle, will be entirely dependent on the future growth in demand for uranium.

Canada's strong research capabilities in both exploration and production technology will continue to be great assets to the industry. New and improved exploration techniques are being developed that will aid in efforts to realize Canada's significant additional uranium potential. Continued efforts to increase the productivity of uranium production can be expected and the evolution of advanced ore processing, refining and conversion processes should reduce dramatically the environmental impact of associated operations. Obviously, the implementation of any such developments will be extremely sensitive to the future development of nuclear power.

#### ACKNOWLEDGEMENTS

Assistance and contributions were received by the authors from a number of colleagues in industry and the Department of Energy, Mines and Resources (EMR). Particular thanks are due to Dr. V. Ruzicka of the Geological Survey of Canada, to Messrs. R.J.R. Welwood and M.C. Campbell of EMR's Canada Centre for Mineral and Energy Technology, to Mr. M. de Bastiana and Dr. J.L. Chackravatti of Denison Mines Limited, to Messrs. K.D. Hester, K. Culver and D. Winckworth of Rio Algom Limited and Mr. G.T. Leaist of Saskatchewan Mining Development Corporation.

#### REFERENCES

- [1] WILLIAMS, R.M., LITTLE, H.W., GOW, W.A., BERRY, R.M., "Uranium and Thorium in Canada: Resources, Production and Potential", Peaceful Uses of Atomic Energy (Proc. 4th Int. Conf., Geneva, 1971) Vol. 8, IAEA, Geneva (1972).
- [2] RUNNALLS, O.J.C., Ontario's Uranium Mining Industry - Past, Present and Future, Ontario Mineral Policy Background Paper no. 13, Ontario Ministry of Natural Resources (1981).
- [3] Uranium Resources, Production and Demand, OECD, Paris (1982).
- [4] Uranium in Canada, 1980 Assessment of Supply and Requirements, Energy Mines and Resources, Canada, Report EP 81-3 (1981).
- [5] WHILLANS, R.G., Uranium, A Review of the Canadian Industry, Canadian Mining Journal (1982).
- [6] Uranium Exploration Case Histories (Proc. of an NEA/IAEA Advisory Group Meeting, Vienna, 1979) IAEA, Vienna (1981).
- [7] GATZWEILER, R., SCHMELING, B., TAN, B., "Exploration of the Key Lake Uranium Deposits, Saskatchewan, Canada", Uranium Exploration Case Histories (Proc. of an NEA/IAEA Advisory Group Meeting, Vienna, 1979) IAEA, Vienna (1981).
- [8] SCOTT, F., "Midwest Lake Uranium Discovery, Saskatchewan, Canada", Uranium Exploration Case Histories, (Proc. of an NEA/IAEA Advisory Group Meeting, Vienna, 1979) IAEA, Vienna (1981).
- [9] HOOD, P.J., Mineral Exploration Trends and Developments in 1981, Canadian Mining Journal (1982) 22-61.
- [10] Mining, Metallurgy, and Geology in the Algoma Uranium Area, 6th Commonwealth Mining and Metallurgical Cong. (1957).



- [11] Le BOURDAIS, D.M., "Canada and the Atomic Revolution", McClelland and Stewart Ltd., Toronto (1959).
- [12] CULVER, K.B., An Overview of the Rio Algom Expansion Program at Elliot Lake, Ontario, CIM Bulletin (1980).
- [13] CHACKRAVATTI, J.L., GRAY, D.H., Improving Ventilation and Control of Mining Environment at Denison Mines at Elliot Lake, 45th Annual Technical Session of Mine Accident Prevention Assoc. of Ontario (1976).
- [14] TABOURET, M., Mining and Milling High-Grade Uranium Ores, AIF/CNA Int. Conf. on Uranium, Quebec City, (1981).
- [15] HAW, V.A., RITCEY, G.M., SKEAFF, J.M., DAVE, N., SILVER, M., Uranium Tailings Research at The Canada Centre for Mineral and Energy Technology (CANMET), paper no. IAEA-CN-42/91, IAEA Int. Conf. on Nuclear Power Experience, Vienna (1982).
- [16] Refining and Converting Uranium into Nuclear Fuel, Eldorado Nuclear Limited, Ottawa (1981).
- [17] MacEWAN, J.R., NOTLEY, M.J.F., WOOD, J.C., GACESA, M., CANDU Fuel: Past, Present, and Future, paper no. IAEA-CN-42/143, IAEA Int. Conf. on Nuclear Power Experience, Vienna (1982).
- [18] GACESA, M., QUARRINGTON, G.R., TARASUK, W.R., CARRICK, I.R., PAWLIW, J., MCGREGOR, G., DEBNAM, H.R., PROOS, L., CANDU Fuel Quality and How It is Achieved, Atomic Energy of Canada Limited Rep. AECL-7061 (1980).
- [19] HAM, J.M., The Royal Commission on the Health and Safety of Workers in Mines, Toronto (1976).
- [20] Environmental Assessment and Review Process (EARP) for Proposed Uranium Refineries, Environment Canada (1975).
- [21] The Ontario Environmental Assessment Board Hearing into the Expansion of Uranium Mining at Elliot Lake (1976).
- [22] BAYDA, E.D., The Cluff Lake Board of Inquiry Final Rep., Regina (1978).
- [23] BATES, D.V., The Royal Commission of Inquiry into Uranium Mining in British Columbia, Victoria (1980).
- [24] POWELL, C.W., Rep. of the Assessment Board on the Brinex-Kitts-Michelin Uranium Projects, St. John's (1980).
- [25] MITCHELL, R.W., The Key Lake Board of Inquiry Final Rep., Regina (1981).
- [26] MacDONALD, D.C., The Select Committee on Ontario Hydro Affairs, Mining, Milling and Refining of Uranium in Ontario Final Rep., Toronto (1980).
- [27] Northwest Territories Uranium Inquiry, Legislative Assembly of the Northwest Territories, 4th Session, 9th Assembly, Hansard (1981).
- [28] McCleave Commission, Nova Scotia, hearings in progress.

Plant	Location	Nominal Daily Capacity (tonnes of ore)
<u>A. Operating</u>		
Agnew Lake Mines Limited	Agnew Lake, Ontario	NA <sup>a</sup>
Cluff Mining (Amok Ltd./SMDC)	Cluff Lake, Saskatchewan	1 360 <sup>b</sup>
Denison Mines Limited	Elliot Lake, Ontario	13 610 <sup>c</sup>
Eldorado Nuclear Limited	Eldorado, Saskatchewan	1 630 <sup>d</sup>
Gulf Minerals Canada Limited	Rabbit Lake, Saskatchewan	1 500 <sup>e</sup>
Madawaska Mines Limited	Bancroft, Ontario	1 360
Rio Algom Limited		
- Quirke Mill	Elliot Lake, Ontario	6 350
- Panel Mill	Elliot Lake, Ontario	2 990
<u>B. Committed</u>		
Key Lake Mining Corporation	Key Lake, Saskatchewan	500-700 <sup>f</sup>
Rio Algom Limited		
- Stanleigh Mill	Elliot Lake, Ontario	4 540 <sup>g</sup>

TABLE I CANADIAN URANIUM ORE PROCESSING PLANTS, 1981 [4]

<sup>a</sup>NA: Not Applicable. Although there is no active mining, uranium is being extracted using an underground and surface heap-leaching technique.

<sup>b</sup>Partnership with Saskatchewan Mining Development Corporation: a two-stage program, the first phase of which was completed in 1980.

<sup>c</sup>Plant expanded in 1981 to support rehabilitation of adjoining Stanrock/Canmet property, scheduled for completion by 1985.

<sup>d</sup>Operated at partial capacity; will cease production in June 1982.

<sup>e</sup>A joint venture with Uranerz Canada Limited.

<sup>f</sup>Production expected by July 1983.

<sup>g</sup>Rehabilitation to be completed 1983-84.

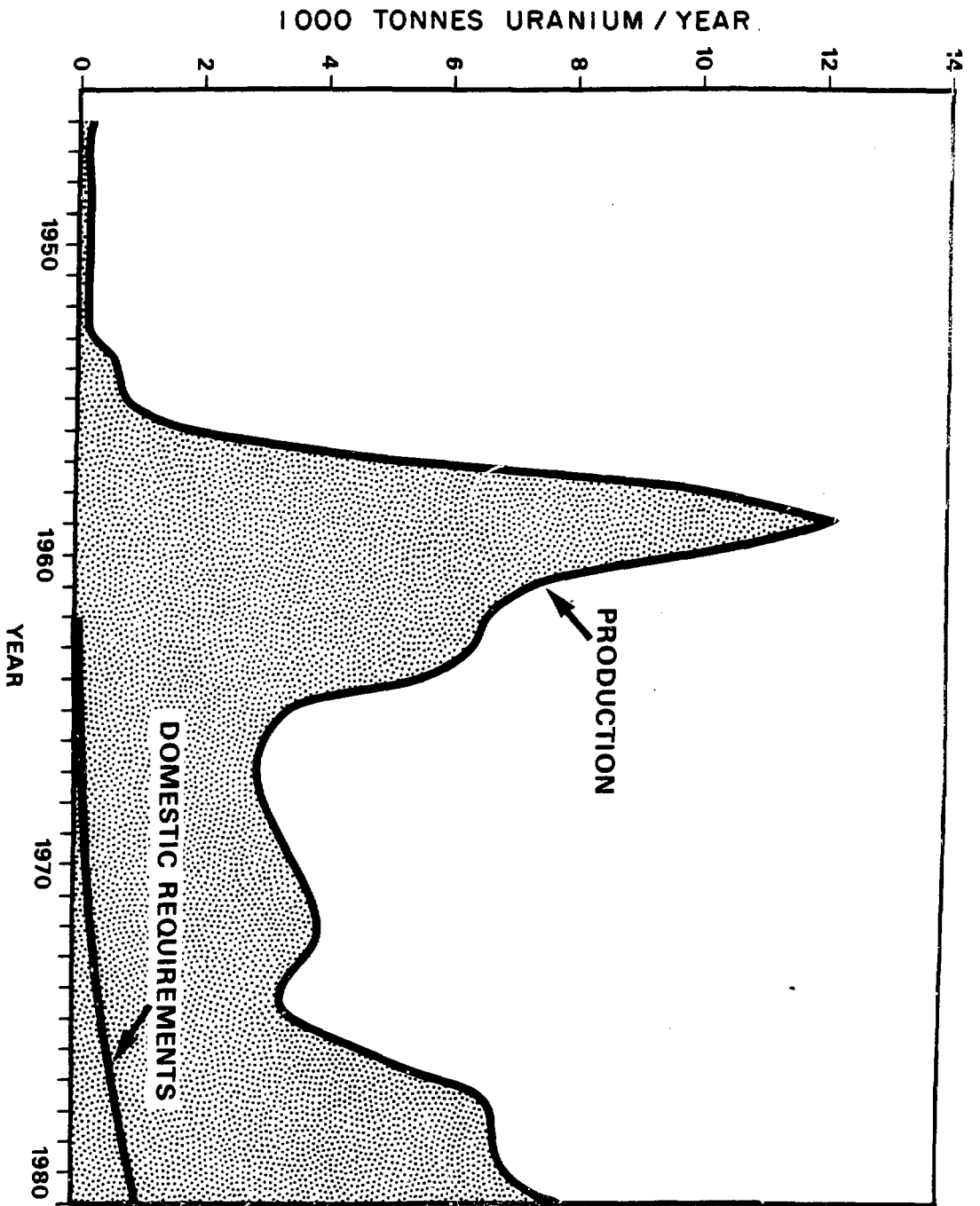


FIG. 1 CANADIAN URANIUM PRODUCTION HISTORY

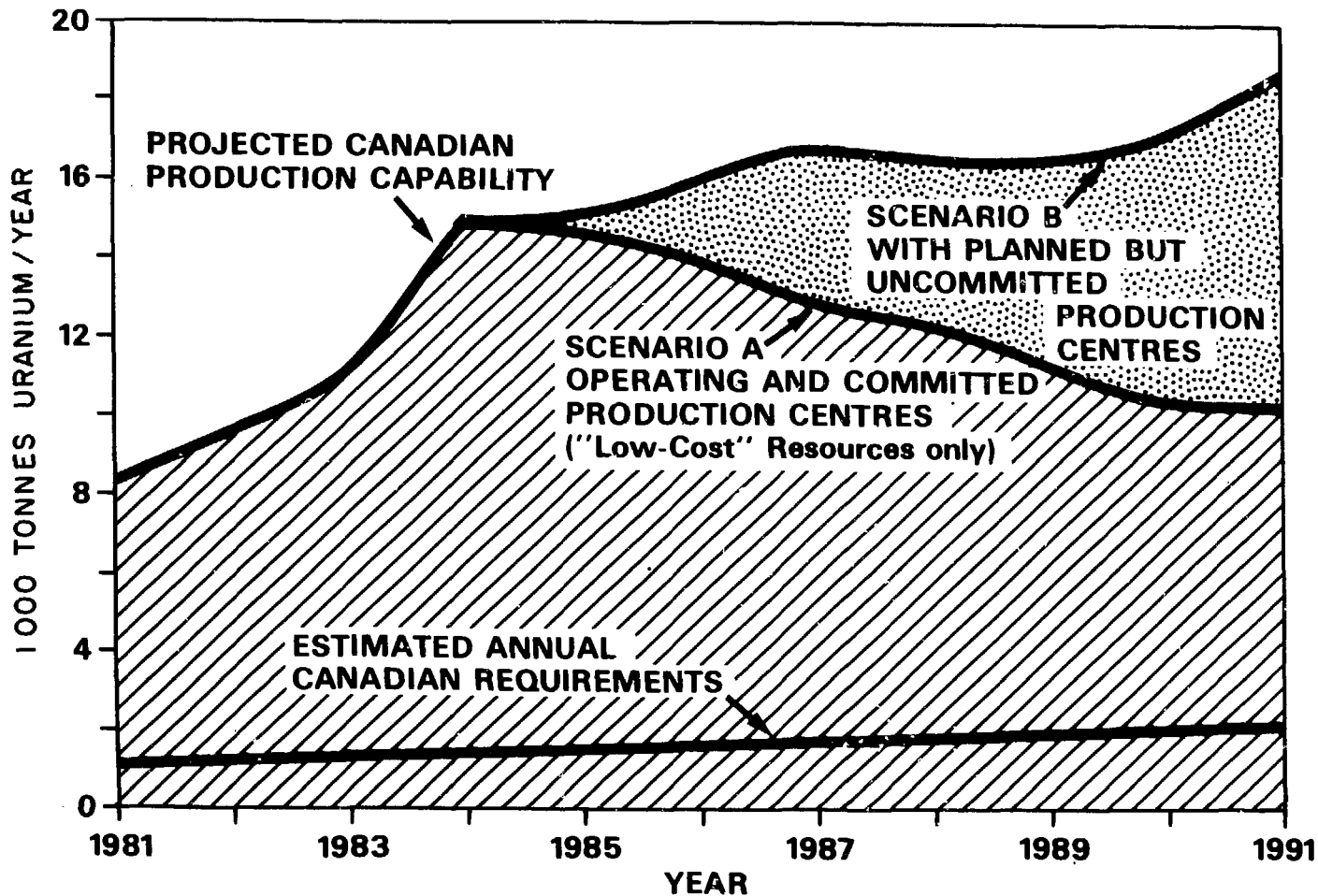
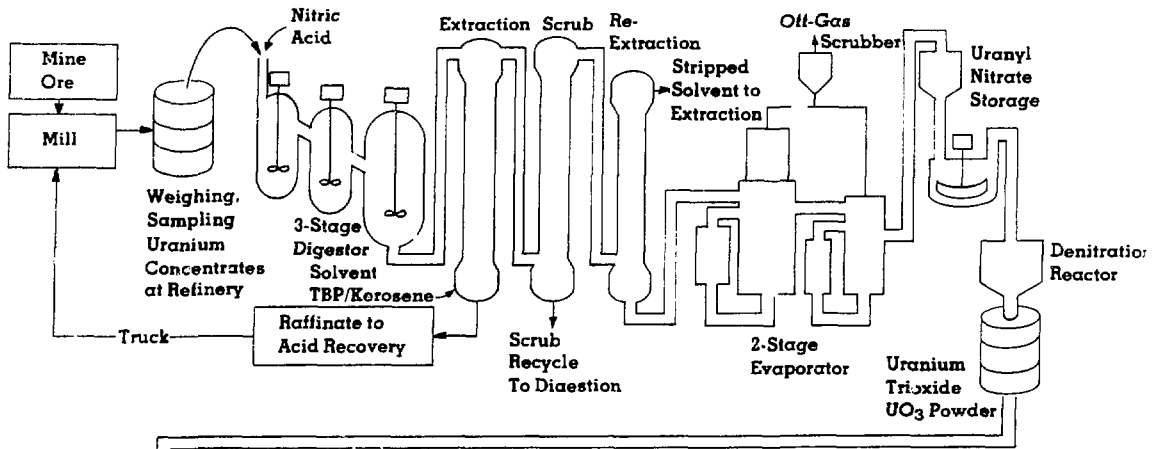


FIG. 2 CANADIAN URANIUM PRODUCTION CAPABILITY VERSUS ESTIMATED DOMESTIC REQUIREMENTS

# REFINING TO $UO_3$



# CONVERTING TO $UO_2$

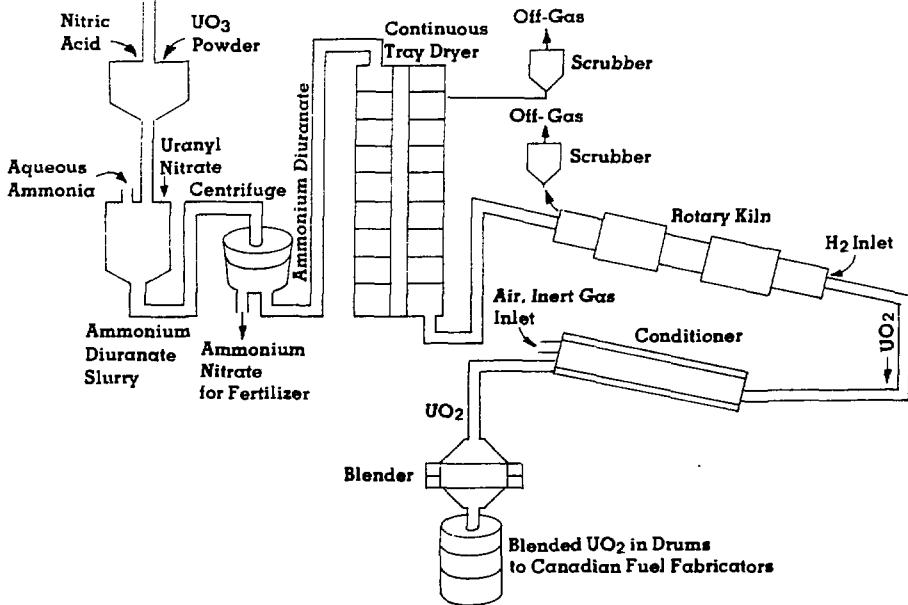


FIG. 3 REFINING AND CONVERSION PROCESSES

**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'Energie Atomique du Canada Limitée  
Chalk River, Ontario, Canada  
K0J 1J0**

**Prix \$2.00 par exemplaire**

**AECL-7765F**

**ATOMIC ENERGY  
OF CANADA LIMITED**



**L'ÉNERGIE ATOMIQUE  
DU CANADA LIMITÉE**

**L'AVENIR DE L'URANIUM AU CANADA APRÈS  
QUARANTE ANS DE DÉVELOPPEMENT**

**Canada's Uranium Future, Based on Forty Years of Development**

**N. ASPIN, R.M. WILLIAMS et R.G. DAKERS**

Rapport IAEA-CN-42/142 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-7765)

**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

L'AVENIR DE L'URANIUM AU CANADA APRES QUARANTE ANS DE DEVELOPPEMENT

N. Aspin  
Association Nucléaire Canadienne  
Toronto, Ontario  
Canada

R.M. Williams  
Ministère de l'Energie, des Mines et des Ressources  
Ottawa, Ontario  
Canada

R.G. Dakers  
Eldorado Nucléaire Limitée  
Ottawa, Ontario  
Canada

Rapport IAEA-CN-42/142 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-7765)

Laboratoires nucléaires de Chalk River  
Chalk River, Ontario  
1982 septembre

AECL-7765F

ATOMIC ENERGY OF CANADA LIMITED

CANADA'S URANIUM FUTURE, BASED ON FORTY YEARS OF DEVELOPMENT

by

N. Aspin, R.M. Williams and R.G. Dakers

ABSTRACT

Canada's role as a major supplier of uranium has matured through the cyclical markets of the past forty years. Present resource estimates would support a potential production capability by the late 1980s 50 per cent greater than the peak production of 12 200 tonnes uranium in 1959.

New and improved exploration techniques are being developed as uranium deposits become more difficult to discover. Radiometric prospecting of glacial boulder fields and the use of improved airborne and ground geophysical methods have contributed significantly to recent discoveries in Saskatchewan. Advances have also been made in the use of airborne radiometric reconnaissance, borehole logging, emanometry (radon and helium gas) and multi-element regional geochemistry techniques.

Higher productivity in uranium mining has been achieved through automation and mechanization, while improved ventilation systems in conjunction with underground environmental monitoring have contributed to worker health and safety. Improved efficiency is being achieved in all phases of ore processing.

Factors contributing to the increased time required to develop uranium mines and mills from a minimum of three years in the 1950s to the ten years typical of today are discussed.

The ability of Canada's uranium refinery to manufacture ceramic grade  $UO_2$  powder to consistent standards has been a major factor in the successful development of high density natural uranium fuel for the CANDU (CANada Deuterium Uranium) reactor. Over 400 000 fuel assemblies have been manufactured by three companies. The refinery is undertaking a major expansion of its capacity.

During the past decade, the increased concern for social and environmental issues gave rise to a number of public inquiries that have examined every phase of the uranium industry. As a result, conditions under which uranium exploration, mining and refining can proceed safely have been established.

(Also obtainable in English as AECL-7765)

Chalk River Nuclear Laboratories  
Chalk River, Ontario  
1982 September

AECL-7765F

## L'AVENIR DE L'URANIUM AU CANADA APRES QUARANTE ANS DE DEVELOPPEMENT

## RESUME

Le rôle du Canada en tant que principal fournisseur d'uranium s'est amplifié dans les marchés cycliques de ces quarante dernières années. L'évaluation que l'on fait actuellement des ressources en uranium permettrait de penser qu'il serait possible, pour la fin des années 1980, d'accroître la production d'uranium de 50% par rapport aux quantités produites en 1959, qui étaient de 12 200 tonnes.

De nouvelles techniques susceptibles d'améliorer l'exploration sont mises au point puisque la découverte de gisements d'uranium devient de plus en plus difficile. La prospection radiométrique des champs de moraines glaciaires et l'emploi de méthodes de géophysique des sols ont contribué pour une large part à des découvertes récentes en Saskatchewan. Des progrès ont également été réalisés dans l'application des techniques de reconnaissance radiométriques aériennes, de diagraphie des trous de sonde, d'émanométrie (au radon et à l'hélium) et de géochimie régionale multi-élément.

L'automatisation et la mécanisation ont permis d'accroître le taux de productivité dans le domaine de l'exploitation de l'uranium; en outre, l'amélioration des systèmes de ventilation et une meilleure surveillance du milieu de travail au fond des mines ont contribué à assurer la santé et la sécurité des travailleurs. On assiste à une efficacité et à un rendement meilleurs dans toutes les phases du traitement du minerai.

On étudie présentement les facteurs qui contribuent à augmenter le temps qu'il faut pour exploiter les mines et les usines d'uranium, puisque dans les années 1950 il fallait trois ans, alors que maintenant il en faut dix.

La capacité de la raffinerie d'uranium du Canada de fabriquer de la poudre d' $UO_2$  qualité céramique selon des normes conformes est un facteur important qui a contribué à la mise au point fructueuse d'un combustible en uranium naturel de forte densité pour le réacteur CANDU (CANada Deutérium Uranium). Plus de 400 000

assemblages combustibles ont été fabriqués par trois sociétés. La raffinerie entreprend de développer sur une grande échelle sa capacité de production.

Au cours des dix dernières années, l'inquiétude croissante à l'égard des répercussions sociales et écologiques que peut avoir la production d'uranium a donné lieu à un certain nombre d'enquêtes publiques qui ont permis de faire un examen sérieux de toutes les phases de l'industrie de l'uranium. Il en a résulté l'établissement de conditions qui assurent la sécurité dans les travaux de prospection, d'exploitation et d'affinage.

## 1. INTRODUCTION

Le développement considérable de l'industrie canadienne de l'uranium a commencé il y a quarante ans lorsqu'on a réouvert la mine de Port Radium dans les Territoires du Nord-Ouest pour satisfaire la demande d'uranium émanant des gouvernements américain et britannique. A la même époque, on a converti l'usine de radium de Port Hope en Ontario pour la production du trioxyde d'uranium ( $UO_3$ ) de qualité nucléaire. Grâce aux mesures incitatives du gouvernement et à la croissance de la demande, l'industrie a connu une expansion rapide et, dès 1959, vingt-trois mines et dix-neuf usines de traitement de minerai étaient en service dans cinq régions minières. La production d'uranium de cette année-là (fig. 1) était de 12 200 tonnes, ce qui correspond à 37% de la production totale du monde occidental [1].

Les premières découvertes d'uranium ont été faites en grande partie en repérant sa présence à la surface du massif de minerai car, jusqu'à présent, il n'existe aucune technique permettant de détecter directement l'uranium à une assez grande distance du point de minéralisation. L'industrie canadienne a cependant mis au point une grande variété de technologies d'exploration qui, en les conjugant avec des analyses laborieuses de données, ont permis de découvrir certains des massifs de minerai d'uranium récents en Saskatchewan; ces massifs peuvent exister à certaines profondeurs ou au-dessous de fortes épaisseurs de morts-terrains.

Les installations de production canadiennes ont atteint un haut niveau de rendement et d'efficacité. Plusieurs d'entre elles peuvent produire à grande échelle et toutes ont atteint successivement un niveau supérieur en matière de protection de la santé et de la sécurité des travailleurs. Après la mise au point initiale des technologies de traitement et de raffinage du minerai, on a orienté les travaux de recherche et de développement en vue de modifier les installations pour les rendre plus économiques et de façon à réduire les effets de leur production sur l'environnement.

La caractéristique critique des activités de recherche et d'exploitation de l'uranium a beaucoup attiré l'attention du public. Au cours d'une période de huit ans, il y a eu quatorze enquêtes publiques sur toutes les phases de l'industrie de l'uranium au Canada. On en a conclu d'une manière absolue que l'exploration et l'exploitation de l'uranium sont dans l'intérêt du public et pour son bien dans la mesure où on emploie des technologies perfectionnées.

## 2. CAPACITE DE PRODUCTION

Les premières ventes importantes d'uranium canadien à des fins industrielles ont eu lieu en 1966 bien que les programmes électronucléaires n'avaient pas pris une extension aussi rapide que celle prévue; en effet, ce n'est qu'en 1973 que l'industrie a vraiment repris après le déclin des années 1960 [1,2]. Malgré le passage difficile de l'époque des achats gouvernementaux à l'époque des achats industriels, l'industrie du Canada a continué d'être le fournisseur principal d'uranium du marché mondial. Le Canada occupe le deuxième rang, après les Etats-Unis, et sa production représente presque 20 pour cent de la production mondiale depuis ces 15 dernières années.

Avec l'avènement d'un marché vendeur en 1974, les activités canadiennes en matière d'exploration ont pris une extension considérable. A la fin de 1975, les frais d'exploration sont montés à 43 millions de dollars<sup>1</sup>, c'est-à-dire 10 fois plus que ceux des activités indiquées en 1971 et 1972. Les frais ont continué à monter à presque 130 millions en 1980 et 1981. Ces activités ont conduit à plusieurs découvertes importantes dans le nord de la Saskatchewan et ont fait augmenter les prévisions de ressources d'uranium du Canada. Selon l'évaluation commune la plus récente de l'Agence de l'énergie nucléaire (AEN) de l'Organisation de coopération et de développement économiques (OCDE) et de l'Agence internationale de l'énergie atomique (AIEA) concernant les ressources d'uranium mondiales, le Canada possède une partie assez considérable [3], à savoir presque 12 pour cent des ressources raisonnablement assurées et 28 pour cent des ressources supplémentaires estimées [3].

En 1981, le Canada avait huit installations d'uranium, toutes situées en Ontario et dans la Saskatchewan et dont la production totale était de 7 800 tonnes (tableau 1). En outre, il y avait deux centres en construction qui doivent produire vers la fin de 1983. A ce moment-là, la capacité annuelle de production d'uranium du Canada sera de presque 15 000 tonnes. Il existe plusieurs autres centres de production éventuels qui pourraient augmenter encore plus la capacité de production du Canada (Fig. 2). Mais l'obtention effective de ces niveaux de production prévus dans le cadre de ces scénarios de capacité de production, sera fonction de l'évolution du marché [4,5].

## 3. TECHNOLOGIE D'EXPLORATION

L'industrie minière canadienne a acquis une vaste expérience dans le domaine de la technologie de prospection de l'uranium pendant les années prospères de 1940 à 1950. Mais comme il n'y a eu pratiquement aucune prospection d'uranium au Canada entre 1956 et 1966, ce n'est que depuis ces 15 dernières années que presque tout le développement spécial de la technologie s'y rapportant a eu lieu. La découverte, en 1968, du gisement de Rabbit Lake en Saskatchewan a marqué le début de travaux d'exploration de grande envergure. Ceci a conduit à plusieurs découvertes importantes, toutes associées à la discordance de la base de la formation gréseuse d'Athabasca. Plus de la moitié des dépenses totales de prospection d'uranium du Canada engagées ces dernières années ont porté sur cette zone et les

<sup>1</sup> Canadian

travaux ont contribué pour une large part à la mise au point et à l'application de techniques nouvelles et meilleures.

A la différence des gisements d'autres minéraux économiques, il n'est possible, en général, de détecter directement l'uranium avec les techniques connues actuellement qu'à une faible distance du point de minéralisation. Par exemple, les gisements existant à de grandes profondeurs ou au-dessous de très fortes épaisseurs de morts-terrains ou du pergélisol sont difficiles à déceler. Il n'y a aucune technique d'exploration spécifique d'applications universelles et il faut, en général, employer une grande variété de méthodes, souvent en conjugant les unes avec les autres, selon les conditions géographiques et géologiques particulières. On a prouvé l'importance de la détermination de zones favorables avant de choisir des techniques d'exploration convenables dans le cas d'un certain nombre de découvertes ainsi que l'importance de réinterpréter les données obtenues antérieurement [6].

Le programme d'exploration qui a conduit à la découverte des gisements de Key Lake en 1975 et 1976 est un des quelques cas bien documentés, au Canada, où l'on a employé une grande variété de techniques géologiques, géophysiques et géochimiques. On s'est servi de plus de 40 méthodes d'exploration différentes et de quelque 2 400 sondages avant de pouvoir délimiter complètement les gisements [7]. On s'est également servi de diverses méthodes lors du programme qui a conduit à la découverte du gisement de Midwest Lake en 1977; plusieurs de ces méthodes ont été conçues pour pouvoir déterminer l'épaisseur de grès au-dessus de la discordance antérieure à la formation d'Athabasca. Tout comme les régions de Key Lake, Rabbit Lake et Cluff Lake, la région de Midwest Lake a subi une glaciation continentale et les techniques de détection de moraines se sont avérées très utiles en ce sens qu'elles ont permis de réduire les recherches. Enfin, l'existence de renseignements géologiques obtenus lors d'autres découvertes dans la région en question a conduit à la réinterprétation des données géologiques et géophysiques et à un programme ultérieur de forage à grande profondeur qui a conduit à la découverte du gisement de Midwest Lake à une profondeur de 200 mètres [8].

L'industrie canadienne est au premier rang pour le développement de techniques géophysiques nouvelles et meilleures et sa compétence dans ce domaine est reconnue dans le monde entier. Les systèmes magnétiques, électromagnétiques et radiométriques montés sur avion et servant à l'exploration et la cartographie géologique ont atteint un haut degré de perfectionnement; des systèmes montés sur hélicoptère sont maintenant employés couramment pour les programmes de prospection plus précise. On continue à faire de grands progrès dans les systèmes de traitement des données par ordinateur, d'interprétation et de présentation, surtout ces dernières années, en incorporant des microprocesseurs et des modules de mémoire dans le matériel géophysique (et géochimique) terrestre - ce qui a conduit à l'accroissement de l'automatisation et de la rentabilité. On développe des gradiomètres/magnétomètres et des systèmes électromagnétiques pour obtenir une plus haute capacité de pénétration dans le sol. On emploie de plus en plus

les techniques perfectionnées de diagraphie des sondages dans un but semblable. Un bon nombre d'entre elles ont été employées avec succès dans le bassin d'Athabasca [9].

Dans le domaine de la géochimie, on a amélioré considérablement le concept de l'appareillage et des techniques de mesure de la concentration du radon dans le sol et d'échantillonnage systématique des sédiments de lacs et ruisseaux et de l'eau de lacs, de ruisseaux et de sous-sol. L'amélioration du concept de cette dernière activité découle du Programme de prospection d'uranium (URP) dirigé en commun par les gouvernements fédéral et provincial de 1975 à 1979. Ce programme a permis d'obtenir des données radiométriques et géochimiques régionales utiles pour de grandes étendues au Canada et l'industrie s'en sert couramment pour la phase reconnaissance de la prospection de l'uranium [4,9].

#### 4. TECHNOLOGIE D'EXPLOITATION MINIERE

Dans les années 1950, le gouvernement fédéral était, par l'intermédiaire de la Société d'Etat qui s'appelle maintenant Eldorado Nucléaire, Limitée, l'unique acheteur de concentrés d'uranium pour l'amélioration et la revente aux gouvernements américain et britannique. Il a offert des contrats à prix ferme comportant des délais de livraison fermes jusqu'en 1963 [2]. On a exercé de forte pression sur les nouvelles sociétés d'exploitation minière de l'Ontario, à Elliot Lake, pour qu'elles mettent en service leurs mines et commencent à livrer des concentrés d'uranium. Dans ces conditions, il fallait, en moyenne, 18 mois à un complexe mine-usine pour passer de la phase de l'étude initiale à celle de la première production [10]. Il n'y avait pas assez de temps pour permettre un développement progressif de sorte que les mines entraient en service à leur rendement maximum calculé [11].

Le minerai d'Elliot Lake est exploité à des profondeurs allant jusqu'à 1 000 mètres, la teneur moyenne en uranium étant d'environ un kilogramme par tonne. Donc, les usines ont été conçues pour extraire et traiter de 3 000 à près de 6 000 tonnes de minerai par jour. La plupart des sociétés ont choisi les méthodes d'exploitation minières du type chargement-roulage-déchargement sans voie ferrée du fait que les massifs de minerai étaient assez épais et à faible profondeur. Certaines sociétés, ayant eu des difficultés à obtenir un haut rendement avec ces techniques, sont revenues, à grands frais, aux systèmes plus classiques du type abatage en gradins par scraper avec voie ferrée [12]. Ces dernières années, le manque de mineurs expérimentés a conduit au retour à l'exploitation sans voie ferrée et à une plus grande automatisation et mécanisation. Ces faits ainsi que l'augmentation de la capacité de manutention du minerai ont contribué à la haute capacité de production d'Elliot Lake.

Au début, l'aérage assuré dans les mines d'uranium était celui qui était prévu dans l'industrie canadienne d'exploitation minière en roche dure, c'est-à-dire à raison de 57 000 mètres cubes à la minute et à un rendement de 30%, le débit augmentant au fur et à

mesure que le siège d'exploitation s'éloignait du puits [13]. Le milieu de la mine d'uranium présente un véritable défi. En plus des émanations de radon, il y a la présence d'aldéhydes dans les gaz d'échappement des moteurs diesel, de poussière de silice et de produits chimiques résultant de l'abattage aux explosifs. Comme la dose limite internationale d'exposition aux produits de filiation du radon est passée progressivement de 12 niveaux opérationnels-mois à 4, l'aérage des mines a été décuplé et le rendement, porté à 60%. Par exemple, à l'heure actuelle, l'aérage représente 15% des frais d'exploitation d'une mine d'Elliot Lake et il faut 14 tonnes d'air frais par tonne de minerai exploité [12]. Toutes les sociétés pratiquent maintenant la surveillance poussée du milieu de travail pour protéger la santé des mineurs et certaines d'entre elles ont éliminé le danger émanant des gaz d'échappement des moteurs diesel en passant à l'appareillage à commande électrique.

Au cours des années 1970, les mines d'uranium du bassin d'Athabasca du nord de la Saskatchewan ont été exploitées dans des circonstances très différentes de celles qui existaient vingt ans avant, à Elliot Lake. Pendant les années qui s'écoulèrent entre-temps, la politique du gouvernement canadien avait changé en exigeant que l'utilisation finale de l'uranium canadien sous forme de combustible pour les réacteurs nucléaires du monde soit pacifique. La demande du marché industriel n'était pas illimitée, si bien que les diverses mines ont été exploitées progressivement en fonction de l'expansion de ce marché.

Le démarrage de la mine de Cluff Lake de la Saskatchewan est un exemple récent de l'heureuse réaction de l'industrie à des situations qui sont uniques et de véritables gageures. Le massif de minerai "D" de Cluff Lake était unique parmi les massifs de minerai à forte teneur de la région d'Athabasca [14] et l'exploitation à ciel ouvert de ce massif particulier a présenté de nouveaux problèmes en ce qui concernait la protection des mineurs contre le rayonnement. A l'exception du gradin qui était exploité, on a gardé continuellement une épaisse couche de mort-terrain non radioactif au-dessus du minerai comme moyen de protection contre le rayonnement. On a exploité le minerai à l'aide d'engins de terrassement dont la cabine était pressurisée, l'air étant filtré pour protéger les conducteurs. Les camions transportant le minerai à l'usine avoisinante devaient passer par un poste de lavage extérieur spécial à chaque fois qu'ils quittaient la mine de façon à empêcher la contamination de l'environnement. Le massif de minerai "D" contenant plus de 5 000 tonnes d'uranium a été entièrement exploité en deux étés bien que l'usine soit encore en train de traiter le minerai stocké. La nature des nouvelles techniques employées dans le bassin d'Athabasca est différente des techniques de production canadiennes établies; les gisements ont une teneur plus forte et conviennent pour l'exploitation à ciel ouvert - ce qui entraîne des frais de production plus bas.

## 5. TECHNOLOGIE DE TRAITEMENT DU MINERAI

A l'exception de l'usine d'Eldorado (située près d'Uranium City dans la Saskatchewan) qui emploie un procédé de lixiviation alcaline, toutes les usines d'uranium canadiennes ont employé un



procédé de lixiviation acide pour extraire l'uranium du minerai. Ce procédé a été mis au point par les laboratoires du ministère de l'Energie, des Mines et des Ressources du gouvernement canadien et découle de l'expérience acquise antérieurement en Afrique du Sud. Cette technologie d'extraction qui a été quelque peu modifiée, a été employée dans toutes les onze mines de la région d'Elliot Lake. Quoique le procédé ait été perfectionné au cours des années pour améliorer le rendement et diminuer les frais, il reste le pivot de l'industrie comme le prouve son emploi continu dans les trois usines en exploitation d'Elliot Lake.

Ce procédé consiste à broyer et pulvériser le minerai pour obtenir une pulpe passant dans un tamis de 200. Au début, ceci a été réalisé par pulvérisation dans un broyeur à barres et boulets; celui-ci a été ensuite remplacé par broyage semi-autogène suivi d'un broyage à galets. L'eau et les solides sont séparés par passage dans des épaisseurs neutres et des filtres à disques, les solides étant remis en suspension dans de l'acide sulfurique contenu dans des récipients à revêtement intérieur en caoutchouc du type Pachuca et chauffés à la vapeur jusqu'à 75°C pendant 48 heures. Ce traitement permet d'extraire quelque 97% d'uranium du minerai. La solution-mère, contenant l'uranium après séparation des solides par filtration, est versée dans des colonnes d'échange d'ions tandis que les solides sont neutralisés à la chaux et évacués vers le lieu de stockage des résidus. L'uranium est élué des colonnes d'échange d'ions dans de l'acide nitrique et précipité dans de l'ammoniaque. Il en résulte du diuranate d'ammonium ou trioxyde d'uranium qui est séché et emballé pour expédition à la raffinerie d'Eldorado.

L'installation de Cluff Lake s'est écartée notablement de ce procédé d'usage général du fait de la très haute teneur du minerai du gisement "D" [14]. On mélange le minerai à haute teneur (supérieure à 30%) avec le produit à haute teneur (45%) de la séparation par gravité de minerais à teneur moyenne. Ce mélange subit la lixiviation acide et ensuite deux opérations de précipitation directe - ce qui supprime donc une opération d'échange d'ions ou de purification par extraction au solvant. La fraction à faible teneur provenant de la préconcentration contient encore assez bien d'uranium et est stockée pour traitement par des techniques d'extraction plus classiques lorsque les massifs de minerai à plus faible teneur de la propriété minière seront exploités dans l'avenir.

Lorsque cette industrie a débuté, les résidus d'usines d'uranium étaient traités de la même manière que ceux de toute exploitation métallurgique. Ces dernières années, en raison de l'inquiétude du public au sujet de l'échappement lent des matières radioactives des résidus, la réglementation a été plus rigoureuse et a apporté de nombreux changements dans la conception et la gestion des dépôts de résidus. Ils sont maintenant confinés dans des enceintes imperméables bien conçues et les effluents subissent un traitement plus minutieux avant leur décharge dans les canalisations d'eau locales. Dans la mesure du possible, on a procédé au repeuplement en végétation des dépôts de résidus abandonnés.

Une grande partie des travaux de recherche et de développement dans le domaine du traitement du minerai s'est orientée vers la

modification des procédés de broyage pour obtenir des résidus présentant moins de danger pour l'environnement [15]. D'une façon plus générale, on étudie de près les conditions qui assureront que les dépôts de résidus ne présenteront aucun danger pour les générations futures.

## 6. TECHNOLOGIE DE RAFFINAGE ET DE TRANSFORMATION

La mise au point des procédés de raffinage [16] et de transformation de l'uranium employés actuellement à la raffinerie d'Eldorado à Port Hope est le résultat de plus de vingt ans d'expérience d'exploitation. Vingt pour cent du produit de cette raffinerie est constitué de poudre d'uranium naturel, le bioxyde d'uranium ( $UO_2$ ) céramique, pour alimenter les réacteurs CANDU (CANada Deutérium Uranium) et les quatre-vingt pour cent qui restent sont exportés sous forme d'hexafluorure d'uranium ( $UF_6$ ) pour alimenter les réacteurs à eau légère. Les procédés ont évolué, permettant de produire au début de petites quantités de l'ordre de quelques centaines de kilogrammes, subissant une mise au point dans les années 1950 et permettant de produire continuellement des quantités de l'ordre de la tonne dans les années 1980. L'expérience acquise permet à Eldorado de porter sa capacité de production d' $UO_2$  à 2 500 tonnes par an en 1982 et de construire une nouvelle raffinerie à capacité de production de 18 000 tonnes par an qui entrera en service en 1983.

Bien que le raffinage et la transformation de l' $UO_2$  combustible constituent un seul procédé continu, il y a deux opérations distinctes en jeu, à savoir: le raffinage et la transformation. Lors de l'opération de raffinage, les concentrés (ou trioxydes d'uranium) provenant de la mine d'uranium sont dissouts dans de l'acide nitrique et l'uranium est séparé des impuretés par extraction au solvant - ce qui donne une solution de nitrate d'uranyle purifiée. Lors de l'opération de transformation, la solution de nitrate d'uranyle est mise en contact avec l'ammoniaque pour précipiter le diuranate d'ammonium qui est séparé, séché et réduit chimiquement en poudre d' $UO_2$  à l'hydrogène à 600°C. La poudre d' $UO_2$  chaude est refroidie et conditionnée en atmosphère à faible volume d'oxygène pour obtenir un produit d' $UO_2$  stabilisé.

La figure 3 représente un schéma simplifié des procédés de raffinage et de transformation.

L'évolution du procédé de raffinage permettant de passer de la production de petites quantités à la production de grandes quantités provient du fait qu'on connaît mieux les paramètres chimiques et qu'on peut contrôler de plus près les variables du procédé. Le contrôle de l'opération d'extraction au solvant, la simple et plus importante opération unitaire fondamentale du procédé de raffinage, a nécessité le développement de méthodes pour déterminer l'effet et l'influence mutuelle des impuretés sur la séparation de l'uranium. Le besoin de contrôler les autres variables du procédé (telles que la température, l'acidité, l'apport d'énergie et le débit du solvant et de la solution) a augmenté au fur et à mesure que le volume de la production a augmenté. La mise au point d'une instrumentation de procédé

fiable a grandement contribué à améliorer le contrôle et augmenter le rendement de l'opération d'extraction au solvant.

Des progrès semblables ont été réalisés dans le procédé de transformation de l' $UO_2$ , en particulier dans le procédé de réduction à l'hydrogène employé pour produire de la poudre d' $UO_2$ . On a mis au point successivement des fours rotatifs plus grands pour arriver au four actuel de 75 cm de diamètre dont la capacité annuelle est de 1 200 tonnes d'uranium et qui remplacera les fours réducteurs originaux de production par petites quantités. La mise au point a nécessité le contrôle de la température et des conditions dans le four dans une gamme étroite afin d'obtenir les propriétés physiques particulières nécessaires pour la fabrication du combustible des réacteurs CANDU.

Une réglementation devenant de plus en plus rigoureuse quant à la santé des travailleurs, la sécurité et le contrôle des effluents libérés dans l'environnement a nécessité la pratique d'un recyclage plus grand dans l'usine ainsi que la mise au point de meilleurs systèmes de contrôle d'effluents. L'installation de systèmes de recyclage et de récupération chimique a rendu le procédé plus complexe et imposé d'autres conditions de contrôle.

Les exigences accrues d'aérage imposées dans les usines en exploitation a nécessité l'utilisation de grands systèmes de filtration d'air, des systèmes secondaires ou de relève montés en série avec le système primaire.

L'évacuation des déchets chimiques et radioactifs de faible intensité provenant du raffinage et de la transformation de l'uranium s'est révélée un problème de plus en plus difficile. En 1980, après une phase de développement de quelque cinq années, on a obtenu l'autorisation de recycler les déchets liquides des raffineries dans les usines d'uranium pour récupérer l'uranium résiduel non extrait lors du raffinage. Ce système de recyclage s'est avéré intéressant tant du point de vue économique qu'écologique.

On a donné l'autorisation d'utiliser un autre déchet liquide, le nitrate d'ammonium, sous forme d'engrais liquide. On en écoule actuellement 1 million de litres par an à des fins agricoles.

En se basant sur les antécédents, le coût du raffinage et de la transformation de l'uranium a été moins de 10 pour cent du coût du produit fini dans le cas du combustible de réacteurs CANDU. Les frais de main-d'oeuvre, de produits chimiques, d'énergie et d'entretien constituent les éléments principaux des frais de raffinage et de transformation en question.

Les développements futurs feront continuer la tendance vers une plus grande automatisation des procédés de raffinage et de transformation de l'uranium. Les systèmes de recyclage et de récupération permettront de compenser les frais croissants d'énergie et de produits chimiques et de minimiser la quantité de déchets produite lors des opérations. Les nouvelles usines seront, avant tout, non polluantes et isolées de l'environnement.

## 7. FABRICATION DU COMBUSTIBLE

Le combustible des réacteurs CANDU a été conçu pour maximiser la teneur en uranium et minimiser le rôle de l'absorbant de neutrons, de sorte que chaque grappe de combustible de 24 kg contient plus de 90 pour cent de bioxyde d'uranium. La mise au point du combustible a été rapide, en grande partie du fait de la disponibilité de trois réacteurs expérimentaux pouvant simuler les conditions existant dans un réacteur de puissance. Notre compréhension du comportement du combustible qui a conduit à l'amélioration des concepts est due, en partie, aux caractéristiques du CANDU qui permettent la détection continue du combustible défectueux et son retrait rapide, pendant la marche, par le système de rechargement du combustible. Une grande partie des défauts rencontrés au début étaient dus aux rampes de puissance du réacteur; on y a remédié en modifiant les plans de chargement du combustible et en appliquant des couches de graphite-CANLUB sur la paroi intérieure de la gaine de Zircaloy. Plus de 98.8% des grappes de combustible irradiées se sont comportées comme on le voulait [17].

En plus des travaux effectués dans le cadre du programme de développement initial dirigé en commun par l'Energie Atomique du Canada, Limitée (EACL), il a fallu, pour développer avec succès le combustible en uranium naturel du CANDU, coordonner les travaux du principal utilisateur du système CANDU, l'Ontario Hydro, et des fabricants du combustible, la Compagnie Générale Electrique du Canada, Limitée, Combustion Engineering Superheater Limited et Westinghouse Canada, Limitée. Ces trois sociétés ont fabriqué plus de 400 000 assemblages combustibles au total. La fabrication du combustible et l'assurance de la qualité s'y rapportant sont décrites par Gacesa et autres [18].

## 8. PARTICIPATION DU PUBLIC

L'évaluation officielle des projets d'exploitation d'uranium par le public est devenue un fait habituel à toutes les phases du développement de l'industrie de l'uranium au Canada. Depuis ces huit dernières années, les commissions d'enquête suivantes ont tenu conseil:

- 1974 - Commission Ham - Ontario [9];
- 1975 - Evaluation et étude écologique pour Port Granby, Blind River, la Municipalité de Dill, la Municipalité de Hope et Warman [20];
- 1976 - Evaluation écologique pour le développement de l'exploitation minière de l'uranium à Elliot Lake [21];
- 1977 - Enquête Bayda - Saskatchewan [22];
- 1979 - Commission Bates - Colombie-Britannique [23];
- 1979 - Evaluation écologique - Labrador [24];
- 1979 - Enquête sur Key Lake - Saskatchewan [25];
- 1980 - Comité d'enquête spécial sur les affaires d'Ontario Hydro [26];
- 1981 - Enquête sur l'uranium des Territoires du Nord-Ouest [27];
- 1982 - Commission McCleave - Nouvelle-Écosse [28].

Il y a une grande variété de commissions et comités: des commissions d'enquête royales aux comités d'enquête spéciaux de corps législatifs provinciaux et aux commissions d'évaluation écologique. En général, ces commissions et comités ont constaté que le public a intérêt à ce que les projets soient exécutés à condition qu'on emploie des technologies perfectionnées.

Il est certain que l'inquiétude du public a fait augmenter le nombre de règlements relatifs à l'industrie de l'uranium. Par exemple, dans le cas du développement de l'exploitation des mines d'Elliot Lake, le gouvernement de l'Ontario a autorisé la Commission d'évaluation écologique à examiner de près, publiquement, toutes les phases des projets. Cette commission a siégé pendant plus de trois ans et il en a résulté des recommandations à court et à long termes qui ont surtout influé sur l'usage de l'eau et des produits chimiques dans les procédés d'exploitation minière ainsi que sur la gestion des résidus et de leurs effluents.

Lorsque les mines d'Elliot Lake se sont ouvertes dans les années 1950, elles étaient surtout soumises à la réglementation prescrite par la Loi minière de l'Ontario. La Loi sur le contrôle de l'énergie atomique du gouvernement fédéral était la seule qui comptait, bien qu'à l'époque elle comportait très peu de règlements miniers. Aujourd'hui, à la grande différence des années 1950, l'agrandissement ou la réouverture de chaque installation nécessite l'autorisation du gouvernement fédéral et est soumise aux règlements très étendus de la Loi sur le contrôle de l'énergie atomique ainsi qu'à une trentaine d'approbations provinciales.

Dans le contexte de l'intérêt public prononcé, le gouvernement de la Saskatchewan tenait à régler la question qui était de savoir si on pouvait permettre la prospection et l'exploitation minière de l'uranium dans la province. C'est dans ce but que la Commission d'enquête sur Cluff Lake a été établie au début de 1977. Après que la Commission eut fait connaître ses recommandations, au milieu de 1978, le gouvernement provincial a autorisé le démarrage des travaux d'exploitation minière de Cluff Lake [22] et la continuation de la prospection et de l'exploitation minière de l'uranium dans la Saskatchewan.

En plus d'exiger que 50% des mineurs soient des habitants du nord et qu'on donne aux habitants du nord la possibilité de faire des affaires commerciales dans le cadre de chaque projet, les élaborateurs du projet d'exploitation minière de Cluff Lake ont pris une autre décision sur le plan social: celle de ne pas établir d'agglomération permanente sur les lieux de la mine. Pour suivre l'exemple donné antérieurement lors de l'exploitation du gisement de Rabbit Lake, la société minière a établi, pour tout le personnel, un système de transport par avion ainsi qu'un régime de travail comprenant une semaine de travail de sept jours avec deux postes par jour, suivie d'une semaine de congé. Ces systèmes ont permis de réduire les frais sociaux qui avaient contribué à la forte augmentation des frais de production de l'installation d'Eldorado à Uranium City dans le nord de la Saskatchewan.

Pour assurer une plus grande participation du public dans la mise en valeur des ressources provinciales et d'un programme ordonné de démarrage des travaux des mines d'uranium projetées, on a créé la Saskatchewan Mining Development Corporation. Cette société publique peut acheter une part allant jusqu'à 50% dans toute entreprise de prospection ou d'exploitation provinciale d'uranium. Il faut environ dix ans pour amener un complexe canadien d'exploitation minière d'uranium au stade de la production dans les années 1980 - c'est-à-dire à peu près dix fois plus de temps qu'il a fallu pour ouvrir une mine d'uranium au début des années 1950. De nombreux facteurs ont contribué à cette évolution. Par exemple, le marché de l'uranium est passé de la situation où chaque kilogramme d'uranium pouvant être exploité était acheté par les gouvernements, à la situation où il est très sensible aux projets de développement changeants de l'industrie électronucléaire. Pour répondre à ces dernières conditions, il faut prendre soin de planifier et d'introduire progressivement chaque nouveau projet d'exploitation d'uranium. Chaque nouvelle installation d'uranium entraîne des débats publics. Bien que de nombreuses questions génériques ont été réglées lors d'enquêtes antérieures, il y a encore de nombreuses questions locales à régler pour chaque projet particulier et pour avoir la participation du public qui convient, il faut du temps. Tous ces facteurs contribuent à prolonger le temps qu'il faut pour amener une installation au stade de la production et entraînent une forte augmentation du coût global. Il semble qu'actuellement on ait traité la plupart des questions relatives à l'exploitation minière de l'uranium; les changements futurs porteront sur la qualité et non sur la quantité. La seule question non résolue est celle relative aux conditions d'abandon et de fermeture des dépôts de résidus d'uranium. C'est une question complexe que les gouvernements et l'industrie essayent de résoudre en commun.

## 9. CONCLUSIONS

L'industrie canadienne de l'uranium est très en mesure de répondre à la demande future du marché de l'uranium. La majeure partie de la production des mines souterraines de l'Ontario est engagée jusqu'à l'an 2020 et la production des mines à ciel ouvert à minéral à haute teneur de la Saskatchewan devrait être compétitive sur n'importe quel marché de l'uranium. La base étant très bonne, l'exploitation de nombreux autres gisements prometteurs situés entre la côte de l'Atlantique et la côte du Pacifique et au nord du Cercle arctique, dépendra donc entièrement de la croissance future de la demande d'uranium.

La haute capacité de recherche du Canada en technologie d'exploitation et de production continuera d'être un grand atout pour l'industrie. Des techniques nouvelles et meilleures sont en cours de développement et contribueront aux efforts de réalisation du grand potentiel de production complémentaire du Canada. On peut s'attendre à des efforts soutenus pour augmenter la productivité de l'industrie de l'uranium et l'évolution des procédés perfectionnés de traitement, de raffinage et de transformation devraient réduire considérablement l'impact que peuvent avoir les opérations sur l'environnement. Bien sûr, l'application de tous ces genres de procédés sera très influencée par le développement futur de l'énergie nucléaire.

## REMERCIEMENTS

Des auteurs parmi un certain nombre de collègues de l'industrie et du ministère de l'Energie, des Mines et des Ressources ont apporté leur aide et collaboration à la réalisation de cette présentation. Nous remercions particulièrement M. V. Ruzicka de la Commission Géologique du Canada; MM. R.J.R. Welwood et M.C. Campbell du Centre Canadien de la technologie des minéraux et de l'énergie du Ministère de l'Energie, des Mines et des Ressources; MM. M. de Bastiana et J.L. Chackravatti de Denison Mines Limitées; MM. K.D. Hester, K. Culver et D. Winckworth de Rio Algom Limited et M. G.T. Leaist de Saskatchewan Mining Development Corporation.

## REFERENCES

- [1] WILLIAMS, R.M., LITTLE, H.W., GOW, W.A., BERRY, R.M., "Uranium and Thorium in Canada: Resources, Production and Potential/, Peaceful Uses of Atomic Energy (C.R. de la 4<sup>e</sup> Conf. Inter., Genève, 1971) Vol. 8, IAEA, Genève (1972).
- [2] RUNNALLS, O.J.C., Ontario's Uranium Mining Industry - Past, Present and Future, Ontario Mineral Policy Background, communication n°13, ministère des Ressources naturelles de l'Ontario (1981).
- [3] Ressources d'uranium, Production et demande, OECD, Paris (1982).
- [4] Uranium in Canada, 1980 Assessment of Supply and Requirements, Energy Mines and Resources, Canada, Rapport EP 81-3 (1981).
- [5] WHILLANS, R.G., Uranium, A Review of the Canadian Industry, Canadian Mining Journal (1982).
- [6] Uranium Exploration Case Histories (C.R. d'une réunion de comité consultatif NEA/IAEA, Vienne, 1979) IAEA, Vienne (1981).
- [7] GATZWEILER, R., SCHMELING, B., TAN, B., "Exploration of the Key Lake Uranium Deposits, Saskatchewan, Canada", Uranium Exploration Case Histories (C.R. d'une réunion de comité consultatif NEA/IAEA, Vienne, 1979) IAEA, Vienne (1981).
- [8] SCOTT, F., "Midwest Lake Uranium Discovery, Saskatchewan, Canada", Uranium Exploration Case Histories, (C.R. d'une réunion de comité consultatif NEA/IAEA, Vienne, 1979) IAEA, Vienne (1981).
- [9] HOOD, P.J., Mineral Exploration Trends and Developments in 1981, Canadian Mining Journal (1982) 22-61.
- [10] Mining, Metallurgy, and Geology in the Algoma Uranium Area, 6<sup>e</sup> Congrès des Industries minières et métallurgiques des pays du Commonwealth (1957).
- [11] Le BOURDAIS, D.M., "Canada and the Atomic Revolution", McClelland and Stewart Ltd., Toronto (1959).
- [12] CULVER, K.B., An Overview of the Rio Algom Expansion Program at Elliot Lake, Ontario, CIM Bulletin (1980).
- [13] CHACKRAVATTI, J.L., GRAY, D.H., Improving Ventilation and Control of Mining Environment at Denison Mines at Elliot Lake, 45<sup>e</sup> Séance technique annuelle de l'Association ontarienne pour la prévention des accidents dans les mines (1976).

- [14] TABOURET, M., Mining and Milling High-Grade Uranium Ores, Conf. inter. AIF/ANC, Québec, (1981).
- [15] HAW, V.A., RITCEY, G.M. SKEAFF, J.M., DAVE, N., SILVER, M., Recherche sur les résidus de mines d'uranium effectuées au Centre Canadien de la technologie des minéraux et de l'énergie (CANMET), Communication n° IAEA-CN-42/91, Conf. Inter. IAEA sur l'Expérience en énergie nucléaire, Vienne (1982).
- [16] Refining and Converting Uranium into Nuclear Fuel, Eldorado nucléaire limitée, Ottawa (1981).
- [17] MacEWAN, J.R., NOTLEY, M.J.F., WOOD, J.C., GACESA, M., "Le combustible CANDU: Passé, présent et avenir", communication n° IAEA-CN-42/143, Conf. Inter. IAEA sur l'Expérience en énergie nucléaire, Vienne (1982).
- [18] GACESA, M., QUARRINGTON, G.R., TARASUK, W.R., CARRICK, I.R., PAWLIW, J., MCGREGOR, G., DEBNAM, H.R., PROOS, L., "La qualité du combustible CANDU et comment on l'obtient", Rapport de l'Energie Atomique du Canada, Limitée, AECL-7061 (1980).
- [19] HAM, J.M., The Royal Commission on the Health and Safety of Workers in Mines, Toronto (1976).
- [20] Environmental Assessment and Review Process (EARP) for Proposed Uranium Refineries, Environnement Canada (1975).
- [21] The Ontario Environmental Assessment Board Hearing into the Expansion of Uranium Mining at Elliot Lake (1976).
- [22] BAYDA, E.D., The Cluff Lake Board of Inquiry, rapport final, Regina (1978).
- [23] BATES, D.V., The Royal Commission of Inquiry into Uranium Mining in British Columbia, Victoria (1980).
- [24] POWELL, C.W., Rep. of the Assessment Board on the Brinex-Kitts-Michelin Uranium Projects, St. John's (1980).
- [25] MITCHELL, R.W., The Key Lake Board of Inquiry, rapport final, Regina (1981).
- [26] MacDONALD, D.C., The Select Committee on Ontario Hydro Affairs, Mining, Milling and Refining of Uranium in Ontario, rapport final, Toronto (1980).
- [27] Northwest Territories Uranium Inquiry, Legislative Assembly of the Northwest Territories, 4<sup>e</sup> Séance, 9<sup>e</sup> Réunion, Hansard (1981).
- [28] McCleave Commission, Nova Scotia, hearings in progress.



Usines	Lieu	Capacité nominale journalière (tonnes de minéral)
<b>A. En service</b>		
Agnew Lake Mines Limited	Agnew Lake, Ontario	S/O <sup>a</sup>
Cluff Mining (Amok Ltd./SMDC)	Cluff Lake, Saskatchewan	1 360 <sup>b</sup>
Denison Mines Limited	Elliot Lake, Ontario	13 610 <sup>c</sup>
Eldorado Nucléaire, Limitée	Eldorado, Saskatchewan	1 630 <sup>d</sup>
Gulf Minerals Canada Limited	Rabbit Lake, Saskatchewan	1 500 <sup>e</sup>
Madawaska Mines Limited	Bancroft, Ontario	1 360
Rio Algom Limited		
- Usine de Quirke	Elliot Lake, Ontario	6 350
- Usine de Panel	Elliot Lake, Ontario	2 990
<b>B. Engagées</b>		
Key Lake Mining Corporation	Key Lake, Saskatchewan	500-700 <sup>f</sup>
Rio Algom Limited		
- Usine de Stanleigh	Elliot Lake, Ontario	4 540 <sup>g</sup>

TABLEAU I USINES CANADIENNES DE TRAITEMENT DE MINÉRAI D'URANIUM, 1981 [4]

<sup>a</sup>S/O: Sans objet. Bien qu'il n'y a pas d'exploitation minière active, l'uranium est extrait à l'aide d'une technique de lixiviation en tas souterraine et superficielle.

<sup>b</sup>Association avec la Saskatchewan Mining Development Corporation: programme à deux phases, la première ayant été achevée en 1980.

<sup>c</sup>Usine agrandie en 1981 pour permettre la remise en état de la propriété minière voisine de Stanrock/Canmet; doit être terminée pour 1985.

<sup>d</sup>En service à capacité partielle; cessera de produire en juin 1982.

<sup>e</sup>Entreprise en commun avec Uranerz Canada Limited.

<sup>f</sup>Production prévue pour juillet 1983.

<sup>g</sup>Achèvement de la remise en état prévu pour 1983-84.

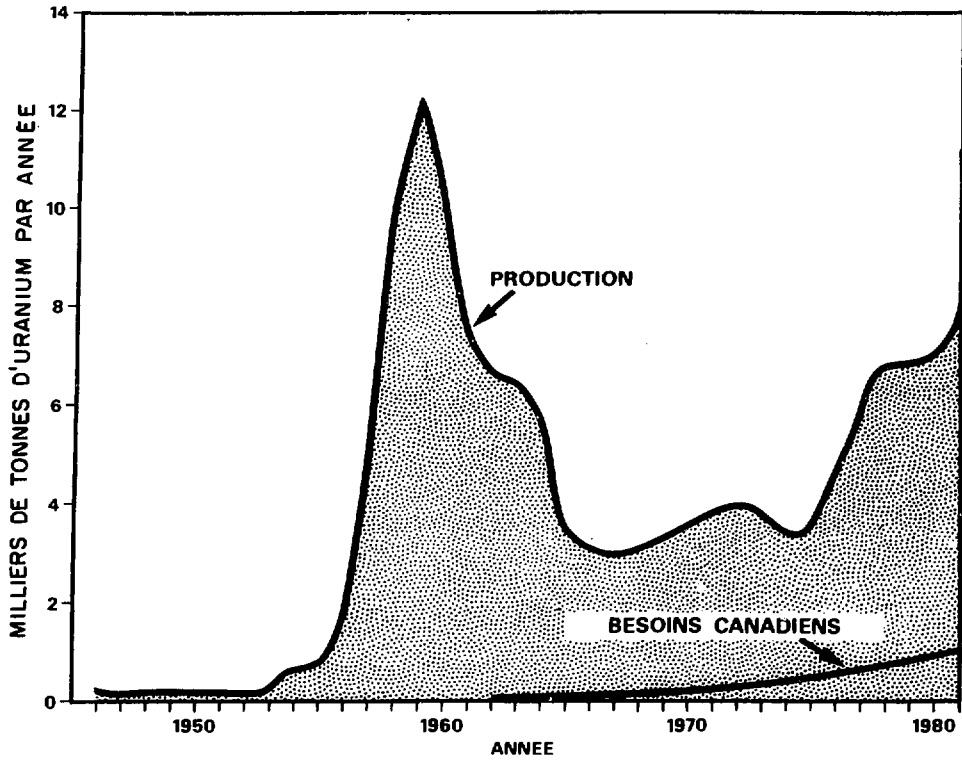


FIG. 1 HISTORIQUE DE LA PRODUCTION D'URANIUM DU CANADA

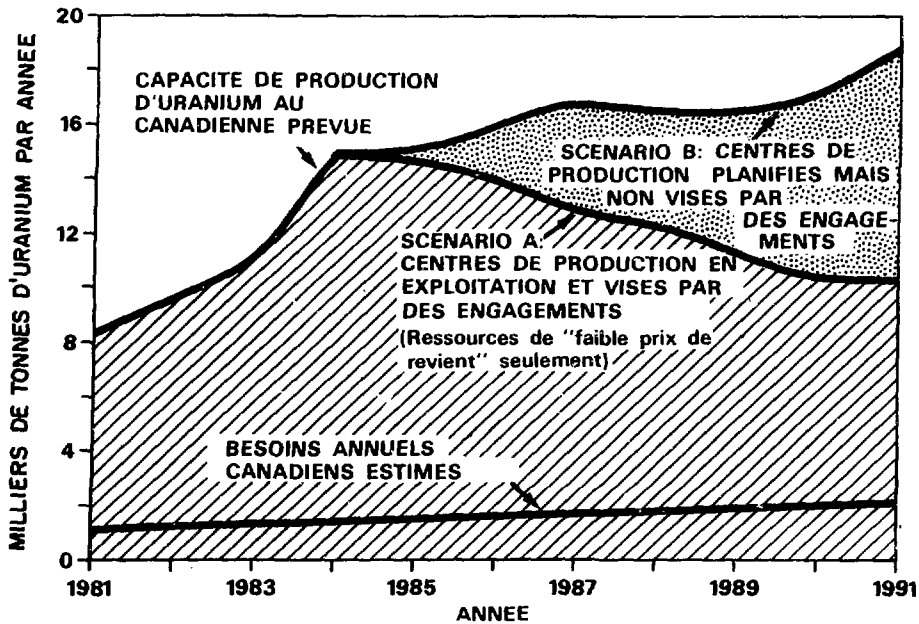
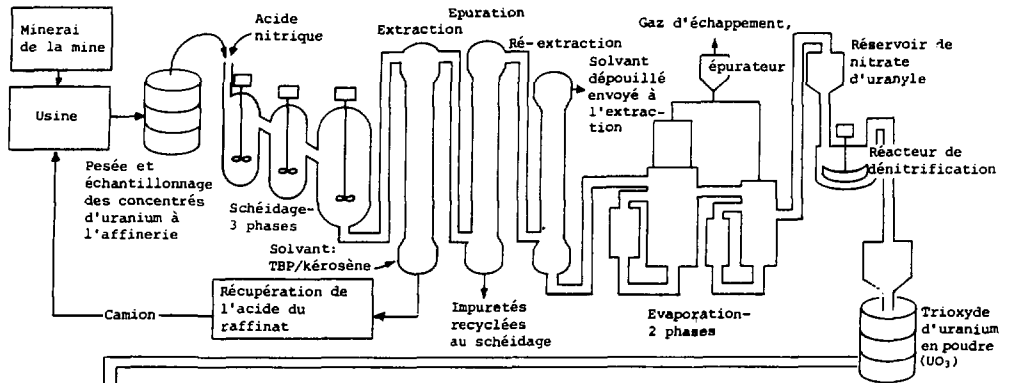


FIG. 2 CAPACITE DE PRODUCTION D'URANIUM DU CANADA PAR RAPPORT A LA DEMANDE INTERIEURE

## AFFINER EN TRIOXYDE D'URANIUM (UO<sub>3</sub>)



## CONVERTIR EN BIOXYDE D'URANIUM (UO<sub>2</sub>)

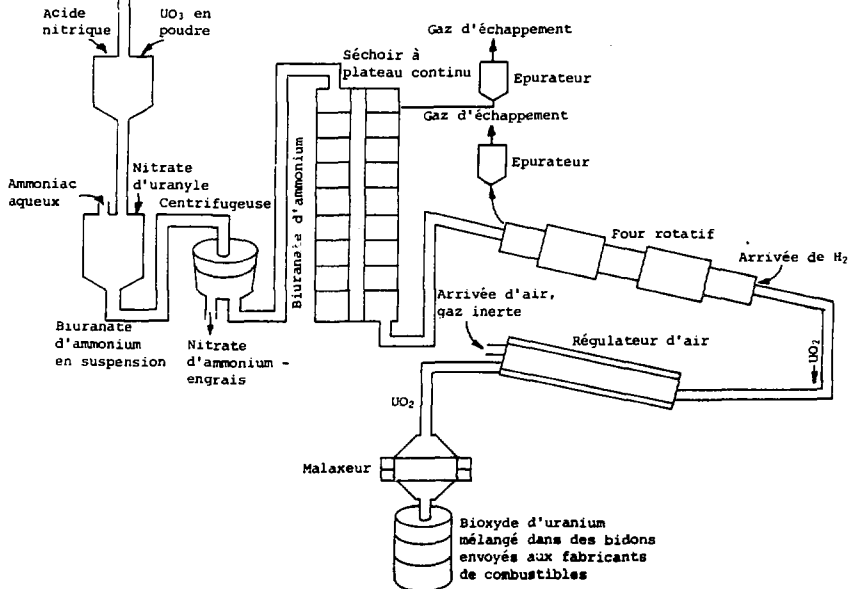


FIG. 3 RAFFINAGE POUR OBTENIR DE L'UO<sub>3</sub> ET TRANSFORMATION EN UO<sub>2</sub>

**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 \$3.00 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'Energie Atomique du Canada Limitée  
Chalk River, Ontario, Canada  
K0J 1J0**

**Prix \$3.00 par exemplaire**