

**Les voies de
l'autosuffisance
énergétique**

**Les démonstrations
nécessaires sur
le plan national**

**Conseil des sciences du Canada,
100, rue Metcalfe,
17^e étage,
Ottawa, Ont.
K1P 5M1**

© **Ministre des Approvisionnements et Services Canada, 1979**

En vente au Canada par l'entremise de nos

agents libraires agréés
et autres librairies

ou par commande postale au

Centre d'édition du gouvernement du Canada
Approvisionnement et Services Canada
Hull, Qué. K1A 0S9, Canada

N° de catalogue SS22-1979/30F
ISBN 0-660-10156

Prix: Canada: \$4.50
Autres pays: \$5.40

Prix sujet à changement sans avis préalable.

Juin 1979

L'honorable R.J. Hnatyshyn, C.P., M.P.,
Ministre d'État aux Sciences et à la Technologie,
Chambre des Communes,
Ottawa, Canada

Monsieur le Ministre,
Conformément aux dispositions de l'article 13 de la Loi sur le Conseil des sciences du Canada, j'ai l'honneur de vous envoyer le Rapport n° 30 du Conseil des sciences: *Les voies de l'autosuffisance énergétique — Les démonstrations nécessaires sur le plan national.*

Je vous prie d'agréer, Monsieur le Ministre, l'expression de ma très haute considération,

Claude Fortier,
Président,
Conseil des sciences du Canada.

Mai 1979

le D' Claude Fortier,
Président,
Conseil des sciences du Canada

Monsieur le Président,

Après la parution du Rapport n° 23: *Les options énergétiques du Canada*, le Conseil n'a pas tardé à charger son Comité pour la politique scientifique de l'énergie de concevoir des méthodes et des moyens pratiques et bien définis pour donner suite aux recommandations de ce Rapport. Pour ce faire, on a remanié la composition du Comité pour y inclure des experts des nombreuses branches et industries énergétiques, et provenant des diverses régions du Canada. Au cours des trois années qui ont suivi, les thèmes et l'orientation adoptés par le Comité ont été soumis à l'examen et ont bénéficié des avis du Conseil à plusieurs reprises.

Comme *Les options énergétiques du Canada* l'indiquent, le peuple canadien a raison d'envisager avec optimisme son approvisionnement énergétique à long terme, à condition que le savoir-faire technique de pointe soit utilisé pour maximiser le potentiel énergétique du pays. L'idée-force de ce Rapport se résume ainsi: parmi la myriade d'actions que les Canadiens devraient entreprendre sans tarder pour assurer leur approvisionnement énergétique à long terme, il leur faut concentrer les efforts des scientifiques et des ingénieurs sur la réalisation d'un nombre relativement faible d'opérations-pilotes.

Il faudrait concevoir et mettre sur pied ces actions en vue d'évaluer et de démontrer la faisabilité commerciale et l'admissibilité sociale des techniques nouvelles et des implantations industrielles nécessaires à l'exploitation des ressources énergétiques connues, et d'accroître le potentiel de transformation de cette énergie selon les besoins des usagers. Ce n'est que grâce à un tel effort que les Canadiens pourraient dissiper les doutes qui planent sur l'avenir énergétique de leur pays.

Le Rapport recommande en tout onze opérations-pilotes (ou démonstrations) distinctes, et décrit les méthodes ayant servi pour leur choix. Leur envergure, leurs objectifs et leur durée sont dissemblables, de même que les dispositions recommandées pour leur gestion et leur financement. Le Comité aurait pu inclure plusieurs autres démonstrations mais il considère que celles qui ont été choisies se classent parmi les plus importantes et illustrent bien l'ampleur du financement nécessaire, de même que l'indispensable collaboration entre l'Administration et le secteur privé.

Sans les efforts compétents de M. E.R.Q. Stoian qui a étayé les activités du Comité, celui-ci n'aurait pu rassembler et évaluer avec sûreté les très nombreux éléments qui constituent le Rapport. Le Comité a également dû surmonter les difficultés d'une évolution très rapide de la situation énergétique du Canada et de ses perspectives d'avenir.

Il est indispensable que la nation canadienne connaisse ses possibilités de satisfaire ses besoins énergétiques à long terme. Le Comité présente ce Rapport au Conseil et aux décisionnaires avec la certitude que la mise en œuvre de ses recommandations permettrait d'écarter les aléas et les hypothèses et de les remplacer par l'action et la connaissance conduisant à l'autosuffisance énergétique.

Je me suis efforcé, au cours des dernières phases de l'élaboration de ce Rapport, d'en faire le reflet fidèle des recommandations du Comité, en y incluant les perspectives et les directives du Conseil. Je présente donc officiellement le Rapport n° 30: *Les voies de l'autosuffisance énergétique — Les démonstrations nécessaires sur le plan national* au Conseil des sciences.

Veuillez agréer, Monsieur le Président, l'expression de ma très haute considération,

A.A. Bruneau,
Président,
Comité pour la politique scientifique
de l'énergie auprès du
Conseil des sciences du Canada

Préface	9
Récapitulation des conclusions et des recommandations	11
Abréviations	15
I — Introduction	17
Cours des événements, tendances et incertitudes en matière d'énergie	18
Le rôle des démonstrations énergétiques sur le plan national	19
Constituants d'une politique énergétique	22
II — Les besoins et le potentiel énergétiques	27
III — Une stratégie de R, D & D énergétique	33
Quelques hypothèses et critères	34
Politique et priorités à court terme	35
Politique et priorités à long terme	36
Influence sur la R, D & D	37
IV — Programmes recommandés de démonstrations énergétiques	41
Le cadre des programmes de démonstrations	42
Les programmes de démonstrations	43
Les combustibles fossiles	44
Le pétrole et le gaz naturel	44
Le charbon	47
Les filières électronucléaires	51
Les filières d'énergie renouvelable	56
Les technologies de transformation énergétique	62
Composantes cruciales des programmes de démonstrations énergétiques	64
V — Gestion et financement de la R, D & D	68
Bibliographie et notes	75
Glossaire technique	77
Unités et coefficients de conversion	81
Annexe	83
Programmes de démonstrations	83
Combustibles fossiles	85
Pétrole et gaz	85
1. Démonstration du potentiel technique de prospection et d'extraction des hydrocarbures dans les eaux encombrées de glaces	86

2. Démonstration du transport maritime des hydrocarbures de l'Arctique	95
3. Démonstration d'un potentiel technique de prospection et d'exploitation des hydrocarbures dans les eaux océaniques profondes	102
Le charbon	113
1. Démonstration des techniques de combustion en lit fluidisé	114
2. Démonstration de reconstitution des sols après extraction du charbon à ciel ouvert	120
La filière électronucléaire	127
1. Démonstration d'une installation acceptable de gestion et de confinement des combustibles irradiés	128
2. Démonstration de la faisabilité du cycle du thorium	140
Les filières d'énergie renouvelable	153
1. Démonstration de faisabilité de la production de combustibles gazeux et liquides à partir de déchets forestiers et agricoles	154
2. Démonstration des chauffe-eau solaires et des installations solaires de chauffage des locaux	172
3. Démonstration de la production d'énergie à partir des déchets ménagers	184
Les technologies de transformation de l'énergie	189
1. Démonstration de la production conjuguée d'électricité et de chaleur	190
<hr/>	
Comité de la politique scientifique de l'énergie auprès du Conseil des sciences du Canada	199
Membres du Conseil des sciences du Canada	201
Publications du Conseil des sciences du Canada	203
Index	207
<hr/>	
Liste des tableaux	
Tableau I.1 - Sources d'énergie et techniques examinées	26
Tableau II.1 - Besoins énergétiques du Canada	29
Tableau II.2 - Contribution éventuelle des sources énergétiques et des technologies étudiées en exajoules/an	31
Tableau IV.1 - Principales démonstrations et caractéristiques énergétiques	65
Tableau V.1 - État d'avancement de certaines entreprises énergétiques	70
Tableau V.2 - Récapitulation du financement au titre de la R, D & D de chaque démonstration considérée en milliers de dollars, valeur de 1978	71

Préface

Depuis sa création, le Conseil des sciences du Canada a envisagé les problèmes énergétiques de plusieurs larges points de vue, correspondant à leurs aspects complexes et ubiquitaires. Le Rapport n° 23: «Les options énergétiques du Canada», publié en mars 1975, a tracé le cadre du débat pertinent. Il a préconisé l'élaboration d'une politique nationale en ce domaine, et a souligné l'urgence d'une intervention des autorités fédérales et provinciales. Il a cerné les options énergétiques possibles, et a établi la nécessité de réaliser un programme bien articulé de R & D énergétique pour maintenir la validité des options canadiennes. Ses recommandations paraissent encore valables aujourd'hui.

De 1958 à 1963, les autorités fédérales et provinciales sont intervenues pour imposer des changements structureaux au secteur énergétique (par exemple, grâce à la création de l'Hydro-Québec et de l'Office national de l'énergie). Cette intervention marqua le début d'une ère au cours de laquelle on élaborait la politique pétrolière nationale, en vue de tirer simultanément parti de l'importation de pétrole étranger bon marché pour l'Est canadien, et de l'exportation de pétrole de l'Ouest canadien vers les États-Unis (grâce au tracé de la ligne de démarcation pétrolière de l'Outaouais).

La prise de conscience ultérieure de la limitation des réserves de pétrole et de gaz conventionnels, parallèlement à l'imposition par l'OPEP d'un embargo pétrolier et à l'envolée des prix qui s'ensuivit en 1973-1974, nécessita un remaniement urgent de la politique pétrolière canadienne. Bien que la crise énergétique ait affecté différemment les pays industrialisés importateurs de pétrole, tous furent obligés de reconsidérer leur situation et de modifier leur politique énergétique nationale.

Dans «Une stratégie énergétique pour le Canada», publié en 1976, le gouvernement fédéral a souligné que l'autarcie énergétique devait constituer le point fort de toute future politique énergétique, dont les moyens immédiats seraient des mesures d'économie de l'énergie et la mise en œuvre des sources d'énergie renouvelable. Au cours des hivers de 1977 et 1978, les autorités rappelèrent aux Canadiens l'importance d'un approvisionnement énergétique fiable et relativement peu coûteux.

Pendant cette période de remaniement de la politique énergétique en direction de l'autarcie, les décideurs rencontrèrent plusieurs obstacles structurels et économiques, tels que:

- 1° le ralentissement général de l'activité économique;
- 2° l'insuffisance des oléoducs et gazoducs grâce auxquels ils voulaient approvisionner les consommateurs du Québec et des provinces maritimes;
- 3° un potentiel excessif de raffinage dans l'Est canadien, et l'absence de moyens permettant de valoriser le pétrole lourd (*heavy oil*) de l'Ouest pour en faire un pétrole pompable;
- 4° un excès de mazout résiduel se vendant à des prix arbitrairement bas dans l'Est canadien, à cause de l'impossibilité de le transformer en produits plus demandés, ce qui a eu un effet négatif sur le développement de l'utilisation du gaz naturel dans l'Est du pays.

Plus récemment, les découvertes de pétrole et de gaz dans l'Ouest canadien ont découragé les efforts de prospection des hydrocarbures, mal récompensés, dans les régions excentriques, et les ont orientés vers les régions déjà exploitées et les réserves d'hydrocarbures de type habituel, sans exclure cependant les gisements de forme inusitée (par exemple ceux des sables colmatés (*tight sands*), les bassins gaziers profonds, et particulièrement les sables bitumineux à traiter sur place).

À cause de l'accent donné par l'industrie à l'approvisionnement surabondant (par excès temporaire de potentiel gazier) plutôt qu'à la constitution de réserves prouvées, les autorités fédérales et provinciales du Canada sont de nouveau soumises à de fortes pressions en faveur d'un accroissement des exportations de gaz. En l'absence d'un cadre convenant à la prise des décisions nationales en cette matière, il se pourrait que la politique d'autarcie énergétique soit sacrifiée au désir plus immédiat de défendre le dollar.

Parallèlement, on se préoccupe de plus en plus au sujet de la capacité du pays à prendre en charge les coûts sociaux et écologiques de l'approvisionnement en énergie. Il faut donc mettre au jour et étudier un nombre suffisant d'options énergétiques, et l'objectif premier du présent Rapport est de présenter une série de programmes de démonstration d'options énergétiques qui permettrait d'étayer les décisions capitales pour l'avenir énergétique du Canada.

Pour élaborer ses recommandations, le Conseil des sciences du Canada s'est largement fondé sur les conseils judicieux du Comité de la politique scientifique de l'énergie, qui réunissait des compétences très diverses en matière de technologies énergétiques. Il est largement redevable à l'égard de ce Comité, qui a effectué une étude continue des options énergétiques du Canada et des nécessités techniques d'une politique d'autosuffisance en ce domaine.

Récapitulation des conclusions et des recommandations

L'embargo pétrolier de 1973-1974, imposé par les pays arabes, et l'envolée ultérieure des prix du pétrole obtenue par l'OPEP ont sensibilisé les Canadiens aux limitations de leur approvisionnement énergétique et à leur dépendance pétrolière, comme les citoyens de beaucoup d'autres pays. Le Canada épuise rapidement ses gisements de pétrole de type conventionnel, et sera obligé d'importer de plus grandes quantités d'un pétrole coûteux dans l'avenir prévisible. Ces importations pétrolières coûtent des milliards de dollars chaque année aux Canadiens. Il faut rapidement ouvrir l'éventail des options énergétiques du Canada, pour limiter ces dépenses, et pour que ses habitants puissent à long terme satisfaire leurs besoins énergétiques de façon autonome. C'est un vaste effort de recherche, de développement technique et de démonstration qui permettra de puiser à d'autres sources énergétiques, et il faudra mettre l'accent sur l'articulation judicieuse d'un programme opportun de *démonstrations techniques*.

Pour que le Canada: a) évite les bouleversements économiques causés par l'accroissement des importations de pétrole coûteux; b) réduise le péril constant d'interruption de cet approvisionnement crucial pour des raisons politiques, et c) mette en œuvre systématiquement des sources d'énergie et des technologies menant à l'autarcie sur ce plan, il devra:

- à court terme, découvrir comment réduire les importations de pétrole, grâce à un effort d'économie de ce carburant, à son remplacement par d'autres combustibles, à une meilleure efficacité des procédés de transformation énergétique, et à l'extraction la plus complète possible des autres ressources en hydrocarbures;
- à long terme, analyser les options énergétiques s'insérant opportunément dans son plan de consommation et d'approvisionnement. Il lui faut donc étudier parallèlement un certain nombre de sources éventuelles et d'utilisations possibles.

Le présent Rapport:

1° illustre la nécessité d'entreprendre un programme national de démonstrations énergétiques et recommande la réalisation sans retard de plusieurs démonstrations techniques indispensables;

2° recommande une rapide mise en œuvre de ces dernières, en se fondant sur les données disponibles, sous réserve de leur reconsidération périodique et d'une nouvelle évaluation des priorités à mesure du déroulement des programmes de démonstrations.

De nombreuses activités de recherche, de développement technique et de démonstration (R, D & D) sont actuellement effectuées; cependant, l'urgence de la situation énergétique exige qu'on cerne les stratégies à employer, au sein desquelles on accordera la *priorité* à des démonstrations visant des objectifs bien délimités. Il faudra pousser sur un large front les actions préliminaires de recherche et de développement technique; cependant, il n'est pas possible d'attendre que les conclusions d'un tel effort soient toutes disponibles pour mettre en œuvre certaines démonstrations particulières. Il faut entreprendre immédiatement de

nouvelles actions-pilotes énergétiques à l'échelle industrielle, en procédant avec prudence, de façon à réduire les risques. L'expérience ainsi acquise permettra d'éliminer graduellement les aléas causés par les nouvelles sources d'énergie. On mettra au point des techniques cruciales qui permettront une meilleure évaluation des coûts des options respectives et de leurs possibilités commerciales. En outre, les démonstrations réalistes joueront un rôle important en mettant au jour les répercussions sociales et d'environnement. Le Conseil des sciences du Canada recommande, en conséquence, la réalisation des démonstrations suivantes:

Filières des combustibles fossiles

Pétrole et gaz naturel:

1° démonstration de l'utilisation d'un potentiel technique de prospection et d'extraction du pétrole et du gaz dans les eaux encombrées de glaces;

2° démonstration du transport maritime des hydrocarbures à partir de l'Arctique, p. ex. du GNL;

3° démonstration de la prospection et de l'extraction du pétrole et du gaz naturel dans les eaux très profondes.

Charbon:

4° démonstration de l'emploi des techniques de combustion en lit fluidisé;

5° démonstration de la reconstitution des sols après exploitation d'un gisement charbonnier à ciel ouvert.

Filières électronucléaires

6° démonstration des installations de gestion et de confinement des combustibles irradiés, y compris une action adéquate de R & D;

7° démonstration de la faisabilité du cycle du thorium, y compris ses aspects économiques et systémiques.

Filières des énergies renouvelables

8° démonstration de la production de combustibles gazeux et liquides à partir des déchets des exploitations forestières et agricoles, y compris l'évaluation des aspects économiques et commerciaux de la technologie de la filière biochimique (*biomass energy*);

9° démonstration des chauffe-eau solaires et des installations de chauffage solaire des locaux;

10° démonstration de la production d'énergie à partir des ordures ménagères.

Techniques de transformation de l'énergie

11° démonstration de la production conjuguée (*co-generation*) d'électricité et de chaleur, y compris l'étude de ses aspects économiques et gestionnaires.

Les annexes du présent Rapport donnent des précisions sur ces démonstrations (voir p. 83).

Voici les prévisions de leur coût au titre de la démonstration, en millions de dollars, valeur de 1978:

Filière énergétique ou technologie	Financement au titre de la R, D & D au cours des 5 premières années M\$	Financement cumulatif au titre de la R, D & D jusqu'au parachèvement M\$
Pétrole et gaz	650	900
Charbon	35	255
Filières électronucléaires	147	2 200
Énergies renouvelables	21	136
Techniques de transformation énergétique	6	270
Totaux*	860	3 760

*Les chiffres étant arrondis, les totaux indiqués ne correspondent pas exactement à leur somme.

Ce montant total de 3,8 milliards de \$ (valeur de 1978), étalé sur trente années, permettrait d'ouvrir l'éventail des options énergétiques du Canada, en mobilisant ses ressources humaines et en mettant à contribution d'autres branches industrielles.

Remarquons, par comparaison, que l'enveloppe fédérale de R, D & D devrait atteindre un total cumulatif de 3 milliards de \$ d'ici à l'an 2000, si l'on se base sur celle de l'exercice 1977-1978. À l'horizon 1990, les investissements consentis par le Canada pour satisfaire ses besoins énergétiques pourraient atteindre jusqu'à 200 milliards de \$. Les coûts des démonstrations recommandées dans le présent Rapport ne constitueraient que 2 pour cent de ce montant. Ils apparaissent bien modestes quand on les compare au coût éventuel des importations de pétrole.

Le choix des programmes de démonstration est suivi, par ordre d'importance, des problèmes de mise en œuvre. Il faudra évidemment que l'Administration aide à la diffusion de la technologie élaborée, jusqu'à la phase de commercialisation. Dans le chapitre V, nous décrivons différentes méthodes de gestion et de financement de ces actions, applicables en général aux démonstrations; cependant, certaines d'entre elles sont spécifiques sur le plan géographique, et il faut les faire déboucher sur des entreprises commerciales particulières.

L'ampleur et la diversité de l'effort nécessaire présenteront un grand défi au potentiel canadien de gestion. Un certain nombre d'entreprises qualifiées, ainsi que des organismes publics ont lancé avec succès des innovations en matière de gestion. On pourrait en profiter pour stimuler le développement d'un potentiel technique industriel dans les domaines où le Canada dispose d'avantages particuliers.

Pour que le secteur privé tire parti de la commercialisation des technologies énergétiques nouvelles, il faudrait que les autorités fédérales et provinciales mettent en place un climat industriel favorable à la diffusion optimale du savoir-faire technique, de l'étape de la démonstration à celle de la commercialisation. Il leur faudra donc mettre en œuvre les

programmes à long terme d'incitation pécuniaire, et établir le cadre réglementaire qui favoriseront le développement maximal de l'industrie. C'est seulement grâce à ces efforts que le Canada pourra développer pleinement le potentiel de savoir-faire énergétique permettant de satisfaire les aspirations économiques et sociales de sa population.

Abréviations

CANDU	Canada Deuterium Uranium Réacteur ralenti à l'eau lourde pressurisée
ÉACL	Énergie atomique du Canada, limitée
FIRE	Forest Industry Renewable Energy Énergie renouvelable pour l'industrie forestière
G\$	milliards de dollars
GNL	gaz naturel liquéfié
GW	gigawatt (= 10^9 watts)
hm³	hectomètre cube (= 10^6 m ³)
km³	kilomètre cube (= 10^9 m ³)
M\$	millions de dollars
OPEP	Organisation des pays exportateurs de pétrole
PASEM	Plan of Assistance to Solar Energy Manufacturers Plan d'aide aux fabricants de matériel solaire
PUSH	Purchase of Solar Heating Acquisition d'installations de chauffage solaire
R & D	Recherche et développement technique
R, D & D	Recherche, développement technique et démonstration

I - Introduction

Cours des événements, tendances et incertitudes en matière d'énergie

L'embarco pétrolier des pays arabes en 1973, et l'envolée subséquente des prix du pétrole organisée par l'OPEP ont constitué des expériences dégrisantes pour les pays consommateurs. Ces événements ont montré très clairement que:

- 1° L'approvisionnement en pétrole étranger est aléatoire dans un Monde politiquement instable, quel que soit le prix qu'on consent à payer.
- 2° L'époque de l'énergie à bon marché, par le truchement d'un carburant efficace et d'utilisation aisée, approche de sa fin.

Et cependant, même six années plus tard, le pétrole impose sa prédominance mondiale, parce que sa production est fortement circonscrite sur le plan géographique*.

En dépit des préoccupations sérieuses que cause l'approvisionnement pétrolier menacé par les chantages politiques et les guerres, le Canada pourrait équilibrer raisonnablement son approvisionnement en hydrocarbures et sa consommation au cours des quelques décennies qui viennent. Cependant, il est clair qu'une nouvelle période énergétique commence. Entre autres choses, il faudra prendre des décisions pour accroître la sécurité de l'approvisionnement pétrolier du pays, conformément aux vues fédérales et provinciales et aux réalités politiques régionales; les nouvelles technologies joueront un rôle secondaire important, par exemple en:

- diversifiant les sources d'approvisionnement;
- favorisant la proximité géographique et la prise en considération des facteurs internationaux du transport des hydrocarbures;
- permettant le stockage stratégique des substances énergétiques, à un coût qui est celui d'une assurance de ne pas s'en trouver dépourvu;
- contribuant à la construction des pipelines, des pétroliers, des méthaniers et des ports pétroliers, et à leur administration.

En raison du coût relativement élevé des options canadiennes de remplacement de la filière des hydrocarbures:

- 1° il faudra néanmoins que le Canada importe du pétrole brut étranger, quel qu'en soit le prix, pendant une période notable;
- 2° le retard ou la lenteur de la mise au point de filières énergétiques de remplacement, non seulement prolongerait cette dépendance à l'égard du pétrole étranger, mais aussi allongerait dangereusement la période d'incertitude, et pourrait compromettre l'avenir du pays;
- 3° quelle que soit la disponibilité ultérieure de pétrole étranger, les autorités canadiennes doivent encourager l'économie d'énergie; ce facteur de stabilisation permettra de freiner le déficit de la balance

*Au cours des six années qui se sont écoulées depuis l'envolée des prix pétroliers organisée par l'OPEP en 1973, le prix du pétrole brut indicatif (pétrole léger saoudien, 34° API) est passé de moins de 2 \$ à 12,70 \$ par baril de 159 litres.

des paiements et procurera les délais nécessaires à la mise en œuvre des filières énergétiques internes;

- 4° il faut rendre tous les dispositifs d'utilisation de l'énergie aussi efficaces que possible, afin de réduire les pertes;
- 5° il faut remplacer dès que possible le pétrole importé par du pétrole, du gaz naturel, du charbon, du bois ou d'autres formes d'énergie d'origine canadienne, et mettre en place des réseaux de distribution locaux et à grande distance. À court terme, il est avantageux de remplacer le pétrole d'importation par tout autre combustible, pourvu que celui-ci permette des économies d'énergie ou de devises.

En résumé, il faut être réaliste. Les conflits politiques continuent à se produire. Si les tendances actuelles se poursuivent, la balance des paiements causera des difficultés insurmontables bien avant que les ressources énergétiques du Monde ne soient épuisées, à moins que le gouvernement n'applique plus vigoureusement sa politique d'autarcie pétrolière. Le Canada, pays industrialisé disposant de vastes ressources naturelles, peut atteindre l'autosuffisance énergétique plus aisément que bien d'autres nations, en raison de sa population peu nombreuse.

À long terme, c'est l'incertitude qui est le plus grand ennemi de la planification prévisionnelle effectuée par les firmes industrielles et les administrations. Il semble qu'elle réduise la crédibilité de cette planification prévisionnelle et entraîne la désaffection des citoyens et des nations. La crise énergétique n'est qu'un symptôme de l'incertitude prédominante. Mais celle-ci est largement à l'origine de la politique nationale de l'énergie, et elle détermine le choix de ses moyens.

C'est l'ouverture de l'*éventail des options énergétiques du Canada* qui constitue l'objectif fondamental du présent Rapport. Il ne vise pas à déterminer une fois pour toutes les diverses voies de progrès, mais plutôt, à cause de l'incertitude, à multiplier et à élargir les options énergétiques pour faciliter le choix futur, et à mieux étayer les décisions pertinentes. Il en résultera une meilleure stabilité du secteur de l'énergie.

De plus, la mise en œuvre des sources d'énergie renouvelable au cours du prochain siècle nécessitera leur adaptation aux caractéristiques et aux besoins des diverses régions.

Le rôle des démonstrations énergétiques sur le plan national

La réalisation de démonstrations à l'échelle nationale constitue le moyen le plus approprié pour réduire progressivement l'incertitude. Les conclusions des actions-pilotes, bénéficiant de l'autorité du fait concret, permettront de mieux cerner les objectifs de l'effort de R & D. L'alternative à cette méthode progressive consisterait à choisir un scénario prospectif, et à déterminer quelles sont les étapes de son déroulement.

L'objectif de la recherche, du développement technique et de la démonstration est le perfectionnement des technologies choisies. On ne

peut entreprendre le développement technique des options disponibles qu'après un effort initial de recherche sur toutes les filières énergétiques. Cependant, à certains moments, cette séquence d'actions apparaît dérangée, car les efforts de R, D & D concernant une seule filière sont dispersés géographiquement, et sont accomplis par divers organismes publics et branches industrielles.

En particulier, le choix et la conception des démonstrations à l'échelle nationale recommandées par le présent Rapport se fondent sur l'expérience technique d'un groupe d'experts qui se sont efforcés, au cours de la période 1976-1978, et dans le cadre de l'étude sur l'énergie, de classer analytiquement les diverses options énergétiques en fonction des critères techniques, économiques et socio-politiques.

Il faut envisager les démonstrations nationales recommandées par le Rapport comme des extensions et des développements des technologies rangées par ordre prioritaire. Cependant, le Rapport ne les classe pas par ordre d'importance, mais plutôt en fonction de la classification technologique utilisée. Leur ensemble représente l'essentiel du programme énergétique national. Le choix de l'échelle des priorités énergétiques et des technologies associées s'est déroulé naturellement dans le cadre des besoins connus, et s'est fondé sur les connaissances et le jugement des experts. Cette échelle de priorités a été déterminée tant pour le court terme (jusqu'à l'horizon 1990) que pour le long terme. Il est bon de répéter que toute évaluation de la stratégie de R & D doit se fonder sur les *besoins énergétiques envisagés*. En effet, il n'y aurait pas besoin d'implanter de nouveaux aménagements énergétiques si la consommation ne s'accroissait pas à l'avenir, à l'exception des remplacements indispensables.

Les démonstrations sont coûteuses. Les conclusions certaines en matière de technologie et des ressources correspondantes ne viendront qu'après un effort pécuniaire important. La précision indispensable et la fiabilité qui l'accompagne accroîtront encore les coûts. Cependant, les démonstrations sont rentables. Elles permettent d'éviter la commercialisation de technologies inappropriées. De plus, l'élargissement de la panoplie des ressources énergétiques du Canada lui permettra d'améliorer sa balance des paiements.

La recherche de sources d'énergie additionnelles ou nouvelles en vue d'ouvrir la panoplie énergétique du Canada a des conséquences importantes. Il faut les appréhender clairement. Premièrement, on doit se rappeler que la fixation des prix des différentes formes d'énergie détermine la nature finale du secteur énergétique. La faiblesse relative des prix du pétrole brut, et même la baisse de son prix réel au cours des années cinquante et soixante, associée à l'aisance d'emploi caractéristique de ses dérivés, a établi la prédominance de ce matériau énergétique. La fixation de prix trop bas pour le gaz naturel, particulièrement aux É.-U., en a également déséquilibré l'utilisation finale, tant du point de vue économique que de celui de l'environnement, et a entraîné une pénurie prématurée de gaz. Celle-ci et les perspectives de l'équilibre à long terme entre approvisionnement et consommation de gaz ont entraîné une intervention

plus grande de l'État. Dans le cas de l'approvisionnement charbonnier, on a constamment négligé de tenir compte de nombreux coûts externes de son utilisation.

On propose maintenant d'envisager les nouvelles sources d'énergie, non seulement en fonction de leurs coûts directs sur les plans économique et social, mais aussi, ce qui constitue un revirement complet d'attitude à l'égard des déséquilibres et de la répartition rationnelle des ressources, en fonction d'un coût qui n'est pas le plus faible. Il n'est pas possible d'ouvrir l'éventail des options énergétiques du Canada et d'assurer stabilité et fiabilité grâce à la diversification et aux aménagements surnuméraires, sans accepter des sources d'énergie nouvelles et des coûts un peu plus élevés par comparaison. C'est là une considération fondamentale de grande importance. Il faut donc encourager les changements, grâce à des modifications structurelles à la panoplie énergétique, en optimisant les arbitrages chaque fois que c'est possible, en fonction d'objectifs multiples. Cette méthode permettra de contrebalancer les coûts plus élevés, au moins partiellement. Il est évident qu'on ne peut plus prendre des décisions simplistes, fondées sur la réalisation d'objectifs isolés, en utilisant des solutions doctrinaires ou manichéennes.

Le comportement du secteur énergétique dépend non seulement des stratégies choisies, y compris celle de R, D & D, mais aussi de sa structure. Il nous faut empêcher que les ressources naturelles, le potentiel de production, les usines de transformation, les réseaux de transport, les raffineries et les technologies pertinentes perdent leur cohérence et leur harmonie tant à court qu'à long terme, et réduire toute disharmonie technologique résultant de phénomènes aléatoires tels qu'une découverte ou une innovation technique. Le Canada doit être prêt, tant pour une période de longue stabilité que pour des événements politiques soudains.

Il est évident que les filières énergétiques du Canada seront façonnées aussi bien par des facteurs politiques et sociaux que par des considérations techniques et économiques. Les gouvernements fédéral et provinciaux, les organismes industriels et financiers et les établissements d'enseignement supérieur doivent bien appréhender les rôles de chacun en matière de planification de l'approvisionnement énergétique au cours des décennies qui viennent, et se mettre d'accord à leur sujet.

C'est après l'horizon 1990 que la période critique de passage d'une source d'énergie à l'autre pourra commencer, par l'utilisation de plus en plus étendue des hydrocarbures tirés des pétroles visqueux et des sables bitumineux, ainsi que du charbon et de l'énergie électronucléaire. Le pétrole conventionnel et le gaz naturel seront de plus en plus réservés à des utilisations primordiales ou spéciales. Au début du XXI^e siècle, on fera un usage plus étendu des hydrocarbures liquides et gazeux tirés du charbon et de l'organomasse* (*biomass*), et de l'énergie solaire.

*En français, on fait une distinction entre l'*organomasse*, englobant la matière vivante et ses produits d'assimilation et de désassimilation, et la *biomasse*, englobant la seule matière vivante (N.d.t.).

Il faudra mettre l'accent sur les programmes facilitant le passage d'une énergie à l'autre. Le développement des ressources énergétiques et la mise au point des fondements techniques nécessiteront des investissements massifs, pour la mise en place des aménagements et des nouveaux réseaux de distribution de l'énergie, en plus des efforts d'économie et de rentabilisation de celle-ci.

Mais il faudra tôt ou tard payer, d'une façon ou de l'autre, les coûts effectifs de cette transition énergétique. Quand le ralentissement économique se sera corrigé et qu'on aura atteint les objectifs d'économie de l'énergie à court terme, les capitaux requis pour immobilisations croîtront fortement. Il faudra mettre au point des méthodes de production plus efficaces, et aussi plus coûteuses, exploiter les sables bitumineux, le pétrole des régions arctiques et des mers profondes, et construire de nouvelles installations d'hydrogénation et de gazéification du charbon.

Si les dirigeants politiques agissaient seulement en fonction des désirs d'un public mal informé, ils pourraient consacrer des crédits disproportionnés à un effort de R, D & D simpliste et cahotique, visant à la mise en œuvre d'expédients techniques qui seraient commercialisés prématurément et qui, en raison de leur coût élevé, déséquilibreraient la répartition du financement de la recherche fondamentale et de la R & D à long terme; ou bien investir exagérément dans la mise au point de technologies très complexes, qui seraient commercialisées trop tard pour être utiles.

Constituants d'une politique énergétique

Au moment de la publication du Rapport du Conseil des sciences: *Les options énergétiques du Canada*, en mars 1975, notre pays était encore exportateur net de pétrole¹. Depuis cette époque, sa situation est redevenue celle d'un importateur net d'un pétrole étranger fort coûteux, et il continuera à en importer pendant bien des années.

Le coût élevé de l'énergie constitue un facteur aggravant la situation économique déjà sérieuse du Canada². De façon générale, il a encouragé des hausses de prix d'autres produits de base, ce qui a entraîné une inflation et des taux d'intérêt supérieurs à 10 pour cent, et un chômage pouvant atteindre un million de travailleurs. Comme les importations ont été réduites proportionnellement à la diminution d'activité économique, le ralentissement économique débutant a été transformé en marasme par une combinaison d'effets primaires et secondaires. Comme bien d'autres pays, le Canada vivait au-delà de ses moyens.

En même temps, mis en face d'une évaluation beaucoup moins optimiste de leurs ressources énergétiques, certains Canadiens ont cessé d'être béatement satisfaits et se sont demandé sérieusement s'ils disposeront à l'avenir de quantités illimitées d'énergie à bon marché. Beaucoup estimaient avoir été induits en erreur par les grandes sociétés pétrolières et les autorités politiques, et ont exigé de savoir la vérité sur l'énergie. La première réaction des autorités officielles a été de réduire les exportations d'énergie; mais on estime que ces mesures n'auront guère d'effet, tant à court qu'à long termes.

Il faudra donc que le Canada mette sur pied un potentiel technique d'exploitation des ressources énergétiques qui sont encore inutilisées. Il faut y procéder de toute urgence pour réduire, au moins en partie, la nécessité à court terme d'importer du pétrole brut, et pour remplacer, à plus long terme, les réserves d'hydrocarbures canadiens de type habituel, qui s'épuisent. L'obstacle principal à l'utilisation de nouvelles sources d'énergie réside dans les délais de réalisation. Les courants de l'offre et de la demande d'énergie ne changent que bien lentement. Mais il faut beaucoup de temps pour construire de nouvelles installations de production et de transport de l'énergie, et surtout pour mettre au point de nouvelles techniques d'approvisionnement, tout comme il en faut pour répandre des modes d'utilisation nouveaux ou autres. Pourtant, les espoirs du public sont immenses; les gens attendent des solutions-miracles et exigent que la technologie les concrétise.

De nombreux Canadiens, sous l'influence d'un passé proche, estiment qu'ils ont un droit à l'énergie. Les solutions aux problèmes immédiats d'approvisionnement, telle la dépendance à l'égard du pétrole étranger, dépendent plus des décisions politiques que des connaissances scientifiques et technologiques. Il faut que le gouvernement et l'industrie entreprennent sans tarder des actions coordonnées en vue de découvrir des gisements de pétrole de type habituel, de les exploiter et d'acheminer le combustible jusqu'aux consommateurs. Il faudra également que ceux-ci s'efforcent d'éviter tout gaspillage, ce qui ne va pas sans quelques sacrifices.

Cependant, c'est l'effort de recherche scientifique, de développement technique et de démonstration* qui constitue le véhicule de l'accès aux ressources énergétiques dont dépendront les Canadiens à long terme. L'absence d'initiatives de R, D & D, prises actuellement dans le cadre d'une stratégie industrielle canadienne, entraînerait une série de crises énergétiques à répétition qui compromettraient l'expansion économique du Canada et ébranleraient sa liberté d'action sur le plan politique.

La panoplie énergétique des Canadiens doit leur permettre d'atteindre leurs objectifs nationaux: sécurité, prospérité, justice sociale, santé et salubrité de l'environnement, dans le cadre des contraintes physiques, économiques, sociales et organiques imposées au pays. Bien que les Canadiens puissent diverger d'opinion au sujet d'un programme d'action précis, ils sont d'accord sur l'orientation générale de la politique énergétique. Voici les principaux éléments du débat:

- 1° la nécessité de mettre en œuvre un programme majeur d'économie de l'énergie sur le plan national³;
- 2° le remplacement progressif du pétrole conventionnel par d'autres combustibles;
- 3° une accélération de l'effort de prospection et la poursuite de l'exploitation des combustibles fossiles du pays;

*Nous avons déjà défini le rôle de la R, D & D à la p. 19, et nous y reviendrons dans le chapitre III.

- 4° le développement du rôle de l'électricité et l'amélioration de son utilisation;
- 5° le développement de la filière électronucléaire;
- 6° la relance du charbon;
- 7° l'accroissement des efforts de développement des sources d'énergie renouvelable (telles la filière biochimique et la filière solaire).

C'est en fonction de ces lignes de force d'une politique énergétique que nous évaluerons les priorités en matière de programmes de R, D & D.

Le Conseil des sciences du Canada estime qu'il faut envisager les objectifs suivants pour mieux préciser ces priorités. Il faudra que les actions de R, D & D:

- 1° facilitent la mise sur pied d'un approvisionnement fiable en énergie, à un coût compatible avec celui des autres besoins et services collectifs, et incluant un montant approprié pour couvrir les coûts sociaux et d'environnement;
- 2° ouvrent l'accès aux sources naturelles les plus abondantes et diversifient leur utilisation;
- 3° permettent d'améliorer les technologies de transformation, de transport et de stockage de l'énergie;
- 4° aident à la transition ordonnée de l'utilisation des sources d'énergie épuisable à une plus grande utilisation des filières d'énergie renouvelable;
- 5° maintiennent la validité d'une gamme suffisante d'options éventuelles;
- 6° et mettent en évidence ce qui est impossible à réaliser.

C'est dans le cadre général des principes ci-dessus que le Conseil présente ses recommandations au sujet des programmes de R, D & D énergétique et des méthodes à suivre pour financer et administrer les démonstrations recommandées sur le plan national. Leur mise en œuvre permettrait de réduire les incertitudes et d'accroître la confiance du public à l'égard de décisions portant sur des options énergétiques malaisément perceptibles.

Pour choisir les différents programmes de démonstration décrits au chapitre IV, le Conseil a fait évaluer les contributions éventuelles (chapitre II) de trente sources et technologies énergétiques (voir le Tableau I.1), et les a comparées aux besoins énergétiques futurs du Canada dans le cadre tracé au chapitre III.

Alors que certains estiment que l'économie d'énergie est la seule solution pour assurer la continuité de son approvisionnement, d'autres la considèrent comme une conséquence déplaisante et coûteuse de la pénurie énergétique, engendrant des tensions sociales et politiques; cependant, ses ramifications sont fort complexes. En première approximation, il semble qu'on puisse toutefois résoudre l'équation énergétique dans des limites raisonnables, par une manipulation de l'approvisionnement et de l'utilisation de l'énergie⁴.

De ce côté, il est nécessaire d'entreprendre un effort large et constant d'économie sur le plan national. Le Conseil a fait des recommandations au sujet de ce problème très urgent dans des rapports précédents⁵. Elles sont

toujours valables. Le présent Rapport mettra plutôt en relief l'ouverture de l'éventail des options d'approvisionnement énergétique de notre pays.

Bien que la politique énergétique du Canada ait changé notablement, la mise en œuvre de ses dispositions par des spécialistes de l'industrie et des compagnies de services publics a pris bien du retard. On comprend qu'une partie de celui-ci est due à l'inertie propre des structures techniques et administratives, mais néanmoins il suscite des préoccupations croissantes. En outre, quand une politique est inefficace ou reste inopérante, il y a lieu de la renforcer, de la consolider, et peut-être d'en remanier la structure.

Les programmes de démonstrations fournissent l'occasion de mettre à l'épreuve de nouveaux mécanismes de financement et modes de gestion. La diversité des démonstrations recommandées paraît prometteuse. Chacune de ces dernières a des besoins propres: cadre chronologique, niveau de financement, diversité des participants et méthode gestionnaire (voir le chapitre V). Certains programmes pourront être menés à bien en cinq ou dix ans, alors que d'autres nécessiteront jusqu'à vingt ou trente ans.

Il est indispensable que les programmes recommandés soient soigneusement analysés, dès le début, par les responsables de leur mise en œuvre. Les plans des démonstrations devront prévoir une surveillance diligente de leur déroulement, et leur évaluation régulière. Les données recueillies permettront d'infléchir la stratégie en fonction des besoins.

Bien que le présent Rapport ne décrive qu'un nombre limité de démonstrations particulières, c'est sur un large front qu'il faut pousser l'effort de recherche et de développement énergétique. Les programmes individuels en cours de réalisation et l'effort de financement de la R & D énergétique constituent des manifestations d'un désir plus répandu de s'engager dans cette voie, mais seul le processus de démonstration permettra de polariser les efforts de R & D.

Tableau 1.1 - Sources d'énergie et techniques examinées*

A. Technologies de production de l'énergie	B. Technologies d'économie et d'utilisation efficace de l'énergie	C. Transformation des énergies et technologie de la distribution
I Énergies épuisables	20) Efficacité des transports et véhicules électriques	I Technologies de la transformation énergétique
1) Prospection des hydrocarbures	21) Techniques industrielles	24) Efficacité de la transformation énergétique
2) Extraction du pétrole brut	22) Bâtiments commerciaux et domiciliaires	25) Utilisation efficace de la transformation de l'énergie
3) Extraction du gaz naturel	23) Nouveaux matériaux et recyclage des produits de consommation	II Technologies du transport de l'énergie
4) Récupération secondaire du pétrole brut		26) Transport et distribution de l'électricité
5) Récupération secondaire du gaz naturel, et techniques nouvelles		27) Transport des substances énergétiques
6) Extraction et récupération secondaire du pétrole lourd		III Technologies de stockage de l'énergie
7) Extraction des sables bitumineux		28) Stockage de l'énergie sous toutes ses formes
8) Extraction des hydrocarbures des sables bitumineux en place		IV Technologies de remplacement des filières énergétiques
9) Utilisation directe du charbon		29) Combustibles transportables et filière de l'hydrogène
10) Transformation du charbon en combustibles liquides et gazeux		
II Filières électronucléaires		
11) Fission nucléaire		
12) Fusion nucléaire		
III Énergies renouvelables		
13) Houille blanche		
14) Filière biochimique (organomasse) et énergie tirée des ordures		
15) Chauffage solaire des locaux et chauffe-eau solaires		
16) Filière éoliosolaire		
17) Filière géothermique		
18) Filière éolienne		
19) Filière marémotrice		

*Étude de documentation réalisée pour le Conseil des sciences du Canada, qui la publiera bientôt.

II - Les besoins et le potentiel énergétiques

Jusqu'ici, les besoins énergétiques du Canada ont été satisfaits grâce au pétrole et au gaz, à l'électricité d'origine hydraulique et au charbon. La filière électronucléaire commence à prendre de l'envergure.

À cause du bas prix antérieur des hydrocarbures, la consommation du pétrole s'est multipliée par neuf depuis la Seconde Guerre mondiale, et celle du gaz naturel par trente: le charbon s'est trouvé évincé. Mais, en 1973-1974, l'embargo pétrolier imposé par les pays arabes, et l'envolée subséquente des coûts du pétrole ont fait comprendre aux pays importateurs qu'ils étaient devenus très dépendants des approvisionnements de pétrole étranger. Les actions de l'Organisation des pays exportateurs de pétrole (OPEP) ont obligé les pays importateurs, y compris le Canada, à rouvrir le dossier de leurs besoins énergétiques tant individuels que collectifs, dans le cadre de l'Agence internationale de l'énergie, et à préparer de concert la mise au point de nouvelles technologies énergétiques en vue de réduire cette dépendance.

Dans son Rapport n° 23, le Conseil des sciences a déclaré qu'il serait possible de diminuer de 15 à 20 pour cent les besoins énergétiques extrapolés pour l'an 2000, sans ébranler les mécanismes économiques du pays. Comme le montre le Tableau II.1, certaines évaluations plus récentes placent les besoins totaux du Canada à l'horizon 2000 bien plus bas que ne le faisait le Rapport n° 23. Cependant, au cours des dernières années, l'épuisement des réserves pétrolières du Canada a été plus rapide que l'expansion des gisements connus et la découverte de nouveaux champs pétrolifères.

Il faudrait effectuer un considérable effort d'économie de l'énergie et d'accroissement de l'efficacité de son utilisation pour faire cadrer la consommation énergétique avec ses scénarios les plus récents. Le Conseil des sciences, dans son Rapport sur les paramètres socio-économiques d'une société ménagère de ses ressources¹, a proposé des façons d'utiliser les ressources énergétiques plus efficacement. Cependant, même si les Canadiens réduisaient leur consommation d'énergie, ils auraient quand même à résoudre un problème particulièrement complexe de remplacement des combustibles.

Le présent Rapport soutient de tout son poids les mesures d'économie de l'énergie. Cependant, est-il possible à la collectivité de réduire sa boulimie énergétique avant que ses structures politiques, sociales et économiques ne soient affectées? La croissance économique, l'activité industrielle et le développement régional, la répartition équitable des richesses, les répercussions d'environnement et la liberté des choix personnels sont tous liés inextricablement à l'utilisation de l'énergie. À cause de la vaste étendue du Canada et de son climat, ainsi que de son histoire économique, sa pérennité dépend de son approvisionnement énergétique². Si les Canadiens veulent que leur pays continue à jouer un rôle dans l'économie mondiale, en tant que transformateur de matières premières comme l'aluminium, l'uranium, l'acier et le nickel, il leur faudra disposer chacun d'une quantité d'énergie plus forte que celle utilisée par les Suisses, les Allemands ou les Japonais, auxquels on les a quelquefois

Tableau II.1 - Besoins énergétiques du Canada

Année de l'étude	Scénario ou extrapolation	Besoins d'énergie primaire à l'horizon 2000 (en exajoules) ^d	Pourcentage annuel de croissance de 1975 à 2000	Besoins d'énergie secondaire à l'horizon 2000 (EJ)	Pourcentage annuel de croissance de 1975 à 2000	Source
1973	Équilibre énergétique	29,5	4,7	21,3	4,5	Énergie, Mines et Ressources Canada, <i>Politique canadienne de l'énergie</i>
1975	Hypothèse haute	22,0	4,2	17,1	3,9	<i>Étude de documentation réalisée pour le Conseil des sciences du Canada, à paraître^{a,c}</i>
	Hypothèse moyenne	16,4	3,4	12,8	3,1	
1976	Scénario de prix modérés	24,6	4,4	15,8	3,7	Énergie, Mines et Ressources Canada, <i>Une stratégie de l'énergie pour le Canada^b</i>
	Scénario de prix élevés	22,1	4,0	14,5	3,3	
1977	Scénario de l'économie d'énergie	13,6	2,0	7,6	1,2	Énergie, Mines et Ressources Canada, <i>Les économies d'énergie au Canada^{b,c}</i>
1978	Besoins illustratifs ou normatifs	16,9	2,8	10,5	2,4	Énergie, Mines et Ressources Canada, <i>Étude LEAP: Les lendemains énergétiques des Canadiens</i>

Remarques: a) Les chiffres concernant 1975 sont calculés par interpolation

b) Les chiffres concernant l'an 2000 sont extrapolés.

c) Nous avons utilisé les chiffres concernant les besoins bruts primaires et l'utilisation finale secondaire.

d) En 1975, la consommation d'énergie du Canada était de 8,3 EJ d'énergie primaire et de 5,6 EJ d'énergie secondaire (1EJ=0,9478 quad).

e) L'Étude de documentation fait un tour d'horizon des besoins énergétiques.

comparés. En dépit du désir d'exporter des produits à plus forte valeur ajoutée, il est probable que l'intérêt tant du pays que de la collectivité mondiale exigera que le Canada continue à utiliser de l'énergie pour maintenir ses exportations à forte teneur énergétique.

Il faudra donc que les Canadiens puissent conserver un niveau convenable de consommation énergétique individuelle, correspondant à leurs objectifs socio-économiques, et probablement peu différent de ce qu'il est actuellement, pour préserver la qualité de vie à un niveau acceptable par la collectivité.

Les besoins énergétiques des Canadiens sont liés à leurs aspirations économiques et politiques. Il leur faut maintenir l'éventail de leurs options énergétiques aussi ouvert que possible pour satisfaire celles-là. Les économistes, les chefs d'industrie et les financiers, les hommes politiques et les autres décideurs importants doivent se rendre compte que l'énergie contribue au mieux-être du Canada, plus peut-être que dans la plupart des autres pays.

Le potentiel énergétique

Il est indispensable de connaître avec précision la contribution énergétique éventuelle des diverses sources d'énergie et technologies appropriées, afin de prendre des décisions bien pesées. Lors de l'élaboration de la stratégie R, D & D, il faudra mettre l'accent sur des options énergétiques qualitativement appropriées, rationnelles sur le plan économique et susceptibles de satisfaire quantitativement les futurs besoins en énergie.

Le Conseil a fait analyser les contributions potentielles de trente actions énergétiques³, dont les possibilités sont résumées au Tableau II.2. Celui-ci reflète un point de vue positif, sinon même optimiste, fondé sur des évaluations réalistes, et on estime qu'individuellement les actions n'imposent aucune contrainte financière, sociale, économique, politique ou technologie inattendue. Cependant, dans le contexte de la panoplie énergétique, la somme des potentiels individuels décrits au Tableau II.1 constitue une limite supérieure théorique. L'Étude de documentation à paraître précisera et évaluera en détail les contributions potentielles de chaque source.

Les aménagements énergétiques évoquent de nombreuses incertitudes. Bien qu'il semble que le Canada doive disposer des capitaux d'investissement nécessaires pour ceux qui sont valables⁴, le secteur de l'énergie fera face à un dilemme financier. Un trop large ou trop hâtif investissement dans les filières d'énergie de coût élevé constituerait une charge excessive, si le coût des autres substances énergétiques croissait moins vite que prévu; d'autre part, la remise à plus tard de l'effort d'investissement entraînerait la perte d'occasions profitables pour l'industrie, et des coûts ultérieurs plus élevés pour les consommateurs. L'effort de recherche et de développement concernant chaque action énergétique évoque aussi de nombreuses incertitudes, tout comme les attitudes

Tableau II.2. Contribution éventuelle des sources énergétiques et des technologies étudiées, en exajoules/an.

Source ou technologies énergétiques	1975	1985	2000	2025
I Énergies épuisables				
1) Prospection des hydrocarbures	0		5,49	3,2
2) Extraction du pétrole brut	3,7	2,5	1,4	0,63
3) Extraction du gaz naturel	2,37	2,95	2,53	1,16
4) Récupération secondaire du pétrole brut		0,08	0,42	0,84
5) Récupération secondaire du gaz naturel et extension des gisements	...	0,05	0,16	0,24
6) Extraction et récupération secondaire du pétrole lourd	...	0,1	0,21	0,16
7) Extraction des sables bitumineux	0,1	0,9	2,1	2,6
8) Extraction des hydrocarbures des sables bitumineux en place	0,01	0,2	1,05	3,2
9) Utilisation directe du charbon	0,1	0,42	1,48	2
10) Transformation du charbon en combustibles liquides et gazeux	0,01	0,9
I Totaux partiels	6,28	7,20	14,85	14,93
II Filières électronucléaires				
11) Fission nucléaire	0,06	0,42	2,21	5,6
12) Fusion nucléaire	0	0	0	0,01
II Totaux partiels	0,06	0,42	2,21	5,61
III Sources d'énergie renouvelable				
13) Houille blanche	0,73	1,16	1,58	1,9
14) Énergie tirée de l'organomasse et des ordures	0,13	0,44	1,03	1,87
15) Chauffage solaire des locaux et chauffe-eau solaires		0,1	0,42	2,32
16) Énergie électrosolaire	0	0		0,42
17) Énergie géothermique	(0,0006)	0,002	0,05	0,31
18) Énergie éolienne		0,004	0,017	0,05
19) Énergie marémotrice	0		0,02	0,08
III Totaux partiels	0,8606	1,706	3,117	6,95
Totaux A	7,4006	9,326	20,177	27,49
B. Technologies d'économie et d'utilisation efficace de l'énergie				
20) Efficacité des transports et véhicules électriques		0,42	1,05	2
21) Processus industriels		0,63	2,1	3,7
22) Bâtiments commerciaux et domiciliaires	(0,2)	0,95	1,8	3,27
23) Nouveaux matériaux et recyclage des produits de consommation	(0,025)	0,1	0,3	1,05
Totaux B	(0,225)	2,10	5,25	10,02
C. Technologies de la transformation de l'énergie et de la distribution				
I Technologies de la transformation énergétique				
24) Transformation énergétique		0,26	0,82	1,84
25) Utilisation efficace de l'énergie transformée		0,74	1,95	3,85
I Totaux partiels		1	2,77	5,69
II Technologies du transport de l'énergie				
26) Transport et distribution de l'électricité		0,03	0,1	0,24
27) Transport des substances énergétiques		0,039	0,18	0,454
II Totaux partiels		0,069	0,28	0,694
III Technologies du stockage de l'énergie				
28) Stockage de l'énergie sous toutes ses formes		2,1	0,84	2
III Totaux partiels		2,1	0,84	2
IV Technologies du remplacement des filières énergétiques				
29) Combustibles transportables, tout à l'hydrogène	0	0		0,1
IV Totaux partiels	0	0		0,1
Totaux C	—	3,169	3,89	8,484

fluctuantes du public à l'égard de certaines technologies énergétiques nouvelles. En conséquence, on ne pourra sans doute concrétiser qu'une partie du potentiel énergétique total.

Plus précisément, quand nous comparons le scénario de prix modérés établi par Énergie, Mines et Ressources Canada (Tableau II.1) qui prévoit une consommation de 15,8 EJ (1 exajoule = $0,9478 \times 10^{15}$ Btu) d'énergie à l'horizon 2000, à la somme des potentiels énergétiques, soit 29,5 EJ, nous voyons que l'offre pourrait dépasser la demande de 13,7 EJ. Comme, en pratique, l'effort de R, D & D et la mise en œuvre des nouvelles technologies n'atteint le succès qu'une fois sur trois, la somme des potentiels énergétiques effectifs n'atteindrait que la moitié de leur somme théorique, advenant que le quart des technologies n'aient pas besoin d'une action de R, D & D. Ainsi, en première approximation, le Canada pourrait être autarcique à 93 pour cent sur le plan énergétique à l'horizon 2000, et à 100 pour cent en 2025. Mais ce calcul se fonde sur l'hypothèse d'un effort d'analyse, de surveillance, d'évaluation et de recherche au sujet de toutes les technologies énergétiques, quel que soit leur degré initial de pertinence apparente. Il faut mettre au point de nombreuses technologies intéressantes, et il est clair qu'en l'absence de programme de démonstration des actions énergétiques les plus prometteuses, l'autarcie s'évanouira dans les brumes de l'avenir.

De plus, il est capital d'obtenir un fort pourcentage de succès lors de la mise en œuvre des nouvelles technologies, pour atteindre l'autarcie énergétique dans un cadre chronologique limité. Il est évident qu'un tel taux de succès dépend de la qualité de l'effort de R & D, d'un financement suffisant, de l'esprit d'initiative et d'un appareil de gestion approprié.

Nous savons qu'il est possible d'utiliser l'énergie plus efficacement à l'avenir; cependant, nous savons aussi que l'effort d'économie d'énergie et l'amélioration de l'efficacité de son utilisation ne permettront pas, à eux seuls, de combler l'écart entre les besoins énergétiques et les approvisionnements intérieurs disponibles.

Ce sont les programmes de R, D & D qui permettront de développer le potentiel énergétique et de mettre au point les technologies correspondantes, quand il le faudra. Il faut donc surveiller l'apparition d'innovations, étudier très soigneusement les technologies intéressantes et déterminer quelles sont celles qui, associées, pourront le mieux satisfaire les besoins énergétiques futurs des Canadiens. En nous fondant sur des considérations d'«applicabilité directe», les facteurs économiques et plusieurs critères complémentaires⁵, nous pourrions passer aux phases du développement technique et de la démonstration avec beaucoup plus de confiance.

III - Une stratégie de R, D&D énergétique

Il est indispensable d'élaborer une stratégie bien articulée, mais souple, pour répartir les rares ressources financières et intellectuelles aux actions (programmes) de R, D & D. Cette stratégie doit tenir compte, non seulement des impératifs à court terme et des occasions à long terme, mais aussi des arbitrages nécessaires pour satisfaire des besoins nationaux divers, et en évolution constante.

Tout programme de R, D & D doit inclure un effort progressif d'exploration des nouvelles technologies énergétiques. L'information ainsi recueillie permettra de remanier l'échelle des priorités de R, D & D en fonction de l'évolution des besoins énergétiques futurs. Ce choix des priorités en matière de R, D & D est lié étroitement à notre perception de ces besoins énergétiques futurs, de leur nature et de leur ampleur. Quoique pour tenir compte de l'information nouvelle et des fluctuations des possibilités, il faut que les programmes choisis soient assurés d'un financement constant et soutenu au cours de leurs diverses phases.

Quelques hypothèses et critères

Lors de l'élaboration d'une stratégie canadienne de R, D & D énergétique, il est indispensable de tenir compte des hypothèses implicites et des critères sur lesquels elle doit se fonder:

- 1° Les activités de R, D & D énergétique n'ont pas en elles-mêmes d'objectifs indépendants; elles devront étayer la politique énergétique, telle qu'elle est décrite au 1^{er} chapitre.
- 2° La pertinence des actions de R, D & D est largement basée sur leur contribution potentielle à la réduction de l'écart entre les approvisionnements énergétiques et les besoins énergétiques prévus.
- 3° On doit tenir compte des nécessités régionales et des occasions qui s'y présentent.
- 4° La stratégie nationale de R, D & D énergétique doit être compatible avec les intérêts du Canada sur les plans économique, industriel et politique.
- 5° Cette stratégie doit être d'une souplesse suffisante pour s'adapter à l'évolution future de la panoplie énergétique, et pour tenir compte des connaissances recueillies grâce aux activités antérieures de R, D & D.
- 6° Il est indispensable d'obtenir une coopération internationale pour rester à la pointe de la recherche scientifique et technologique et éviter de recommencer inutilement au Canada des travaux entrepris ailleurs, et pour adopter et adapter les progrès techniques étrangers avec avantage. Dans certains domaines, et particulièrement quand il s'agit de technologies complexes, il n'est pas nécessaire que le Canada y pénètre tout seul sous prétexte que toute coopération le limiterait à un rôle secondaire; au contraire, il devrait systématiquement assurer sa participation aux progrès internationaux par un partage pragmatique et responsable des actions, et grâce à l'utilisation des avantages uniques dont il dispose.

Politique et priorités à court terme

Il faudra que, jusqu'à l'horizon 1990, les Canadiens fassent un grand effort pour réduire les importations pétrolières au minimum¹. On peut y parvenir par:

- **l'économie d'énergie:** En économisant certaines matières énergétiques rares comme le pétrole, on réduit la nécessité d'importations coûteuses, et les devises peuvent être utilisées pour développer l'approvisionnement énergétique;
- **l'accroissement de l'efficacité d'utilisation:** Il faut réduire les besoins d'énergie primaire par une amélioration de l'efficacité de la transformation énergétique, et par une plus large utilisation de la chaleur dissipée au cours des processus de transformation;
- **le remplacement des sources d'énergie:** Il faut remplacer les produits pétroliers par d'autres produits énergétiques, chaque fois qu'il est possible; cependant, ce remplacement pourrait être partiel grâce, par exemple, à l'adjonction de charbon pulvérisé au pétrole;
- **la prospection accélérée et la mise en exploitation systématique d'autres ressources non renouvelables:** Le Canada devrait ouvrir un accès opportun à ses richesses considérables en hydrocarbures divers, sous forme de gaz naturel, de pétrole conventionnel, de pétrole lourd, de sables bitumineux, de gaz et de pétrole des régions excentriques, et de charbon. Il faut également accorder une attention particulière à la production de combustibles liquides grâce à des technologies nouvelles.

Il faudrait, plus particulièrement, accorder une attention considérable aux sources énergétiques ou aux technologies mentionnées ci-dessous, dans leur ordre de priorité décroissante, en tenant compte de l'importance relative de leurs contributions éventuelles et de leur potentiel d'expansion à court terme, d'accord avec les principes décrits dans le paragraphe précédent²:

- 1° La prospection des hydrocarbures.
- 2° L'extraction des sables bitumineux.
- 3° L'utilisation efficace de l'énergie dérivée.
- 4° L'utilisation efficace de l'énergie dans les processus industriels.
- 5° Le perfectionnement conceptuel des réacteurs à fission nucléaire et des méthodes d'utilisation.
- 6° L'utilisation efficace de l'énergie dans les bâtiments commerciaux et domiciliaires.
- 7° L'utilisation directe du charbon.
- 8° L'utilisation efficace de l'énergie dans le secteur des transports.
- 9° L'extraction des hydrocarbures des sables bitumineux en place.
- 10° L'exploitation des gisements de gaz naturel.
- 11° Les aménagements hydroélectriques.
- 12° L'efficacité de la transformation énergétique.
- 13° L'énergie tirée de l'organomasse, y compris l'utilisation directe du bois.
- 14° Le stockage de l'énergie sous toutes ses formes.

Politique et priorités à long terme

Il faut conférer une stabilité à long terme à l'approvisionnement énergétique du pays, et donc choisir les programmes de R, D & D de façon à réduire les incertitudes techniques, économiques, sociales et d'environnement compromettant l'évaluation du potentiel des technologies énergétiques, et accorder un accent particulier aux possibilités spéciales dont dispose le Canada. Il faut commencer à choisir immédiatement les priorités de R, D & D en fonction des technologies qui:

- offrent des perspectives de contribution énergétique *d'importance suffisante*, disons de l'ordre d'un exajoule au moins *par an**, pendant le demi-siècle qui vient³. Il existe un certain nombre de possibilités, par exemple des combustibles fossiles et les filières nucléaires, solaire, organomassiques et hydroélectrique;
- contribuent à la satisfaction des *besoins cruciaux*, tels ceux de l'agriculture et des transports, par exemple, grâce à la mise au point de combustibles liquides transportables de remplacement;
- réduisent la pression sur les *ressources matérielles et financières*;
- ouvrent des débouchés à l'industrie canadienne;
- sont compatibles avec le *cadre physique et la structure sociale*;
- et satisfont les *besoins régionaux*, particulièrement dans le cas des technologies énergétiques ayant des répercussions géographiquement spécifiques, et perçues différemment dans les diverses régions du Canada. On estime qu'il sera possible de diversifier régionalement les sources d'approvisionnement énergétique, à cause du rôle croissant des énergies renouvelables.

Il faut que l'ensemble des activités choisies de R, D & D énergétique favorise la participation équitable de toutes les régions du Canada. Le coût plus élevé de certaines opérations-pilotes et les perspectives de commercialisation de technologies nouvelles donnent encore plus d'importance aux considérations régionales. Il ne s'agit pas de réaliser l'autonomie des régions, mais plutôt de mettre en œuvre une interdépendance équilibrée. L'objectif à long terme des démonstrations à l'échelle nationale est d'assurer la sécurité de l'approvisionnement énergétique des Canadiens, tout en améliorant l'économie et les conditions de l'emploi dans la plupart des régions du Canada, sans favoriser certaines régions, zones ou secteurs.

Il semble valable de recommander une liste préliminaire ou préférentielle de sources ou de technologies énergétiques en se basant sur ces concepts et sur l'ampleur relative des contributions éventuelles de ces sources ou technologies⁴. Voici donc celles qui devraient recevoir l'attention *dès maintenant* afin d'en obtenir les résultats attendus à long terme, dans leur ordre de priorité décroissante:

- 1° Utilisation plus efficace des combustibles nucléaires.
- 2° Perfectionnement des méthodes de récupération des hydrocarbures des sables bitumineux en place.

* Les besoins canadiens d'énergie secondaire pendant 1975 ont dépassé 5,25 exajoules.

- 3° Utilisation efficace de l'énergie dissipée lors de la transformation énergétique dans des aménagements idoines, tels les parcs industriels.
- 4° Mise au point des chauffe-eau solaires et du chauffage solaire des locaux.
- 5° Utilisation efficace de l'énergie grâce à de nouveaux procédés industriels.
- 6° Amélioration constante des bâtiments commerciaux et domiciliaires pour une utilisation efficace de l'énergie.
- 7° Transformation du charbon en combustibles liquides ou gazeux.
- 8° Mise au point de méthodes de stockage de l'énergie.
- 9° Réalisation de la filière biochimique et utilisation énergétique des ordures.
- 10° Perfectionnement de la transformation énergétique.
- 11° Amélioration de l'efficacité énergétique des transports.
- 12° Mise au point de combustibles transportables, tel l'hydrogène-carburant.
- 13° Optimisation du recyclage des matériaux et des produits de consommation.
- 14° Nouvelles méthodes d'extraction des sables bitumineux.

Influence sur la R, D & D

Comment la R, D & D serait-elle influencée par une telle stratégie à long terme? Il est évident que cette dernière aurait des incidences différentes sur la recherche scientifique, le développement technique et les démonstrations.

Comme M. A.B. Kinzel l'a déclaré dans une conférence de Noranda:

«Dans toute action couronnée de succès, l'effort financier consenti pour la recherche fondamentale devra être multiplié par dix pour la recherche sur les produits et les procédés de fabrication, par cent pour l'effort d'ingénierie et les études de marché et par mille pour les investissements en bâtiments. On peut bien se permettre de nombreux échecs dans les deux premiers cas, mais il est préférable d'éviter ceux qui coûtent de fortes sommes»⁵.

Sur le plan de la R, D & D énergétique, il faudrait interpréter cette opinion comme suit:

Recherche: Il est nécessaire de passer en revue, avec réalisme, tout l'éventail des options, afin de mettre en évidence les possibilités énergétiques du Canada et d'évaluer les progrès réalisés à l'étranger. Les universités peuvent jouer un rôle capital de recherche, mais l'État devrait financer cet effort à long terme.

Développement technique: Celui-ci est plus coûteux que la recherche, car il englobe le comportement technique en plus de la faisabilité scientifique. Il est nécessaire de maintenir un fort potentiel technique au cours d'une période suffisante, afin d'évaluer convenablement les démonstrations éventuelles et de participer aux activités internationales intéressant le Canada. Cette nécessité évoque le problème difficile de l'obtention d'un financement stable à long terme. Il faut de plus que le secteur public et

l'industrie collaborent étroitement à l'évaluation judicieuse des possibilités techniques et à leur mise en œuvre.

Démonstrations: Cette phase d'activité associe un petit nombre d'actions à grande échelle, de coût élevé, mais ouvrant les perspectives les plus prometteuses, non seulement pour l'approvisionnement des Canadiens en énergie, à des coûts raisonnables, mais *aussi* pour l'expansion de l'industrie canadienne grâce à des réalisations ultérieures. Les programmes de démonstrations nécessiteront la participation de l'industrie, afin de mieux évaluer leur faisabilité financière sur la scène régionale ou nationale⁶.

Bien que chaque programme de démonstrations doit être unique en son genre, on choisira les démonstrations en partie en fonction de leurs perspectives de viabilité commerciale. Leur coût total ou même partiel apparaîtra sans doute élevé à de nombreuses firmes industrielles, mais la contribution de l'État sera considérablement plus faible que celle du secteur privé, et le rôle de l'Administration sera, la plupart du temps, celui d'un facilitateur utilisant divers moyens économiques à sa disposition pour réduire les risques⁷.

Sur le plan de la répartition équitable des ressources financières entre les diverses technologies énergétiques, il faut souligner les disparités naturelles entre le financement de la recherche, celui du développement technique et celui des actions-pilotes. Ainsi peut-on concevoir que le développement d'une «excellente» technologie reçoive un financement plus faible qu'une technologie «moyenne» à la phase de démonstration. C'est pourquoi on pourrait être tenté de contester le mécanisme de financement.

Dans son Rapport n° 23: *Les options énergétiques du Canada*, le Conseil proposait de donner à ces grandes entreprises la forme de «programmes majeurs» (actions concertées), car elles exigent la participation des organismes qui les financent et de ceux qui les utilisent. Bien que les démonstrations constituent le thème du présent Rapport, il faudra aussi financer la recherche et le développement technique pour assurer la viabilité de la filière énergétique choisie, comme le dossier du programme électronucléaire du Canada l'a bien montré.

Voici la liste de certains critères auxquels les actions concertées nouvelles devraient répondre⁸:

- a) la nécessité de choisir des objectifs précis pour des programmes qui doivent se dérouler au cours d'une très longue période;
- b) l'obligation de disposer d'une source fiable pour le financement de plus en plus ample nécessaire à un tel programme à long terme;
- c) la nécessité de mettre sur pied un (potentiel de gestion systémique) qui exercera une supervision générale sur les programmes;
- d) l'obligation de faire participer à l'action, dès le début, les futurs utilisateurs de la technologie mise au point;
- e) la nécessité d'obtenir la participation des fabricants éventuels du matériel exigé.

C'est dans ce contexte stratégique que doivent se dérouler les programmes de démonstration. Ceux-ci traceront un cadre pour les

activités de R & D qui seront nécessaires à une échelle permettant d'évaluer complètement les nouvelles technologies énergétiques⁹.

Pour obtenir de bons résultats, il faudra éviter la multiplication des orientations, le morcellement des programmes de R & D et la dissémination des démonstrations. Le Canada peut se permettre d'effectuer des recherches sur toutes les technologies énergétiques, mais il ne peut réaliser des démonstrations qu'au sujet d'un petit nombre d'options énergétiques nationales, à un moment donné.

IV - Programmes recommandés de démonstrations énergétiques

Le cadre des programmes de démonstrations

Le choix des priorités et la répartition des ressources qui s'ensuit doivent tenir compte de la nature des activités existantes, de leur portée, de leur envergure et de leur état de développement. La formation de la main-d'œuvre, et la mise sur pied du potentiel de gestion et des installations permettant une utilisation judicieuse des crédits prennent beaucoup de temps.

L'enveloppe de R & D énergétique inscrite au budget fédéral pour l'exercice 1977-1978 contenait quelque 138 M\$, et elle mettait l'accent sur l'économie d'énergie et l'étude des sources d'énergie renouvelable. De plus, en juillet 1978, le gouvernement fédéral a annoncé la réalisation d'un grand programme concernant les sources d'énergie renouvelable, dont les crédits quinquennaux atteindraient un total de 380 M\$. Il a réservé un montant de 114 M\$ au financement des grands projets-pilotes en matière d'énergie renouvelable et d'économie de l'énergie, en collaboration avec les Administrations provinciales.

Un important volet de cette action de développement des énergies renouvelables est constitué par le programme FIRE (*Forest Industry Renewable Energy*) fournissant jusqu'à 20 pour cent des coûts d'achat du nouveau matériel servant à la transformation des produits et des déchets ligneux en énergie utile. La réalisation de ce programme à frais partagés, qui fournira un montant de subventions atteignant 150 M\$, permettra d'encourager la transformation des déchets d'abattage et des déchets de sciage en énergie disponible pour l'industrie forestière, en remplacement de l'énergie acquise à l'extérieur.

Le programme PUSH (*Purchase of Solar Heating*) dispose de 125 M\$ pour subventionner des actions-pilotes de chauffage solaire des locaux et de l'eau sanitaire dans les édifices fédéraux. Le PASEM (*Plan of Assistance to Solar Energy Manufacturers*) constitue un programme adjoind en deux phases. Il prévoit l'attribution de 25 subventions de 10 000 \$ pour la conception de matériel solaire. À la suite de l'évaluation des modèles qui en découleront, jusqu'à 10 subventions de 200 à 300 000 \$ seront consenties aux firmes canadiennes qui mettront au point le matériel de chauffage solaire nécessaire pour la mise en œuvre du programme PUSH. En outre, les crédits à la R & D sur les filières solaire et biochimique seront accrus d'environ 38 M\$ au cours de la même période 1978-1983.

Le financement accordé par les Administrations provinciales à la R & D énergétique a atteint environ 35 M\$ pour l'exercice 1975-1976. Au cours de 1977, les compagnies d'électricité ont consacré un peu plus de 40 millions de \$ à des actions de recherche portant surtout sur la mise en œuvre et la modification des technologies existantes en vue de réduire leurs coûts, d'améliorer leur efficacité et la stabilité des réseaux, et d'assurer la production d'électricité en dépit de conditions changeantes. Cependant, on ne trouve guère d'information précise sur les activités de R & D financées par les Administrations municipales et l'industrie.

Le secteur public, les industries et les compagnies d'énergie font réaliser, dans divers secteurs industriels, outre ces activités surtout de R &

D, un certain nombre de démonstrations importantes pour le Canada. Les projets réalisés dans les domaines de l'électronucléaire, de l'extraction des hydrocarbures des sables bitumineux, de la récupération secondaire du pétrole, du forage à partir d'îles artificielles dans les mers arctiques, des plateformes de glace et des navires de forage, et de l'économie d'énergie, etc., pourraient faire d'importantes contributions à la satisfaction des besoins énergétiques futurs du Canada.

Dans bien des domaines, telles la gazéification du charbon et la fusion nucléaire, l'effort de R, D & D réalisé à l'étranger dépasse très considérablement ce que le Canada accomplit actuellement. Il est malaisé de mettre sur pied et de financer les programmes nationaux isolés et autonomes en ces domaines. Il faut cependant que notre pays acquière et maintienne au moins les fondements d'une activité de recherche scientifique et de développement technique sur un large front, afin d'évaluer les actions-pilotes proposées et de soutenir adéquatement le suivi qui leur serait donné jusqu'à la phase de commercialisation.

L'Étude de documentation¹ s'efforce d'évaluer l'ampleur de l'effort de recherche et de développement technique, et celle des coûts qu'entraînerait la mise en œuvre de la première démonstration d'importance dans chaque domaine de technologie énergétique.

Il est indispensable de réaliser un effort de R & D pour étayer l'approvisionnement énergétique du Canada.

C'est pourquoi il faudra soigneusement choisir les activités de R & D, les étayer, les superviser et les poursuivre avec détermination. Cependant, en raison de l'urgence de la situation actuelle, il n'est pas possible d'attendre que l'effort de R & D ait été poussé jusqu'à sa conclusion sur tous les fronts avant d'entreprendre une série de démonstrations bien choisies à l'échelle nationale, afin de compléter celles qui sont déjà en route. Grâce à la complémentarité des programmes, on espère mettre sur pied un effort de R, D & D concerté et bien articulé, où les Administrations fédérale et provinciales, l'industrie et les universités soutiendront réciproquement leurs actions.

On effectue actuellement assez de R & D énergétique au Canada pour qu'on puisse faire avec confiance les recommandations suivantes au sujet du choix des programmes de démonstrations à l'échelle nationale. Ces recommandations sont compatibles avec la stratégie décrite dans le chapitre II et avec les objectifs de R, D & D mentionnés au I^{er} chapitre. On les a établies à la suite d'un tour d'horizon des technologies énergétiques mentionnées dans le Tableau I.1 et des recommandations d'un groupe d'experts rassemblés sous les auspices du Conseil des sciences (Les noms des membres du Comité de la politique scientifique de l'énergie auprès du Conseil sont mentionnés à la p. 199).

Les programmes de démonstrations

Les programmes de démonstrations qui devraient être entrepris sans retard se répartissent en quatre catégories: combustibles fossiles, filières électronucléaires, sources d'énergie renouvelable, et techniques de

transformation de l'énergie. La présente section exposera les raisons d'être de ces programmes. L'annexe décrira les orientations techniques, l'ampleur des efforts et les coûts prévus des différentes actions-pilotes (pp. 83-199).

Les combustibles fossiles

Le pétrole et le gaz naturel

Le Canada est doté de ressources en hydrocarbures considérables, sous forme de pétroles légers et semi-fluides et de gaz naturel, et ses gisements de pétrole lourd et de sables bitumineux constituent la majeure partie des pétroles à faible densité et des asphaltes qu'on trouve dans le Monde. Comme l'indique le Tableau II.2, le Canada dispose de réserves d'hydrocarbures qui lui permettraient d'organiser avec succès son passage de la filière pétrolière à une autre au cours des décennies qui viennent. À court terme, il est d'importance primordiale que notre pays prenne toutes les mesures nécessaires pour réduire sa dépendance croissante à l'égard du coûteux pétrole étranger.

Il faut que les Canadiens déterminent de façon quasi-certaine l'envergure et la nature des gisements d'hydrocarbures éventuels et, grâce à des programmes synchronisés et bien adaptés de R, D & D, mettent au point les techniques qui leur permettront d'exploiter les gisements de façon rentable et la plus avantageuse possible.

Il faut donc accorder une attention considérable à l'élaboration et à l'essai des technologies qui permettront d'exploiter économiquement les vastes gisements de sables bitumineux et de pétrole lourd, qui prendront une importance très grande dans l'approvisionnement pétrolier au cours du siècle prochain. Ils ne seraient guère utiles à l'économie canadienne si les spécialistes ne découvraient pas comment exploiter ces énormes réserves, y compris les sables bitumineux de teneur relativement faible en hydrocarbures, et peut-être ultérieurement les calcaires pétrolifères, de façon à en tirer plus d'énergie que leur extraction n'en coûte, et à des coûts acceptables. En effet, l'industrie canadienne base ses activités sur l'utilisation d'énergie à coût relativement faible, et il lui en faudra d'autre à l'avenir.

C'est l'expansion et l'extraction des ressources en pétrole brut conventionnel des régions bien établies qui permettraient de pallier largement les difficultés d'approvisionnement en pétrole léger et semi-fluide, auxquelles les Canadiens devront faire face au cours de la prochaine décennie. Il serait possible d'y parvenir grâce à la récupération plus poussée du pétrole des gisements actuellement connus (comme on l'envisage dans le cadre du programme de l'Institut de récupération du pétrole de Calgary). Parallèlement, il faudrait mettre en œuvre une démonstration complémentaire de mise en exploitation des énormes réserves de gaz naturel qu'on a trouvées dans le «bassin profond» de l'Ouest canadien.

Bien que la prospection dans les régions occidentales du Canada doivent se poursuivre, les sociétés pétrolières et gazières accompliront leurs efforts de recherche surtout dans les régions périphériques arctiques et maritimes, en se fondant sur une action étendue de R, D & D. Les

difficultés causées par la couverture glacielle et les icebergs errants exigent l'utilisation de nouvelles méthodes de prospection et d'extraction, et la conception du matériel de transport nouveau; les forages d'exploration dans les eaux profondes nécessitent la mise au point de matériels et de techniques particulières. Bien qu'une activité considérable se déroule maintenant dans tous ces secteurs, une grande partie en est accomplie à l'étranger. C'est là chose inévitable, mais il est d'importance primordiale que le Canada élabore une politique cohérente et stable facilitant la mise sur pied d'un potentiel technique canadien d'exploitation des ressources excentriques selon l'échéancier le plus avantageux pour lui². Il faut assurer un accès en temps utile à ces sources d'énergie, et mettre sur pied les industries capables de réaliser ces énormes entreprises.

On effectue déjà certains travaux en matière d'action dans les eaux encombrées de glaces, de transport maritime du gaz et du pétrole et de forage en eaux profondes; cependant, ces activités subissent parfois de violents changements d'orientation, et il faudrait mettre au point des technologies et un potentiel technique plus rapidement et plus systématiquement, de façon à les intégrer à des programmes cruciaux de démonstrations. C'est pourquoi le Conseil des sciences recommande la réalisation de trois programmes de démonstrations qu'il estime de grande importance immédiate:

1. Démonstration d'un potentiel technique de prospection et d'extraction des hydrocarbures dans les eaux encombrées de glaces.

De nombreux problèmes techniques qu'il faudra surmonter dans les régions prometteuses du Nord canadien et au large du littoral oriental ne sont pas fondamentalement différents de ceux qu'on rencontre dans d'autres parties du Monde. La technologie de base nécessaire pour la recherche et l'extraction des hydrocarbures sous-marins est en général disponible.

Il existe cependant une exception importante: on connaît mal les propriétés techniques de la glace, et son comportement dans le milieu naturel. C'est dans des eaux encombrées de glaces des régions périphériques de la mer de Beaufort et de l'Archipel arctique, de la mer de Baffin et au large du Labrador qu'on recherchera et qu'on exploitera à l'avenir les gisements de pétrole et de gaz naturel. Il est donc indispensable d'avoir une connaissance parfaite des modes de formation, de déplacement et de fusion de la glace de mer. Il faut que le recueil et l'articulation des données sur l'environnement glacielle maritime se déroule en permanence, afin qu'on puisse établir une base systématique de données. Il faut également connaître avec bien plus de précision les propriétés structurelles ou mécaniques de la glace, et ses interactions avec divers milieux et ouvrages. On devra accroître l'effort de R & D de longue haleine sur le comportement des glaces et la technologie du milieu glacielle. Parallèlement, il faudra mettre sur pied un programme de démonstrations étayé par une action de R & D, permettant de soutenir l'effort futur de prospection et d'en corroborer la faisabilité technique, les besoins en investissements et les

coûts d'extraction dans des conditions géographiquement spécifiques. Il faudra articuler cet effort avec d'autres activités similaires réalisées ou prévues par le secteur canadien du pétrole³. L'annexe (p. 86) précise les lignes directrices et les démonstrations proposées, et l'ampleur des efforts nécessaires.

2. Démonstration du transport maritime des hydrocarbures à partir de l'Arctique

On a prouvé l'existence d'amples gisements de gaz naturel dans l'Arctique, et on estime qu'il en existe dans les bassins sédimentaires qui se trouvent au large du littoral du Labrador.

Le transport du gaz naturel sous forme liquéfiée ou sous forme de méthanol et, plus tard, le transport du pétrole par voie maritime à partir de l'Arctique grâce à des installations et navires conçus et construits au Canada offrirait plusieurs avantages capitaux:

- un accès rapide aux ressources en hydrocarbures, des délais plus courts de rentabilisation, et l'établissement de la base nécessaire à une activité continue de prospection et de mise en exploitation des gisements;
- un accroissement de l'activité industrielle, y compris celle des chantiers navals canadiens, fondée sur les progrès de l'océanotechnique⁴;
- une contribution substantielle à l'expansion régionale, à cause de l'emplacement des marchés et des activités de construction;
- une base technologique pour de nombreuses autres activités de mise en exploitation des ressources boréales et activités maritimes et, ce qui est très important:
- une nouvelle manifestation de la souveraineté du Canada dans l'Arctique.

Les autorités canadiennes étudient la possibilité de construire un brise-glace d'une puissance de 150 000 CV dont 65 pour cent proviendraient d'un réacteur nucléaire et 35 pour cent de turbines à gaz. Il semble que la décision de construire ou non ce brise-glace doive être prise en 1980. Alors même que les autorités canadiennes étudient la faisabilité de leur premier brise-glace à propulsion nucléaire, l'URSS en a déjà mis deux en service: le «Lénine» et l'«Arktika». Un troisième brise-glace, le «Sibir», a été mis en chantier au début de 1978, et il sera affecté à la flotte boréale soviétique dès son achèvement.

En raison de sa souplesse d'exploitation, le transport du gaz naturel liquéfié (GNL) par méthaniers, ou son alternative, le transport de méthanol, pourrait jouer un rôle capital, à condition que la technologie appropriée reste simple et sécuritaire, et qu'un effort de R & D permette de réduire notablement les coûts⁵.

En raison du coût élevé de cette démonstration (le financement de la démonstration du transport du GNL par méthaniers coûterait 507 M\$ au cours des cinq premières années, sur une enveloppe de programmes de 860 M\$, soit 60 pour cent), il faudra déterminer la faisabilité de la démonstration grâce à des études soigneuses d'ingénierie, de coût, de commercialisation et d'incidences d'environnement. Il faut que les avantages

recueillis par le public et les perspectives commerciales contrebalancent largement le coût élevé d'une telle démonstration. C'est pourquoi le gouvernement fédéral devrait insister pour que la technologie nécessaire et les moyens de transport et de transformation du gaz soient conçus au Canada, et que les équipements y soient construits, en prenant en considération le volume du gaz à transporter, l'outillage des usines et la longueur des séries de fabrication nécessitées par la construction des méthaniers brise-glace. De cette façon, les frais de démonstration seraient partagés par le secteur des transports et l'industrie du gaz, et au moins deux paliers d'Administration, en proportion des avantages espérés. Cette démonstration est décrite à la p. 95.

3. Démonstration de la prospection et de l'extraction des hydrocarbures sous-marins gisant à grande profondeur

Les indices géologiques de la présence d'hydrocarbures sous-marins dans certaines eaux profondes sont très encourageants, selon la branche des hydrocarbures et les évaluations d'Énergie, Mines et Ressources Canada⁶.

Les talus continentaux et les bombements au large du plateau de la Nouvelle-Écosse, le Grand Banc de Terre-Neuve, et les plateaux continentaux du Nord-Est de Terre-Neuve et du Labrador, le talus et le plateau continentaux de la Baie de Baffin, celui au large de la plaine côtière arctique et les chenaux de l'Archipel arctique offrent tous d'attirantes perspectives pour la prospection des hydrocarbures. C'est seulement par les forages d'exploration qu'on peut déterminer si les hydrocarbures s'y trouvent en quantités suffisantes, dans des pièges pétroliers qu'on peut exploiter économiquement. La plupart des forages doivent être exécutés dans des profondeurs supérieures à 300 mètres, ce qui nécessite la mise au point de nouvelles techniques et de matériels nouveaux.

Déjà les grandes sociétés pétrolières accomplissent un large effort de R & D en matière de forages en eaux profondes; mais la mise sur pied d'un potentiel correspondant au Canada est d'une importance si grande que ce dernier devrait lancer une opération-pilote dès qu'il serait possible. Les divers paliers d'administration pourraient faciliter notablement cette entreprise en supprimant les obstacles et en fournissant des encouragements par le biais de la fiscalité et d'une aide financière.

Cette démonstration intéresse les branches pétrolières dans les autres pays, car elle ne porte pas sur une question exclusivement canadienne. Cependant, en raison des caractéristiques géographiques boréales du Canada, elle est d'un intérêt particulier pour notre pays.

Les lignes directrices de cette opération-pilote, et l'envergure des efforts nécessaires sont décrits à la p. 102.

Le charbon

Les réserves charbonnières du Canada représentent une grande source d'énergie et de matières premières pour l'industrie chimique, bien qu'elles ne soient pas énormes sur le plan mondial. Les gisements charbonniers, de

nature fort diversifiée, se trouvent dans des formations géologiques très diverses; leurs caractéristiques très différentes déterminent leur utilisation finale. La plus grande partie des charbons canadiens se trouve en Alberta et en Colombie-Britannique, et une faible partie dans les provinces maritimes, alors que c'est en Ontario que se trouvent les principaux consommateurs, soit l'industrie sidérurgique et les centrales thermiques. En vue de limiter l'achat de charbons étrangers, de favoriser une plus large utilisation des charbons canadiens, et de réduire l'importation de pétrole coûteux, on s'occupe d'améliorer le réseau ferroviaire de l'Ouest canadien et de construire des ports charbonniers sur les Grands Lacs; ainsi pourra-t-on transporter économiquement de grandes quantités de charbon de l'Ouest vers le Centre et l'Est du Canada.

La double incidence de l'utilisation du charbon sur l'environnement pourrait bien limiter son extraction et son utilisation au Canada. Il faudra réduire à un niveau acceptable les quantités de polluants chimiques rejetées au cours de sa combustion et d'autres processus et rétablir la productivité des terres agricoles et autres sols bouleversés par les travaux d'extraction, si l'on veut que la filière charbonnière fournisse la contribution espérée à l'approvisionnement énergétique, et ne lui soit pas très inférieure. L'accroissement du rendement de la combustion de charbons ayant différentes caractéristiques physiques et chimiques constituerait un autre progrès important.

On mène actuellement de vastes programmes de R, D & D au sujet de ces problèmes et de beaucoup d'autres aspects de l'extraction, de la transformation et de l'utilisation du charbon, particulièrement aux États-Unis. En dépit de l'effort notable de R & D réalisé au Canada, il est indispensable d'évaluer avec plus de précision l'applicabilité des technologies élaborées à l'exploitation et à l'utilisation des charbons canadiens, et d'en faire un essai-pilote dès qu'il sera possible, afin de pouvoir en toute certitude planifier la mise en valeur à terme moyen et à long terme de ces ressources charbonnières stratégiques. Bien qu'à long terme de nombreuses démonstrations de la transformation du charbon en gaz ou en carburants liquides et de son utilisation puissent se révéler fructueuses pour le Canada, le Conseil des sciences recommande la réalisation des démonstrations, dès que possible, en matière de combustion en lit fluidisé et de reconstitution des sols bouleversés par l'exploitation minière en découverte (*strip-mining*). Ces actions-pilotes permettraient d'élargir la panoplie énergétique du Canada, et l'utilisation de la filière charbonnière en particulier, et d'écartier les obstacles au remplacement d'autres substances énergétiques par le charbon, et ultérieurement par l'organomasse.

1. Démonstration de la technologie de la combustion en lit fluidisé

La technologie de la combustion en lit fluidisé pourrait être utilisée largement dans le secteur charbonnier. Du point de vue canadien, il est plus important de disposer d'une souplesse plus grande d'utilisation des divers charbons et d'obtenir une combustion plus efficace que de sup-

primer les émissions sulfureuses. On doit cependant remarquer que si les précipitateurs électrostatiques permettent d'arrêter efficacement les particules de la fumée issue de la combustion traditionnelle des charbons, il n'existe pas de techniques valables pour la suppression des oxydes de soufre dans ces mêmes émissions.

La technologie de la combustion en lit fluidisé dispose de débouchés immédiats dans l'utilisation non polluante des charbons dans l'industrie et dans les centrales thermiques, car elle est plus pratique que l'utilisation des épurateurs (*scrubbers*). La technologie de la combustion en lit fluidisé tiendra-t-elle les promesses de ses partisans à la recherche d'un soutien financier? L'utilisation des dispositifs à lit fluidisé sera-t-elle plus coûteuse que d'autres méthodes? Comment améliorer le rendement de la combustion quand la proportion des imbrûlés dans les gaz rejetés reste relativement élevée? Cette technologie permettra-t-elle d'utiliser les combustibles de mauvaise qualité et, en même temps, de réduire les incidences d'environnement? Plus précisément, la technique de combustion en lit fluidisé est-elle adaptable à des charbons de caractéristiques diverses, ou ne convient-elle que dans des circonstances très particulières? Peut-elle aider à respecter les normes de salubrité de l'atmosphère, et dans quelles conditions? Pourrait-on la perfectionner assez tôt pour qu'on puisse remplacer la filière des hydrocarbures par celles du charbon, et ultérieurement de l'organomasse? Comment adapter la technologie de la combustion en lit fluidisé à la production d'électricité et de chaleur, et plus particulièrement aux fluctuations entre charge minimale, charge moyenne et charge de pointe? Pour répondre à certaines de ces questions, il faudrait réaliser une démonstration adaptée aux charbons canadiens et à leurs caractéristiques, en tirant partie le plus possible des progrès techniques réalisés dans les autres pays⁷ (voir la description de cette démonstration à la p. 114).

Remarque: À la suite des délibérations du Comité de la politique scientifique de l'énergie auprès du Conseil des sciences, Énergie, Mines et Ressources Canada, en collaboration avec les Administrations des provinces intéressées et d'autres organismes, a dressé des plans pour l'introduction de nouvelles technologies d'utilisation du charbon au Canada. Des études préliminaires ont été réalisées sous les auspices du Programme canadien de transformation du charbon, grâce au financement du Groupe de R & D énergétique, dont l'objectif est d'aider les utilisateurs éventuels de nouvelles technologies charbonnières à mettre en évidence les options pouvant les intéresser. Ces études à coût partagé ont été pour la plupart financées moitié par l'Administration et moitié par l'industrie.

Voici les projets-pilotes dont la réalisation est considéré en matière de méthodes améliorées d'utilisation du charbon pour la production d'énergie électrique et de chaleur industrielle:

a) Technologie de combustion en lit fluidisé à la pression atmosphérique

On étudie le remplacement d'un groupe évaporatoire à la base militaire du ministère de la Défense nationale à Summerside, Île du Prince-Édouard. Cette unité, produisant 18 tonnes de vapeur à l'heure, est d'une taille convenant à l'introduction de la technologie de la combustion en lit fluidisé au Canada. Deux cabinets d'ingénieurs s'occupent actuellement (1978) d'en dresser les avant-projets.

On envisage la reconstruction d'un groupe générateur d'une puissance électrique de 22 MW dans la centrale thermique que la Commission d'électricité du Nouveau-Brunswick possède à Chatham, N.-B., afin d'en faire un centre national d'essai de la technologie de la combustion

2. Démonstration de reconstitution des sols après exploitation du charbon en découverte

Comme les Canadiens devront de plus en plus remplacer le pétrole importé par des matériaux énergétiques du pays, il leur faudra extraire et utiliser d'énormes quantités de charbon. En conséquence, au cours des cinquante à soixante-quinze prochaines années, de grandes superficies de terres agricoles ou rurales seront bouleversées par cette extraction, particulièrement dans l'Ouest canadien. Bien entendu, on réglementera l'exploitation en découverte et les législations fédérale et provinciales exigeront une reconstitution des sols (*land reclamation*) de couverture; dans ce but, il faut qu'on exécute des recherches, dans le cadre d'un programme de démonstrations harmonisées, au sujet des méthodes et des critères

en lit fluidisé, où l'on étudierait particulièrement l'utilisation des charbons fortement sulfureux du Nouveau-Brunswick. La taille de ce groupe convient à une première démonstration, et la quantité de vapeur produite (60 t/h) pourrait intéresser d'autres industries envisageant l'utilisation de la technologie de la combustion en lit fluidisé. L'avantage offert par cette unité est de permettre l'essai de la technologie des lits fluidisés pour la combustion de divers charbons, schistes pétrolifères et autres combustibles, car la centrale sert d'unité auxiliaire pour le réseau de la Commission d'électricité de Nouveau-Brunswick. L'Association canadienne de l'électricité finance la première phase des études prévues.

Dans le cadre de l'accord canado-américain de remplacement du pétrole, la Commission d'électricité de la Nouvelle-Écosse étudie l'installation d'une unité de combustion en lit fluidisé d'une puissance électrique de 40 MW dans la centrale du Cap Breton, afin d'utiliser les schlamms (*washery rejects*) et certains charbons extraits en découverte, et dont la combustion est difficile. Cette unité-pilote permettra l'utilisation d'un charbon pratiquement tout-venant, et elle est d'une taille suffisante pour que ses coûts permettent l'extrapolation à de plus grandes unités. Le passage à une unité de taille supérieure pourrait suivre l'installation de Chatham.

b) Technologie de la combustion du charbon en suspension dans le pétrole

On peut utiliser le charbon dans des foyers conçus pour brûler le mazout, en les alimentant avec des suspensions de charbon broyé assez finement pour que la boue pétrole-charbon résultante puisse être refoulée dans des brûleurs spéciaux. C'est en 1978 qu'on a mis ce procédé pour la première fois à l'essai dans le groupe n° 1 de la centrale de Chatham, et on prévoit d'autres essais. On note avec intérêt que cette seconde série d'essais s'appuiera sur le processus de séparation par agglomération sphérique mis au point par le CNRC, qui utilise les propriétés du mazout lui-même pour rejeter en partie les éléments minéraux et sulfureux du charbon. Ces essais devaient commencer à la fin de 1978. La Fondation des recherches de l'Ontario mène des études voisines (p. ex. sur le broyage et la suspension des charbons, la modification des brûleurs et les rejets gazeux), de même que le Conseil des recherches de la Saskatchewan (p. ex. sur la viscosité des suspensions charbon-mazout). La *Steel Company of Canada* s'occupe d'évaluer l'application de cette technologie aux hauts-fourneaux. La plus grande partie de ce travail est partiellement financée par Énergie, Mines et Ressources Canada.

c) Méthodes perfectionnées de combustion du charbon pour la production d'électricité

Deux compagnies d'électricité de l'Ouest canadien se sont intéressées à cette technologie de la combustion des charbons peu coûteux, mais peu énergétiques et très humides de cette région. La Commission hydroélectrique de la Colombie-Britannique a étudié les possibilités de la combustion en lit fluidisé et pressurisé, et la Compagnie hydroélectrique de la Saskatchewan s'occupe d'évaluer d'autres méthodes intéressantes, toujours avec le soutien partiel d'Énergie, Mines et Ressources Canada.

Il faut que les autorités accordent leur attention aux plans, aux études et aux projets individuels ci-dessus, ainsi qu'aux démonstrations recommandées sur le plan national par le présent Rapport, car ils montrent bien comment différentes activités peuvent se compléter et contribuer ensemble à l'élargissement du rôle des sources d'énergie existantes et des énergies nouvelles comme remplaçantes des ressources énergétiques qui s'épuisent, tel le pétrole.

concertés de protection de l'environnement, d'aménagement du territoire, d'exploitation minière et de reconstitution des sols, ainsi que de l'évaluation comparative des coûts des diverses méthodes acceptables. Il faut exécuter des recherches nécessaires en vue de mettre au point des méthodes d'extraction réduisant au minimum les répercussions d'environnement et, bien entendu, que ces méthodes soient acceptables au public et économiques pour l'exploitant.

L'industrie charbonnière a déjà mis au point ou utilisé des méthodes particulières en vue de réduire les effets fâcheux de cette exploitation. À la suite de celle-ci, on reconstitue les sols bouleversés dans leur état initial, ou sous une forme parfois plus acceptable que ce dernier. La stricte réglementation des répercussions sur l'environnement de l'exploitation du charbon en découverte a donné de l'impulsion aux recherches en ce domaine, en Alberta et en Colombie-Britannique. On cite souvent comme modèle la superficie remise en végétation dans les environs de Luscar, en Alberta.

Comme rien n'est plus essentiel ni plus urgent, parmi les préoccupations mondiales, que de répondre aux besoins alimentaires et énergétiques de l'Humanité, il ne sera pas facile de parvenir à un compromis entre l'utilisation agricole du sol et son exploitation minière en découverte. Les programmes de démonstrations permettront de recueillir l'information nécessaire pour étayer, avec moins d'aléas, les décisions difficiles en ce domaine. Mais le soutien de l'État sera nécessaire⁸. Les lignes directrices et l'envergure de l'effort recommandé pour cette opération-pilote sont décrits à la p. 120.

Les filières électronucléaires

Les filières électronucléaires pourraient satisfaire une grande partie des besoins énergétiques des Canadiens dans les années qui viennent, et même fournir la plupart, sinon la totalité de l'accroissement prévu de nos besoins en électricité. Celle-ci actionne les machines des usines, et c'est pourquoi son importance est beaucoup plus grande que la part qu'elle occupe dans l'approvisionnement énergétique total du Canada. Le Conseil des sciences a préconisé le développement de la technologie électronucléaire⁹. Les centrales électronucléaires en fonctionnement, et celles qui sont en construction au Canada, auront une puissance totale d'environ 15 gigawatts (1 GW = 10⁹ watts) et les plans des compagnies d'électricité¹⁰ indiquent que la puissance installée atteindra 20 GW vers 1990, et 60 GW vers l'an 2000.

Les centrales électronucléaires canadiennes utilisent une filière mise au point au Canada: le CANDU*. Cette filière est particulière, en ce sens que le combustible du réacteur n'a pas besoin d'être enrichi pour que le fonctionnement de ce dernier soit économique; cependant, il est évident que cet enrichissement procurerait quelques avantages. De toute façon, notre pays doit poursuivre son effort de R, D & D afin de perfectionner la

*CANADA Deuterium Uranium: Réacteur ralenti à l'eau lourde pressurisée.

filière CANDU, pendant au moins deux ou trois décennies, car la plupart des autres nations consacrent tous leurs efforts à d'autres filières électro-nucléaires.

L'expérience de vingt années d'exploitation de réacteur à la seule Centrale électronucléaire de Pickering a prouvé la validité de la filière CANDU à uranium naturel sur les plans technique, économique et d'environnement. Il s'agit maintenant d'exploiter largement cette technologie pour l'apport qu'elle pourra faire à l'approvisionnement énergétique du Canada à long terme.

Le développement des filières électro-nucléaires dépendra probablement de l'assentiment collectif aux progrès réalisés en matière de gestion et de confinement des déchets radioactifs. Les méthodes actuelles consistent en un stockage temporaire des déchets de combustibles irradiés, responsables de la plus grande partie de la radioactivité, dans des « piscines » spéciales (*water-filled bays*), creusées aux alentours de la centrale. Un stockage intermédiaire dans des lieux de concentration éloignés des emplacements de réacteurs fournirait des délais supplémentaires. Cependant, selon les idées actuelles, il faudrait que les déchets radioactifs soient fixés sous forme insoluble, et confinés dans des couches géologiquement stables, à grande profondeur¹¹.

Outre les déchets de fission, les combustibles irradiés contiennent des substances potentiellement énergétiques, surtout du plutonium, qu'on pourrait extraire et recycler en vue d'économiser les combustibles fissiles. C'est pourquoi il faut que les méthodes actuelles de stockage des déchets radioactifs permettent d'y accéder pour récupérer le plutonium, et ultérieurement l'uranium 233. Les méthodes actuelles consistent à stocker en des lieux accessibles les déchets radioactifs, tant ceux qui proviennent du combustible irradié que ceux qui résultent de l'exploitation du réacteur, jusqu'au moment où l'on aura démontré la validité du confinement permanent. Les deux catégories de déchets radioactifs seront convenablement stabilisés avant d'être confinés.

Les réacteurs CANDU utilisent actuellement le cycle des combustibles le plus simple possible, celui de l'uranium naturel non recyclé. La capacité électronucléaire de 1 GW électrique exigera environ 4 100 tonnes d'uranium comme combustible au cours des trente années de vie utile de la centrale. Les ressources indiquées en uranium du Canada, utilisées de cette façon, fourniraient l'équivalent énergétique d'environ quatre milliards de tonnes de pétrole, et elles seraient suffisantes pour approvisionner le secteur électronucléaire canadien prévu, jusqu'à l'an 2000.

La forme la plus simple de recyclage du combustible irradié, soit la récupération du plutonium et son utilisation avec de l'uranium non recyclé dans le réacteur, permettrait en gros de doubler l'énergie tirée d'une quantité d'uranium donnée. L'utilisation du thorium pourrait au moins doubler encore l'énergie produite par les combustibles nucléaires canadiens. En outre, il est possible de modifier les réacteurs CANDU utilisant le cycle du thorium pour faire durer les ressources en combustibles nucléaires presque indéfiniment, à un coût seulement de 25 pour cent plus élevé que le coût unitaire de l'énergie produite dans les conditions actuelles.

L'utilisation des combustibles recyclés et de méthodes acceptables de gestion des combustibles irradiés et de confinement des déchets radioactifs, conçus spécialement pour la filière CANDU, assureraient l'approvisionnement en combustible des centrales électronucléaires à très long terme. Il faudra de vingt-cinq à trente ans pour mener à bien les phases multiples d'un programme de démonstrations adéquat. Il est indispensable d'entreprendre sans retard les premières phases de cette action, afin de déterminer aussitôt que possible les perspectives de la filière, y compris les considérations de sécurité interne et externe relatives aux futures activités de développement. Le Conseil recommande la réalisation des deux programmes suivants:

1. Démonstration de méthodes acceptables de gestion et de confinement des combustibles irradiés

Les réacteurs CANDU qui fonctionnent actuellement, et ceux qui sont en construction, sont tous basés sur un cycle unique d'utilisation de l'uranium, produisant des combustibles irradiés contenant du plutonium, des produits de fission et de l'uranium non fissionné.

Il est possible d'extraire une partie du plutonium contenu dans les combustibles irradiés et de le recycler, en accroissant ainsi l'énergie totale disponible. En conséquence, les combustibles irradiés représentent une énergie additionnelle importante, et toute décision de confinement définitif doit être précédée d'un examen des possibilités de recyclage. Comme il est capital de procéder à une démonstration de la gestion des déchets radioactifs, il faudrait qu'un effort de R, D & D élucide de nombreux aspects du stockage et du confinement des déchets radioactifs, et fournisse des réponses claires, sans retard indû. En fin de compte les réacteurs qui fonctionnent devront être démontés, et il faudra confiner leurs éléments radioactifs de façon sécuritaire. Ici encore, l'ÉACL pourrait jouer un rôle de pionnier (voir p. 128).

2. Démonstration de la faisabilité du cycle du thorium

La décision d'utiliser le cycle du thorium dans le réacteur CANDU nécessite une analyse en profondeur, basée sur une évaluation imaginative, mais saine sur le plan technique, ainsi qu'une analyse économique aussi large que possible. Il ne s'agit pas là d'un simple programme débouchant rapidement sur une démonstration. Il faut prendre le tournant d'une décision historique d'importance capitale pour l'infrastructure industrielle du Canada et son futur approvisionnement énergétique.

Une question fondamentale porte sur les progrès graduels à réaliser, tels l'utilisation du thorium et le recyclage du combustible des réacteurs CANDU, et sur leur justification économique aussi longtemps qu'il existe de l'uranium en abondance, à des «prix raisonnables», tant au Canada que sur les marchés étrangers. Une seconde question, plus importante encore est de savoir si, au moment où l'approvisionnement en uranium commencera réellement à décliner, les caractéristiques d'alimentation diversifiée et le

meilleur rendement des réacteurs ralentis à l'eau lourde auront encore un grand intérêt économique. Il faudra alors faire un choix fondamental entre: a) utiliser complètement les potentialités de l'uranium 238, et peut-être rejoindre le principal courant international de développement technique de l'électronucléaire, ou b) améliorer progressivement et graduellement la filière CANDU.

Le perfectionnement graduel de la filière CANDU accroîtra sans aucun doute son efficacité et son adaptabilité, et étendra la gamme des combustibles qu'elle utilise. La mise en œuvre d'une filière perfectionnée est une question d'économie et d'assentiment collectif. La démonstration de la faisabilité du cycle du thorium est fondée sur l'hypothèse d'une plus large commercialisation de la filière CANDU actuelle, d'une mise au point des installations électronucléaires et des équipements auxiliaires au Canada, et de l'ouverture de débouchés à l'exportation, indispensables pour maintenir la viabilité du potentiel électronucléaire canadien, en dépit d'un ralentissement de la croissance économique¹².

Le développement du secteur électronucléaire dépend largement des besoins futurs en électricité. La planification de l'expansion de l'approvisionnement en électricité doit tenir compte des facteurs traditionnels et des orientations nouvelles:

- Il n'y a guère de doute que l'électricité jouera plus tard un rôle capital dans le remplacement du pétrole et du gaz naturel.
- Dans certaines limites, l'électricité peut accroître encore sa prédominance dans le secteur domiciliaire.
- Cependant, la croissance économique dans l'avenir prévisible sera sans doute plus lente qu'au cours des quelques décennies passées, et on estime que les coûts effectifs de l'électricité augmenteront rapidement.
- Il faut accorder une attention spéciale au secteur des transports, qui dépend étroitement de l'approvisionnement pétrolier. L'électricité peut jouer un rôle dans les transports par trains électriques et par véhicules électriques urbains. Indépendamment du succès qu'ils obtiendraient, ils ne constituent qu'un volet limité du secteur des transports. L'électrification des transports ferroviaires, en raison des énormes investissements qu'elle exige, doit être sélective et progressive. Celle des transports routiers ne peut guère porter que sur des véhicules relativement petits, conçus pour de courtes distances, à moins qu'on ne mette au point des accumulateurs plus efficaces ou des piles à combustible; mais, actuellement, les progrès en ce sens sont très lents.
- Dans les installations fixes industrielles et domiciliaires, le moteur électrique et les autres appareils électriques sont commodes, souples et efficaces. Malheureusement la transformation de l'énergie primaire en électricité dans les centrales thermiques occasionne d'énormes pertes. L'électricité, si utile, est donc relativement coûteuse.

Il est capital de prendre en considération, sans retard, la coordination entre la R, D & D, la politique électronucléaire et le soutien du dynamisme

de l'industrie nucléaire canadienne. La situation actuelle de celle-ci n'évoque guère d'expansion future. La démonstration proposée de la faisabilité du cycle du thorium doit prendre en considération la rationalisation de l'industrie nucléaire canadienne et le soutien de ses activités¹³. Dans les circonstances actuelles, l'élargissement des options électronucléaires du Canada, face aux limitations des programmes intérieurs, constitue un objectif louable, mais soumis à des contraintes internationales exigeant des décisions difficiles à cause de la nécessité d'exporter des centrales électronucléaires et de construire des centrales au pays pour l'exportation d'électricité.

Dans sa toute première phase, la démonstration de la faisabilité du cycle du thorium devra fournir des réponses aux questions fondamentales esquissées, et elle pourrait conduire à une reprise en considération de la faisabilité commerciale de ce cycle, ou de l'échelle de la démonstration. Il est indispensable de disposer de cette information pour prendre des décisions à long terme au sujet de la mise en œuvre d'un cycle perfectionné du thorium au Canada. De plus, une démonstration de l'envergure proposée ici nécessiterait l'entière participation des compagnies d'électricité, et particulièrement de l'*Ontario Hydro*; seule cette participation justifierait des dépenses aussi élevées.

Le programme visant à prouver la viabilité commerciale et industrielle du réacteur CANDU à cycle du thorium, sous réserve d'un assentiment collectif à son emploi, nécessitera de nombreux travaux préliminaires et se déroulera en plusieurs phases cruciales. Voici certains des principaux avantages du programme:

- une meilleure description des caractéristiques physiques du thorium irradié;
- la mise au point d'une technologie de retraitement du thorium;
- l'acquisition de savoir-faire en matière de façonnage télécommandé du combustible, et peut-être l'élaboration de nouvelles méthodes pertinentes;
- la démonstration du comportement sous irradiation du combustible recyclé qu'on propose.

L'utilisation éventuelle du cycle du thorium par la filière CANDU actuelle, sous réserve de quelques modifications minimales, constituerait un important avantage. L'Énergie atomique du Canada limitée se trouve bien placée pour réaliser le programme de R & D et, avec l'aide des compagnies d'électricité, pour faire l'essai, de façon sécuritaire et acceptable, de la faisabilité du recyclage des combustibles irradiés. De plus, l'ÉACL se trouve en situation favorable pour aider les compagnies à transporter et à stocker les combustibles irradiés.

De plus, on doit se rendre compte que c'est grâce à une concentration exclusive de ses efforts sur une seule option électronucléaire que l'ÉACL a réussi à mettre au point une filière valable. Elle a résisté aux tentations de disperser ses moyens entre l'étude d'options différentes. Il est indispensable de concentrer de même les efforts sur l'option d'un combustible de pointe choisi si l'on veut atteindre des résultats avantageux. L'ÉACL doit montrer:

a) qu'elle a conscience des coûts de modification des paramètres de la filière

et qu'elle s'efforce de les limiter; et b) qu'elle réagit vigoureusement face aux perturbations de son programme ou à une désorganisation temporaire. Ce n'est qu'en relevant des défis intéressants que cette société d'État pourra maintenir son avance dans ce domaine technologique coûteux et complexe.

La démonstration de la faisabilité du cycle du thorium, laquelle accroîtrait notablement les ressources canadiennes en combustible nucléaire, est décrite à la p. 140.

Les filières d'énergie renouvelable

L'envergure du secteur hydroélectrique canadien lui permet de faire une large contribution à l'approvisionnement commercial du pays en énergie renouvelable. Bien que celle-ci provienne indirectement du Soleil, tout comme celles tirées des vents, de la houle et du gradient thermique des eaux océaniques, et également les combustibles extraits de l'organomasse ou d'autres produits des réactions photochimiques, c'est l'utilisation directe du rayonnement solaire qui offre à long terme les perspectives les plus attrayantes pour le chauffage des locaux et de l'eau sanitaire (voir le Tableau II.2).

On a déjà élaboré les grandes lignes des technologies nécessaires pour la mise en œuvre de certaines filières d'énergie renouvelable mais, en général, l'énergie qui en est tirée est plus coûteuse que celle qui provient des sources traditionnelles. La commercialisation à grande échelle de toute technologie nouvelle exige un temps considérable et se fonde sur une infrastructure industrielle, des avantages économiques et quelques attraits pour la société et l'environnement.

Il est très important d'axer l'effort continu de R & D autour de quelques démonstrations à réaliser dans un certain nombre de domaines, afin de planifier sans trop d'aléas le rôle que certaines filières d'énergie renouvelable pourront jouer dans la panoplie énergétique future du Canada. Dans bien des parties du Monde, l'on réalise des programmes de R, D & D d'envergure en matière de sources d'énergie renouvelable, et leurs résultats nous fourniront des données précieuses pour leur évaluation et leur mise en œuvre au Canada.

Bien que le Conseil saisisse l'importance des sources d'énergie renouvelable telles que les filières éolienne, marémotrice et géothermique, et la nécessité d'un effort constant de R & D, il recommande actuellement qu'en fonction des conditions régionales, l'on réalise des projets-pilotes ou des démonstrations de transformation de l'organomasse en biogaz et d'utilisation de l'ensoleillement pour le chauffage.

Le Conseil recommande également la démonstration de la production d'énergie à partir des ordures ménagères, non seulement à cause des quantités modestes d'énergie qu'on peut en tirer, mais surtout en raison des problèmes d'élimination des ordures que doivent résoudre les municipalités urbaines¹⁴.

Les opérations-pilotes ou les démonstrations de mise en œuvre des filières d'énergie renouvelable proposées ici coûteraient environ 21 M\$ sur

un total de 860 M\$ destiné à l'ensemble du programme quinquennal, soit moins de 3 pour cent. Ce pourcentage peut paraître faible, même à l'étape préliminaire de la mise au point des filières renouvelables; c'est que de nombreux projets ont été proposés par les firmes industrielles, le secteur public, les municipalités et les universités.

Il est indispensable que les projets de R, D & D en matière d'énergie renouvelable facilitent l'abandon progressif des sources d'énergie épuisable; mais il faut éviter tout passage prématuré ou tardif de celles-ci aux filières d'énergie renouvelable. Bien que, pour des raisons évidentes, la première éventualité paraisse préférable, l'état actuel des technologies des énergies renouvelables exige qu'on progresse graduellement dans le cadre de l'effort de R, D & D: il faut accomplir d'abord celui de recherche, puis le développement technique, et ensuite seulement la démonstration.

Comme, en première approximation, le financement des démonstrations coûte dix fois plus cher que l'effort de développement technique, et cent fois plus que la recherche, il ne faut pas en conclure qu'un faible financement apparent de la démonstration est incompatible avec l'accent qu'on veut donner aux filières d'énergie renouvelable ou, pis encore, comme un assentiment à une dépendance permanente à l'égard des technologies dominantes d'utilisation des ressources épuisables. Le programme de R, D & D en matière d'énergies renouvelables est, en fait, de grande importance, bien que ses besoins financiers n'atteignent pas l'ordre de grandeur des besoins correspondants qui concernent les énergies épuisables.

Voici deux raisons pour procéder graduellement dans cette entreprise:

1° La réalisation trop précoce d'une démonstration risquerait de déboucher sur la fourniture d'énergie à des prix que les consommateurs n'accepteraient pas; tel serait le cas d'un projet-pilote de production de combustibles liquides à partir de l'organomasse.

2° La démonstration technique, non fondée sur les données issues d'une première phase, risquerait d'engager l'industrie dans une direction discutable: telle serait la démonstration du chauffage des maisons individuelles.

C'est pourquoi il est très préoccupant de voir que les pressions en faveur des démonstrations s'accompagnent souvent d'une résistance aux analyses économiques et à la réalisation de programmes de R & D permettant d'assurer une transition sans secousse.

L'orientation des opérations-pilotes et des démonstrations suivantes reflète le désir de développer à un rythme optimal la technologie des énergies renouvelables, dans le cadre d'une série diversifiée de programmes:

1. Démonstration de la faisabilité de la production de combustibles liquides et gazeux à partir des résidus forestiers et agricoles

L'importante industrie forestière du Canada et son vaste secteur agricole en font une nation privilégiée, qui pourrait produire des combustibles gazeux et liquides à partir des résidus de bois et de plantes agricoles, au moins au plan régional.

La mise au point de combustibles commerciaux tirés du bois ou des déchets agricoles procurerait plusieurs avantages capitaux:

- le remplacement partiel des produits pétroliers importés à grand coût;
- la mise sur pied d'une nouvelle infrastructure industrielle;
- l'expansion de l'emploi régional;
- la réduction des répercussions de la combustion des combustibles fossiles sur l'environnement;
- un passage plus facile des sources d'énergie épuisable aux filières d'énergie renouvelable.

Les combustibles gazeux ouvrent d'intéressantes perspectives. Ils prennent place juste après l'utilisation directe de l'organomasse. Certains technologues envisagent l'utilisation conjuguée de gazogènes modulaires permettant d'alimenter en gaz de bois les installations fonctionnant grâce aux hydrocarbures. Ils sont peut-être trop optimistes. La possibilité de fourniture à grande échelle du gaz de bois par les forêts canadiennes, en dépit de l'existence des techniques pertinentes, n'a pas encore été corroborée par des évaluations extensives du taux de renouvellement de la forêt et du potentiel de production forestière permanente des sols.

Il semble à première vue que le méthanol (alcool méthylique) constitue un carburant liquide remarquable et polyvalent, dont la production économique sera plus tard possible grâce à une technologie déjà bien établie. On a montré que le moteur à explosions et les turbines pouvaient utiliser les alcools, en donnant un excellent rendement et une combustion propre. Les essais menés sur des moteurs d'automobile ont prouvé que les mélanges d'alcool et d'essence peuvent être utilisés de façon satisfaisante dans certaines régions du pays, sous réserve de modifications minimales.

L'important secteur agricole canadien est l'un des consommateurs importants des produits pétroliers, car il utilise environ le dixième de l'approvisionnement en essence et en gazole (*diesel fuel*). Il est donc particulièrement intéressé par l'utilisation énergétique des résidus de culture et des déjections animales; mais les évaluations et les extrapolations des quantités de déchets utilisables économiquement donnent des résultats très différents, en raison des diverses hypothèses utilisées.

Les considérations ci-dessus, bien qu'elles soient fondamentalement exactes, pourraient induire en erreur, car actuellement la production d'alcools à partir de l'organomasse n'est pas encore économique au Canada. Ils ne seront pas fabriqués en quantités suffisantes pour alimenter les moteurs tant que l'État ne sera pas intervenu dans les circuits commerciaux. Cependant, ce sont les combustibles de l'avenir, et l'élaboration du programme de R, D & D qui les concerne doit se fonder sur la comparaison entre l'avantage d'être prêts et les déséconomies éventuelles dans le cas contraire.

L'orientation et l'envergure de l'effort à accomplir pour cette délicate démonstration sont décrits à la page 160.

2. Démonstration des chauffe-eau solaires et du chauffage solaire des locaux

L'énergie solaire pourrait contribuer largement au chauffage des locaux et de l'eau sanitaire, dans les secteurs tant domiciliaire que commercial¹⁵. Son apport énergétique est perpétuel, compatible avec la protection de la Nature et aisément captable dans toutes les régions, sauf dans les villes très peuplées. Il n'est pas douteux que l'énergie solaire jouera un rôle important au Canada. L'incertitude concerne seulement le moment et l'envergure de son utilisation.

Les évaluations préliminaires ont montré le potentiel énergétique notable de la filière solaire, même dans un pays aussi septentrional que le Canada. En raison des conditions particulières qui y règnent, il est cependant nécessaire d'effectuer un effort cohérent pour corroborer les aspects cruciaux des attentes diverses des Canadiens. Il pourrait se dérouler sur deux plans, et se fonder sur l'aménagement de plusieurs centaines d'installations-pilotes de chauffage solaire et la réalisation de quelques démonstrations dans le même domaine.

Le chauffage solaire offre des débouchés à l'industrie. Selon un des observateurs, la fabrication et la vente de collecteurs solaires pourraient produire un chiffre d'affaires atteignant plusieurs milliards de dollars, dont des industries très diverses bénéficieraient d'ici à l'horizon 1990¹⁶.

Le premier programme de recherche et de développement technique en matière d'énergie solaire, entrepris en 1976-1977 sous la coordination du Conseil national de recherches du Canada, envisageait la réalisation de plus d'une douzaine de projets de chauffage solaire de maisons unifamiliales réparties dans tout le pays. Plusieurs actions réalisées en 1977-1978 portaient sur le chauffage de maisons multifamiliales choisies, et de grands édifices publics et commerciaux. Les initiatives de l'Administration fédérale, annoncées à l'été de 1978, ont donné une impulsion supplémentaire à ces travaux.

On essaiera dans diverses conditions géographiques l'équipement de la filière solaire, tels les genres de collecteurs, les fluides caloporteurs, les calostockeurs (*heat storage units*), les dispositifs de distribution de la chaleur et les mécanismes de commande. On espère que les programmes recommandés de développement technique et de démonstration fourniront des données sur les coûts « commerciaux » d'entretien des installations de chauffage solaire. Comme pour l'élaboration des autres techniques nouvelles, il faudrait encourager celle des techniques de chauffage solaire, et leur essai dans des installations choisies pour offrir les conditions les plus favorables. Celles-ci peuvent se trouver dans les bâtiments domiciliaires existants à densité moyenne, ou mieux encore dans des bâtiments neufs, telles les maisons multifamiliales ou les immeubles locatifs en bande (*low-rise apartments*) contenant entre quatre et seize unités de logement, les centres commerciaux, les écoles et autres vastes édifices publics. En raison de la climatisation fréquente des édifices

commerciaux modernes, on estime que le chauffage solaire s'y développera moins que dans les immeubles domiciliaires.

En résumé, il semble que les bâtiments offrant les meilleures perspectives pour le chauffage solaire soient les immeubles locatifs en bandes ou les maisons en rangées, à cause de la contribution supplémentaire de l'énergie solaire au chauffage des grandes quantités d'eau sanitaire utilisées. Plus précisément, c'est l'économie de dimensions procurée par la satisfaction de forts besoins d'eau chaude se maintenant pendant l'été, plus les besoins relativement élevés de chauffage en hiver qui rendent l'utilisation de l'énergie solaire plus attrayante pour les groupes de logements que pour les maisons unifamiliales.

Il faudrait que les recherches s'étendent aux dispositifs auxiliaires des installations-pilotes de chauffage. Par exemple, il faudrait que les maisons canadiennes disposent d'un dispositif complémentaire de chauffage pour les journées très froides ou de ciel couvert, quand leur calostockeur solaire ne pourrait fournir plus que quelques jours de chauffage. En effet, beaucoup de Canadiens ne croient guère à la possibilité de chauffer leur maison grâce à l'énergie solaire reçue au cours des longs mois d'hiver sans soleil. Mais la situation est tout à fait différente au cours des mois d'été. C'est pourquoi on peut justifier l'essai de calostockeurs semestriels (*annual heat storage tanks*) chauffant de préférence de grands immeubles locatifs ou des quartiers entiers; il en résulterait une réduction du coût global des installations énergétiques, les installations publiques ou privées de chauffage de secours n'étant plus nécessaires. Il est évident que l'entretien d'une installation coûteuse de chauffage de secours est incompatible avec la limitation des frais et des immobilisations. Certains indices montrent déjà que le stockage semestriel d'eau chaude, dans un calostockeur, serait économique dans le cas d'une grande installation. Cependant, peu d'experts sont d'avis que le calostockage semestriel de l'eau constitue la voie définitive du chauffage solaire. Il faudrait centraliser ce stockage dans un quartier, une petite ville ou un village pour réduire ses désavantages économiques, de même que le coût du captage de l'énergie solaire dans les collecteurs. Bien que l'on ait perfectionné ces derniers, la technologie du calostockage n'a pas autant progressé.

Il faut surmonter certains obstacles réglementaires à l'utilisation étendue du chauffage solaire. Nous n'en mentionnerons que certains aspects: qui a un droit juridique à l'ensoleillement? L'utilisateur devra-t-il payer des droits fixes pour les installations solaires privées ou collectives, ainsi que pour sa part des unités génératrices auxiliaires que la compagnie d'électricité devra maintenir? Sinon, son domicile devra-t-il être équipé d'un dispositif de chauffage de secours au mazout ou au gaz naturel, ce qui accroîtrait les coûts d'immobilisation? Il faudrait que la démonstration réalisée réponde à ces questions fondamentales, en plus de résoudre les problèmes techniques. (Pour une description de cette démonstration, voir p. 172).

3. Démonstration de la production d'énergie à partir des déchets municipaux*

Les quantités d'énergie produites à l'aide des ordures ménagères ne peuvent faire qu'une faible contribution à l'approvisionnement énergétique du pays; cependant, plusieurs considérations poussent à l'essai et à l'évaluation des technologies de combustion directe des ordures ménagères, et peut-être ultérieurement de transformation de celles-ci en combustibles gazeux ou liquides.

Il est évident que ses répercussions écologiques et d'environnement rendent peu désirable l'entassement des ordures municipales dans des dépotoirs, tout comme la nécessité de protéger les sols agricoles. La réalisation d'un programme de R, D & D sur leur utilisation énergétique serait intéressante car, dans des circonstances spéciales, l'énergie produite pourrait remplacer certains combustibles liquides ou gazeux peu abondants. En outre, et c'est peut-être fort important, le processus de gestion des déchets comprendrait la récupération des matériaux non combustibles (surtout des métaux ferreux et non-ferreux, et du verre) ce qui permettrait de recycler des matières premières non renouvelables et de réduire les pressions exercées sur ces ressources primaires, pourvu que le coût d'une telle opération soit concurrentiel. En conséquence, la démonstration de la production d'énergie à partir des ordures ménagères devrait permettre de calculer les coûts de production et de distribution de l'énergie en fonction des divers paramètres, dans des conditions acceptables de sécurité et de protection de l'environnement.

Il existe, en gros, deux processus de récupération de l'énergie par combustion des ordures ménagères: 1° leur incinération avec récupération et utilisation de la chaleur et 2° leur pyrolyse (qui est une décomposition chimique des matériaux organiques par l'action de la chaleur en l'absence de quantités suffisantes d'oxygène), produisant un combustible liquide ou gazeux. Chacune de ces technologies offre des avantages; il est d'autant plus nécessaire d'effectuer un effort de R, D & D à leur sujet, car l'option préférée dépendra de facteurs tels que son coût, son efficacité, ses possibilités d'articulation avec d'autres méthodes d'élimination des ordures, son innocuité pour l'environnement et l'assentiment de la collectivité. Il semble que chaque procédé devrait inclure la récupération préliminaire des matériaux minéraux, et le déchiquetage et le séchage des matériaux organiques, dont presque la moitié est du papier. Ce traitement facilite la récupération des métaux ou d'autres matières, et permet une incinération plus efficace et plus propre des ordures combustibles. Il faudrait également évaluer les méthodes de ramassage des ordures. (Les lignes directrices de cette opération-pilote et l'envergure de l'effort à réaliser sont décrites à la p. 184.)

*Il s'agit surtout des ordures ménagères.

Les technologies de transformation énergétique

Tous les procédés utilisés pour transformer une forme d'énergie en une autre entraînent des pertes dues aux limitations techniques des appareils et des matériaux, et aux lois de la Nature. De plus, ces procédés doivent tenir compte des exigences de la réalité et des caractéristiques de l'environnement.

Les grandes centrales hydroélectriques réussissent à transformer 90 pour cent de l'énergie hydraulique de l'eau de retenue en électricité, mais les grandes centrales thermiques, utilisant des combustibles fossiles, n'atteignent qu'un rendement de 40 pour cent. Les centrales électronucléaires sont encore moins efficaces, et leur rendement ne dépasse guère 30 pour cent; mais il s'améliore. Les turbines à gaz ne sont que légèrement plus efficaces et les unités génératrices fonctionnant au gazole rejettent autant d'énergie sous forme de chaleur qu'elles ne produisent d'électricité.

Ainsi donc, les centrales thermiques rejettent de très grandes quantités de chaleur, en général directement dans l'environnement. Si les centrales avaient été conçues pour utiliser la chaleur dissipée par la production d'électricité, il serait possible de quasiment doubler leur rendement global.

On pourrait également se servir des technologies d'utilisation efficace de l'énergie, de façon décentralisée, en les mettant en œuvre dans des dispositifs individuels de transformation énergétique: automobile, maison, appareils divers et échangeur de chaleur. Cette action, entreprise par de nombreuses personnes, permettrait d'économiser une quantité notable d'énergie; c'est seulement l'agrégation de ces actions qui conduirait à des résultats importants. La production conjuguée d'électricité et de chaleur (*co-generation*) permettrait par contre, d'économiser de fortes quantités d'énergie primaire, grâce à la concertation des activités des firmes industrielles et des compagnies d'électricité.

Il se peut qu'à long terme des procédés de transformation énergétique utilisant les dispositifs magnétohydrodynamiques* ou les cellules à combustible¹⁷ puissent être largement utilisés; cependant, il faudra réaliser un grand effort de recherche fondamentale avant qu'on puisse entreprendre la réalisation des grands projets-pilotes appropriés au Canada.

1. Démonstration de la production conjuguée d'électricité et de chaleur**

La production conjuguée d'électricité et de chaleur est un élément de la stratégie nationale proposée de R, D & D, car elle constitue l'une des techniques importantes de transformation et de stockage de l'énergie¹⁸.

* Cette technologie, en raison de son état actuel et des longs délais nécessaires à sa mise en œuvre, a peut-être perdu l'occasion de jouer un rôle notable.

** La section qui suit ne couvre pas spécialement les sujets qui sont quelquefois confondus ou associés avec la production conjuguée d'électricité et de chaleur, et qui sont: a) les unités génératrices utilisant turbines à gaz et à vapeur en cascade; b) les concepts et les méthodes de récupération de l'énergie; c) les pompes à chaleur; d) l'exploitation en cycle fermé ou avancé.

À mesure qu'augmente la contribution des centrales thermiques à l'approvisionnement du pays en électricité, leurs pertes de transformation de l'énergie primaire en énergie secondaire s'accroissent aussi. C'est là un phénomène causant beaucoup de préoccupations, mais ouvrant aussi d'intéressantes perspectives¹⁹. Une faible amélioration du rendement global de la transformation procurerait d'importantes économies d'énergie primaire. La part de l'électricité dans l'approvisionnement énergétique pourrait s'accroître notablement à l'horizon 2000 et, dans la société «tout-électrique» en gestation, elle pourrait satisfaire 40 pour cent de la consommation énergétique des Canadiens. La production conjuguée d'électricité et de chaleur permettrait à la fois d'économiser l'énergie, de réduire les coûts, et de remplacer des substances énergétiques primaires peu abondantes (tels les hydrocarbures). À cause de l'accroissement des rendements, les coûts unitaires de la chaleur récupérée seraient notablement plus faibles que ceux de la chaleur produite séparément (de 55 à 70 pour cent pour la chaleur récupérée dans les centrales électronucléaires). Malheureusement, si l'utilisateur de cette chaleur se trouvait loin de sa source, l'avantage serait annulé par les coûts de la canalisation nécessaire au transport de cette chaleur.

La production conjuguée de vapeur et d'électricité pourrait accroître le rendement thermique de 33 - 40 pour cent jusqu'à 70 - 85 pour cent, en fonction des conditions locales, permettant ainsi d'économiser de l'énergie, d'utiliser plus efficacement l'installation et le matériel, et de réduire les quantités de fumée et de chaleur rejetées dans l'environnement²⁰.

Au Canada, certaines industries appliquent le principe de récupération de la chaleur perdue, mais beaucoup d'autres pourraient faire de même (telles les industries de première transformation des métaux, les raffineries de pétrole, les usines de produits chimiques et de pâtes et papiers, les laiteries, les brasseries, les raffineries de sucre)²¹. Il existe déjà des plans de chauffage collectif grâce à la chaleur récupérée²². L'Ontario Hydro, dans sa contribution à l'Étude sur le chauffage urbain à Toronto, a présenté un plan d'utilisation de la vapeur comme caloporteur, permettant d'articuler l'approvisionnement énergétique avec le réseau existant de chauffage urbain. Cependant, il est probable que les réseaux de chauffage de quartier utiliseront l'eau comme caloporteur, en raison de ses avantages particuliers.

Bien que la portée et le potentiel de cette technologie évoquent quelques incertitudes, à cause de certaines habitudes bien canadiennes (ce n'est que dans des conditions favorables qu'il est possible de raccorder économiquement les maisons unifamiliales à un grand réseau de chauffage urbain), ses perspectives à long terme paraissent très prometteuses. La chaleur constituerait la production principale des installations, et l'électricité un produit accessoire. Seule une très faible partie de la production d'électricité canadienne provient d'installations combinées.

Il sera nécessaire de mettre en place de nouvelles structures pour assurer que la production conjuguée d'électricité et de chaleur donnera des avantages optimaux. (La démonstration pertinente est décrite à la p. 190.)

Composantes cruciales des programmes de démonstrations énergétiques

En mettant en œuvre immédiatement les démonstrations nationales recommandées, les Canadiens décideraient de faire eux-mêmes le choix de leur avenir énergétique, plutôt que de le laisser tracer par d'autres. Le Tableau IV.1 récapitule brièvement les composantes cruciales du programme recommandé de démonstrations énergétiques, dans le cadre chronologique envisagé.

Tableau IV.1 - Principales démonstrations et caractéristiques énergétiques

Démonstrations énergétiques recommandées	Principales actions et considérations	
	Moyen terme	Long terme
A. Combustibles fossiles		
<i>Pétrole et gaz</i>		
1. Démonstration du potentiel technique de prospection et d'extraction des hydrocarbures dans des eaux encombrées de glace.	<ul style="list-style-type: none"> --- délimitation des ressources --- assurance de l'approvisionnement indispensable 	<ul style="list-style-type: none"> --- contribution permanente à l'approvisionnement indispensable en hydrocarbures --- manifestation de la souveraineté canadienne dans les régions boréales --- mise sur pied du potentiel industriel indispensable retombées de l'activité océanotechnique et de l'expansion industrielle concomitante --- mise sur pied des éléments du transport international du gaz naturel --- maintien de la souveraineté canadienne --- développement des approvisionnements indispensables en hydrocarbures --- expression des droits territoriaux
2. Démonstration du transport maritime des hydrocarbures de l'Arctique	<ul style="list-style-type: none"> --- approvisionnement en temps utile des régions dépendantes du pétrole étranger 	<ul style="list-style-type: none"> --- maintien de la souveraineté canadienne --- développement des approvisionnements indispensables en hydrocarbures --- expression des droits territoriaux
3. Démonstration du potentiel de prospection et d'extraction des hydrocarbures dans les eaux très profondes	<ul style="list-style-type: none"> --- maintien des droits pertinents en mer --- ouverture de l'éventail des ressources énergétiques 	<ul style="list-style-type: none"> --- développement des approvisionnements indispensables en hydrocarbures --- expression des droits territoriaux
<i>Charbon</i>		
1. Démonstration de la technologie de combustion en lit fluidisé	<ul style="list-style-type: none"> --- utilisation des ressources complémentaires et marginales --- remplacement du pétrole et du gaz 	<ul style="list-style-type: none"> --- maintien de l'utilisation polyvalente des diverses formes et qualités de combustibles --- facilitation du remplacement entre combustibles --- maintien des normes acceptables d'environnement --- assentiment collectif à une exploitation charbonnière en découverte plus étendue --- réduction des répercussions sociales indésirables --- amélioration des méthodes d'aménagement du territoire --- acceptabilité durable des filières électronucléaires sur le plan de l'environnement et de la collectivité
2. Démonstration de la reconstitution des sols dérangés par une exploitation charbonnière en découverte	<ul style="list-style-type: none"> --- arbitrage entre objectifs opposés --- évaluation de la contribution du charbon en tenant compte de son innocuité relative pour l'environnement 	<ul style="list-style-type: none"> --- réduction des répercussions sociales indésirables --- amélioration des méthodes d'aménagement du territoire --- acceptabilité durable des filières électronucléaires sur le plan de l'environnement et de la collectivité
B. Filières électronucléaires		
1. Démonstration d'un mode de gestion et de confinement acceptable du combustible irradié	<ul style="list-style-type: none"> --- élimination des principales préoccupations sécuritaires au sujet des méthodes du secteur nucléaire 	<ul style="list-style-type: none"> --- acceptabilité durable des filières électronucléaires sur le plan de l'environnement et de la collectivité
2. Démonstration de la faisabilité du cycle du thorium	<ul style="list-style-type: none"> --- ouverture de l'éventail des produits fissiles --- assurance des progrès de l'approvisionnement électronucléaire 	<ul style="list-style-type: none"> --- assurance d'une contribution énergétique indispensable et importante --- mise sur pied d'un potentiel de développement des filières électronucléaires perfectionnées
C. Filières d'énergie renouvelable		
1. Démonstration de la faisabilité de la production de combustibles gazeux et liquides à partir des déchets forestiers et agricoles	<ul style="list-style-type: none"> --- évaluation économique de l'utilisation énergétique des déchets organiques --- contribution de l'autonomie énergétique d'industries vitales --- remplacement partiel du pétrole et du gaz 	<ul style="list-style-type: none"> --- utilisation étendue et permanente de l'organomasse --- continuation de la protection de l'environnement --- extension des possibilités régionales d'emploi
2. Démonstration du chauffage solaire de l'eau sanitaire et des locaux	<ul style="list-style-type: none"> --- introduction d'une forme d'énergie pérenne (<i>sustainable</i>) --- remplacement partiel du pétrole, du gaz et de l'électricité 	<ul style="list-style-type: none"> --- amélioration progressive des dispositifs de chauffage solaire --- satisfaction des besoins énergétiques locaux --- extension des débouchés nationaux de l'industrie --- amélioration des aspects juridiques et sociaux de la filière solaire --- assurance d'un environnement acceptable --- élimination satisfaisante des ordures dans les villes --- contribution à l'approvisionnement énergétique --- soutien des programmes de recyclage
3. Démonstration de la production d'énergie à partir des déchets municipaux	<ul style="list-style-type: none"> --- amélioration de l'élimination des ordures ménagères --- remplacement de quelque énergie primaire 	<ul style="list-style-type: none"> --- élimination satisfaisante des ordures dans les villes --- contribution à l'approvisionnement énergétique --- soutien des programmes de recyclage
D. Technologies de transformation de l'énergie		
1. Démonstration de la production conjuguée d'électricité et de chaleur	<ul style="list-style-type: none"> --- accroissement du rendement de la transformation énergétique --- ouverture de l'éventail des ressources énergétiques 	<ul style="list-style-type: none"> --- possibilités de fortes économies au cours de la transformation --- réduction des incidences d'environnement de l'approvisionnement énergétique

V - Gestion et financement de la R, D&D

Au cours de ces dernières années, un grand nombre d'activités de R, D & D énergétiques ont été réalisées au sein des organismes de gestion existants. Il s'agissait surtout de programmes de R & D. Plus récemment, on a dressé les plans d'un nombre impressionnant de grands projets s'étayant sur une forte activité de R, D & D. Ils ont été examinés lors de la Conférence fédérale-provinciale des premiers ministres, en février 1978¹. La mise en route de ces projets dépendra des dispositions prises sur les plans financier, juridique et réglementaire, comme le Tableau V.1 le montre.

Il faut que le financement des activités actuelles de R & D soit poursuivi, et même accru, si l'on veut faire avancer sur un large front l'effort de développement des filières énergétiques. Mais le financement actuel n'est pas suffisant. Le Conseil des sciences a recommandé récemment que les autorités fédérales accroissent jusqu'à 50 M\$ au moins l'enveloppe de R & D sur les sources d'énergie renouvelables².

Le développement de l'effort de R & D sera ralenti par les délais de rassemblement du potentiel technique nécessaire dans chaque cas, et par l'infrastructure en place. La capacité de chaque bénéficiaire des crédits de R & D d'entreprendre un programme choisi détermine l'ampleur et le rythme du financement. Il est nécessaire d'accroître la compétence des gestionnaires en certains domaines. Le Canada ne peut pas se permettre de gaspiller des ressources financières peu abondantes dans la réalisation de programmes mal conçus et de mécanismes de mise en œuvre insuffisants, quelle que soit la pression pour qu'on «mette la main à la pâte» sans délai.

Il faudra consacrer des sommes importantes à la réalisation des opérations-pilotes décrites dans le chapitre IV. Le Tableau V.2 récapitule ces besoins financiers. La clarification suivante permettra d'éviter toute erreur d'interprétation au sujet de la nature de ces chiffres:

- a) Le «financement au titre de la R, D & D» ne comprend pas en général tous les coûts des actions proposées sur le plan national. Il s'agit de la part du coût total du programme à ventiler exclusivement au compte «recherche, développement technique et démonstration». La différence entre coût total et «financement au titre de la R, D & D» sera, dans tous les cas, acquittée par les utilisateurs ou les bénéficiaires de la technologie énergétique mise au point. En outre, ces derniers devront participer à l'effort financier de base.
- b) Le «financement initial au titre de la R, D & D» et le «financement total au titre de la R, D & D», constituent respectivement les fractions du coût des cinq premières années d'activité et de celui de toute la durée du programme.
- c) En raison des risques encourus, il faut que les ressources financières soient fournies par l'industrie ou les fournisseurs d'électricité et de gaz d'une part, et les Administrations fédérale, provinciales ou municipales d'autre part.
- d) La part du financement total qui doit être assumée par les utilisateurs de la technologie pourrait être qualifiée de financement au titre de l'utilisation. Presque sans exemption, les utilisateurs ou bénéficiaires futurs réels devront investir du capital-risque dans le financement des programmes de R, D & D, dont les résultats réduiront

ultérieurement les aléas des décisions importantes et aideront à produire de l'énergie à l'échelle commerciale. On pourrait même stipuler que la réalisation des programmes proposés dépendra de la participation des protagonistes qui, ultérieurement, vendront ou utiliseront l'énergie produite.

- e) En première approximation, les autorités publiques devraient participer à l'investissement de capital-risque dans l'effort de R. D & D, proportionnellement à la valeur brute de la production dans leur domaine de compétence, préférablement à l'échelle régionale. Plus précisément, certains principes énoncés dans la présente section pourraient s'appliquer au partage du financement, et de nombreuses décisions pourraient être considérées comme le résultat d'un arbitrage. Il existe, bien entendu, différentes possibilités de financement partagé entre l'Administration et les industries intéressées³. Le partage officiel n'est équitable que superficiellement, car les arbitrages effectués en différents domaines sont à la fois nécessaires et désirables.
- f) L'Administration fédérale n'interviendrait que pour partie dans le financement total des démonstrations proposées. Les Administrations provinciales, en raison de leur haute main sur les ressources, seraient plus que des participantes en titre seulement. Mais il sera difficile de recueillir des fonds auprès des Administrations publiques. Le Conseil des sciences estime que les taxes et droits perçus auprès du secteur énergétique devraient être consacrés, en priorité, à assurer la permanence de l'approvisionnement en énergie; en conséquence, ce sont les programmes énergétiques qui ont droit de préemption sur ces fonds, et particulièrement les démonstrations, lesquelles sont coûteuses. De cette façon, on assurerait la stabilité du financement, et l'entrée en scène de nouvelles firmes. Il serait possible d'accroître la part d'autofinancement des démonstrations énergétiques en haussant le prix de vente de l'énergie, ce qui non seulement fournirait les fonds nécessaires, mais aussi encouragerait l'économie d'énergie⁴.

Bien qu'ailleurs nous tracions, à des fins illustratives, les lignes directrices des démonstrations et indiquions les coûts, soulignons que la première étape de réalisation d'un programme particulier consisterait: a) à décrire clairement et en détail les questions technologiques, économiques, sociales et d'environnement pour l'éclaircissement desquelles il faut réaliser une démonstration; b) évaluer l'effort total nécessaire pour mener à bien une démonstration donnée et c) à assurer le financement de la phase initiale (d'une durée de cinq ans) de la démonstration.

Comme un certain nombre de difficultés actuelles découlent de dépenses excessives du passé, il est indispensable de soumettre toute dépense proposée à une investigation minutieuse. Il faut le répéter souvent. Ainsi, les études d'ingénierie et d'économie doivent bien montrer que les dépenses de réalisation de tout ou partie d'une démonstration sont acceptables et judicieuses sur les plans scientifique, technologique et économique. Plus précisément, il faut que les démonstrations débouchent

Tableau V.1 - État d'avancement de certaines entreprises énergétiques*

Entreprises	Description	État	Échéancier de construction	Coût total de construction
1. Transport du gaz polaire	Ce gazoduc, long de 3 755 km, servira à transporter le gaz de l'île Melville jusqu'au raccordement avec le gazoduc de la TransCanada Pipeline à Longlac, Ont. Son débit initial sera de 38,2 hm ³ par jour***.	L'entreprise intéressée fait une demande initiale auprès de l'Office national de l'énergie, laquelle décrit les installations et les incidences sociales et écologiques éventuelles	1982-1987	6,5 G\$**
2. Opération-pilote de transport maritime du GNL arctique	7 hm ³ de GNL seront transportés chaque jour de l'île Melville au littoral oriental des États-Unis ou du Canada	Les études de faisabilité sont disponibles. Les demandes réglementaires ont dû être présentées en 1978	1979-1982	900 M\$ (source de financement incertaine)
3. Programme d'exploration d'Eastcan	Forage d'exploration en mer	Bloqué en attendant la solution des problèmes de répartition des compétences. Bonnes indications de gaz naturel (programme réactif en 1978) Ne s'applique pas	
4. Troisième phase d'exploitation des sables	Usine d'extraction des sables bitumineux: 18 000 t de pétrole par jour	La société Shell négocie avec des partenaires possibles et attend la décision gouvernementale en matière fiscale. Cette firme voulait déposer la demande réglementaire en 1978	1980-1985	3 G\$
5. Développement de Syncrude	Accroissement de la capacité de production de 18 500 t/d à 27 000 t/d	Ce projet dépend de l'expérience acquise dans l'exploitation de l'usine et des incidences fiscales	mi-1980	Ne s'applique pas
6. Exploitation des sables bitumineux de Cold Lake	Extraction des hydrocarbures des sables bitumineux en place, plus usines de valorisation produisant de 19 000 à 20 000 t/d	Les plans d'ingénierie ont été déposés auprès des organismes réglementaires. La société Imperial attend la décision gouvernementale en matière fiscale	1981-1986	de 2,1 à 3,7 G\$

*Tiré de la documentation sur laquelle s'est fondé l'honorable A. Gillespie, dans sa déclaration à la Conférence fédérale-provinciale des premiers ministres de février 1978 (Do. 800-71), qui mentionne également, en quelques mots, divers programmes de R & D et des projets concernant la mise en place de canalisations dans l'Arctique occidental (par exemple ceux de Canadian Arctic Gas Pipeline Limited et de Foothills Pipelines (Yukon) Limited).

**G\$: milliards de dollars

***hm³ : 1 hectomètre cube = 1 000 000 m³ (35,4 MMcft)

Tableau V.2 - Récapitulation du financement au titre de la R, D & D* de chaque démonstration considérée en milliers de dollars, valeur de 1978

Démonstrations prioritaires	Financement des 5 premières années, en k\$	Financement total, en k\$	Durée de réalisation (années)
Combustibles fossiles			
<i>Pétrole et gaz</i>			
1. Prospection et extraction du pétrole et du gaz dans les eaux encombrées de glaces	81 600	176 000	10-15
2. Transport maritime des hydrocarbures de l'Arctique	507 000	617 000	5-10
3. Potentiel de prospection et d'extraction du pétrole et du gaz dans les eaux très profondes	62 500	111 000	5-10
Total partiel pour la filière des hydrocarbures	651 000	904 000	
<i>Charbon</i>			
4. Technologie de combustion en lit fluidisé	34 200	254 000	10-15
5. Reconstitution des sols dérangés par l'extraction des charbons en découverte	660	740	5-10
Total partiel pour la filière charbonnière	35 000	255 000	
Énergie nucléaire			
6. Mode de gestion et confinement des combustibles irradiés	52 000	444 600	20-25
7. Faisabilité du cycle du thorium	95 000	1 750 000	25
Total partiel pour les filières électronucléaires	147 000	2 194 600	
Énergies renouvelables			
8. Faisabilité de la production de combustibles liquides et gazeux à partir des déchets forestiers et agricoles	39 500	37 000	10-15
9. Chauffage solaire de l'eau sanitaire et des locaux	15 150	40 000	10-15
10. Production d'énergie à partir des déchets municipaux	1 510	58 000	10-15
Total partiel des filières d'énergie renouvelable	20 610	136 000	
Technologies de la transformation énergétique			
11. Production conjuguée d'électricité et de chaleur	6 100	270 000	10-15
Total partiel pour les technologies de la transformation énergétique	6 100	270 000	
Totaux généraux	860 000	3 760 000	

* Les montants du financement de la R, D & D sont arrondis, et les durées sont indiquées par les intervalles. Veuillez vous reporter à la section correspondante de l'annexe pour obtenir des détails plus précis, quoique illustratifs.

directement sur des entreprises commerciales, viables et venant à point, et que les bénéfices éventuels justifient le risque accepté.

Les programmes à grande échelle, que ce soient des démonstrations ou des entreprises commerciales, sont de mise en route, d'organisation et de réalisation difficiles. Ils exigent, non seulement des organes adéquats de gestion, mais aussi des conditions favorables et stables sur les plans financier, politique et réglementaire.

Le Tableau V.2 décrit les programmes de R, D & D qui constituent les éléments cruciaux du présent Rapport. Certains ont déjà été proposés sous une autre forme; d'autres sont nouveaux. Il faut les considérer par rapport aux projets à forte R, D & D énergétique déjà en cours de réalisation, de réalisation assurée ultérieurement, ou seulement proposés (Tableau V.1). Les opérations-pilotes du Tableau V.2 constituent une liste partielle, mais cruciale, d'actions à entreprendre dans tout le pays. Ces observations corroborent une recommandation antérieure du Conseil des sciences, en faveur de la coordination des programmes de R & D énergétique sur le plan national*. Un groupe central d'analyse et de synthèse devrait choisir et articuler des propositions d'origines ou d'orientations diverses en un ensemble bien équilibré, en évaluant sans parti pris leurs possibilités, leurs coûts et leurs risques.

En ce qui concerne la mise en œuvre de cet effort de R, D & D, c'est l'État, dans une économie de libre entreprise, qui a pour rôle traditionnel de créer les conditions permettant au secteur privé de réaliser les démonstrations en n'encourant que des risques acceptables (c'est-à-dire que l'État devrait mettre en place un cadre fiscal favorable)^{3,5}. Plus précisément, dans les pays qui disposent d'une infrastructure industrielle bien développée et d'une politique industrielle adéquate (une «stratégie») c'est le secteur privé qui peut, plus aisément que le secteur public, mettre au point, à l'essai et à l'œuvre les nouvelles technologies; les établissements universitaires, bien équipés comme ils le sont généralement dans ces circonstances, pourraient faire d'importantes contributions à l'effort de recherche. Cependant, le secteur public canadien a participé à la réalisation de projets énergétiques grâce à la mise en œuvre d'un certain nombre d'innovations en matière de gestion; parmi celles qui ont été couronnées de succès, et qui pourraient s'appliquer aux nouvelles démonstrations, citons les suivantes:

- la création de sociétés de la Couronne (p. ex., l'Énergie atomique du Canada, limitée)
- la formation de sociétés mixtes, associant secteur public et secteur privé (p. ex., Panarctic)
- la préférence accordée à certaines firmes privées (p. ex., Alberta Gas Trunk)
- la création de compagnies énergétiques (p. ex., Hydro-Québec)

*Le Conseil a mis en relief le principe d'analyse des options et la nécessité d'un personnel intergouvernemental au service des réunions fédérales-provinciales des ministres concernés. Voir: Conseil des sciences du Canada, Rapport n° 23. *Les options énergétiques du Canada*, Information Canada, Ottawa, 1975, pp. 48-51.

- la formation d'un organisme public de recherche, de gestion et de sous-traitance (p. ex., AOSTRA).

Dans une économie mixte, la gamme des organismes de gestion est très diversifiée*. Ce n'est pas l'absence d'organismes adéquats qui pose des problèmes, mais plutôt leur utilisation opportune et efficace par l'industrie et les autorités publiques.

En Europe, le Groupement européen de recherche technologique sur les hydrocarbures est un autre exemple d'organisme aux activités duquel participent les autorités publiques de la CEE et l'industrie de ces divers pays, en finançant conjointement un effort de R & D sur les techniques de forage en eaux profondes et encombrées de glaces. On a proposé la création d'un organisme similaire, la *Canadian Offshore Petroleum Technology Research Authority*, pour fournir l'aide technique et les capitaux-risques nécessaires au développement du potentiel technique de cette industrie embryonnaire.

Chacun de ces organismes et organes de gestion offre certains avantages en matière de démonstration sur le plan national; celles-là à leur tour dépendent de la stratégie de mise en œuvre choisie. Les considérations socio-politiques et économiques ont également leur importance.

Au Canada, c'est le secteur privé qui, par le passé, s'est chargé de mettre en valeur les combustibles fossiles. En conséquence, la firme privée choisie, ou la société mixte, constituera le véhicule préférable pour la démonstration, et la source principale du financement. En matière d'énergie électronucléaire, c'est évidemment l'É.C.T., société fédérale, qui est l'organisme convenable. Dans les domaines de compétence provinciale, le véhicule préféré pourrait être l'un quelconque des organes de gestion déjà mentionnés, ou peut-être quelque variante, selon la doctrine politique adoptée par le gouvernement provincial intéressé.

Dès qu'une branche industrielle ou une firme a été choisie comme véhicule de mise en œuvre de la politique énergétique, l'Administration doit s'efforcer de lui fournir les moyens de le faire grâce à un soutien financier, à la promulgation d'un cadre réglementaire convenable et à l'utilisation des organismes officiels pour étayer ces activités et les superviser. Mais quand c'est un organisme public qui est choisi comme véhicule, il lui revient de mettre en œuvre la politique énergétique officielle dans son domaine de compétence, et de diffuser en temps utile vers l'industrie le savoir-faire technique élaboré.

C'est grâce à des exemples qu'on peut le mieux appréhender cette ligne de conduite. L'industrie canadienne du pétrole devrait jouer un rôle prédominant dans la démonstration du potentiel technique de prospection et d'exploitation des hydrocarbures sous-marins, dans les eaux profondes ou encombrées de glaces. À mesure que les régions maritimes et les régions septentrionales tomberont sous la compétence fédérale, c'est l'Administra-

*Petro-Canada devrait assumer un important rôle de recherche; l'Alberta Energy Company, dont 50 pour cent du capital social appartiennent au gouvernement albertain, s'intéresse largement aux possibilités de recherche.

tion centrale qui devra promulguer les réglementations appropriées, encourager ses organismes, tel Pétrocan, ou pousser les sociétés mixtes, telle Panarctic, à accroître leurs efforts de création du potentiel technique indispensable pour la mise en exploitation précoce des gisements pétroliers et gaziers, et assurer que les Canadiens tireront le maximum d'avantages de cette expansion industrielle.

D'un autre côté, c'est l'ÉACL qui constitue évidemment le véhicule choisi pour réaliser la démonstration de la faisabilité d'un réacteur nucléaire utilisant le cycle du thorium. Il faudra que l'ÉACL s'assure la participation de l'industrie canadienne dès le début de l'entreprise, afin qu'une infrastructure technologique nationale d'envergure suffisante soit en place quand les nouveaux réacteurs arriveront au stade de la commercialisation.

Un organe de gestion particulièrement innovateur est l'*Alberta Oil Sands Technology and Research Authority*, qui a été créé pour recueillir, déposer et gérer les brevets d'invention découlant de la R, D & D en matière d'extraction des hydrocarbures des sables bitumineux en place. Cet organisme disposait à l'origine d'une caisse de 100 millions de dollars à répartir pour la réalisation de contrats de recherche industrielle et d'entreprises-pilotes dans ce secteur. Cet Office montre donc un véhicule puissant par la mise en oeuvre des politiques de l'Administration albertaine.

Le partage des responsabilités en matière de transport, de stockage et de confinement des combustibles irradiés illustre bien la concentration des efforts des organismes de gestion fédéraux et provinciaux.

L'association du savoir-faire technique des experts des secteurs publics fédéral et provinciaux avec celui des firmes industrielles canadiennes pour la réalisation des démonstrations assurera que le Canada pourra atteindre et maintenir son autonomie technologique dans les domaines cruciaux du secteur énergétique. Celui-ci est lié inextricablement à l'indépendance économique et sociale, et à l'exercice de la souveraineté.

Bibliographie et notes

I. Introduction

1. Conseil des sciences du Canada, Rapport n° 23, *Les options énergétiques du Canada*, Information Canada, Ottawa, 1975.
2. Voir, par exemple: *Les perspectives incertaines de l'industrie canadienne de fabrication 1971-1977*, Conseil des sciences du Canada, Approvisionnement et Services Canada, octobre 1977.
3. Une proposition de mise sur pied d'un tel programme a été faite par M. J. Kates, président du Conseil des sciences, dans le *Dixième Rapport annuel, 1975-1976*, du Conseil des sciences du Canada.
4. Conseil des sciences du Canada, Rapport n° 23, *op. cit.*
5. Conseil des sciences du Canada, Rapport n° 27, *Le Canada, société de conservation — Les aléas des ressources et la nécessité de technologies inédites*, Approvisionnement et Services Canada, Ottawa, 1977; *Dixième Rapport annuel*, Conseil des sciences du Canada, *op. cit.*

II. Les besoins et le potentiel énergétiques

1. Conseil des sciences du Canada, Rapport n° 27, *Le Canada, société de conservation — Les aléas des ressources et la nécessité de technologies inédites*, Approvisionnement et Services Canada, Ottawa, 1977.
2. Les raisons complexes et diverses de l'utilisation inégale de l'énergie dans les pays industrialisés sont débattues dans: J. Darmstadt, J. Dunhealey et J. Altermarl, «How Industrial Societies Use Energy», *Resources for the Future*, 1977.
3. E.R.Q. Stoian, Conseil des sciences du Canada, Étude de documentation à venir.
4. Canada, ministère de l'Énergie, des Mines et des Ressources, *Financing Energy Self-Reliance*, Ottawa, 1977, Rapport EP 77-8.
5. E.R.Q. Stoian, *op. cit.*

III. Une stratégie de la R, D & D énergétique

1. Conseil des sciences du Canada, Rapport n° 25, *Démographie, technologie et richesses naturelles*, Information Canada, Ottawa, 1976.
2. E.R.Q. Stoian, Conseil des sciences du Canada, Étude de documentation à venir.
3. *Ibid.*
4. *Ibid.*
5. A. B. Kinzel, «Industrial Research: Why, How and What?» les Conférences Noranda, Expo 67, Noranda Mines Limited, Toronto 1967.
6. Conseil des sciences du Canada, *Onzième Rapport annuel, 1976-1977*. Exposé annuel du président, Approvisionnement et Services Canada, Ottawa, 1977.
7. Franklin A. Lindsay, «Financing High-Cost, High-Risk Energy Development», *Harvard Business Review*, novembre-décembre 1978, pp. 161-170.
8. Conseil des sciences du Canada, Rapport n° 23, *Les options énergétiques du Canada*, Information Canada, Ottawa, 1975; W. H. Gauvin, «Actions concertées: A Powerful Tool for Successful Research and Development», *Chemistry in Canada*, février 1979, pp. 15-19.
9. W. S. Baer, L. L. Johnson et E. W. Morrow, «Government-Sponsored Demonstrations of New Technologies», *Science*, 27 mai 1977, vol. 196, pp. 950-957.

IV Programmes recommandés de démonstrations énergétiques

1. E.R.Q. Stoian, Conseil des sciences du Canada, Étude de documentation à venir.
2. Canada, «A Summary of a Report by an Independent Task Force on the Crisis in the Development of Canada's Mining and Petroleum Resources», R. D. Brown, président, *Canada's Resources and the National Interest*, janvier 1977.
3. «Canadian Offshore Report», *Oilweek*, 3 juillet 1978, pp. 12-39.
4. A. E. Pallister, «Needed: An AOSTRA of the Oceans», *Journal of Canadian Petroleum Technology*, janvier-mars 1978, pp. 6-7.
5. Voir, par exemple, *Proceedings of the Seminar on Natural Gas from the Arctic by Marine Mode: A preliminary assessment*, Conseil des sciences du Canada — APEC, février 1977.
6. H. R. Warman, «Hydrocarbon Potential of Deep Water», Royal Society of London, Philosophical Transactions, Series A, vol. 290, 1978, pp. 33-42; Canada, ministère de l'Énergie, des Mines et des Ressources, *Oil and Natural Gas Resources of Canada, 1976*, Approvisionnement et Services Canada, Ottawa, 1977, Rapport EP 77-1; «Offshore Drilling to Increase», *Oilweek*, 27 novembre 1978, p. 4.

7. États-Unis, Conseil national de recherches, *Assessment of Advanced Technology for Direct Combustion of Coal*, Committee on Processing and Utilization of Fossil Fuels, Commission on Sociotechnical Systems, National Academy of Sciences, Washington, DC, décembre 1977, pp. 1-89.

8. E. Blazenko, *Coal Mine Reclamation: The Cooperative Approach*, Techman Ltd., Calgary, Alberta, p. 19.

9. Conseil des sciences du Canada, Rapport n° 23, *Les options énergétiques du Canada*, Information Canada, Ottawa, 1975.

10. Leonard and Partners Limited, «Economic Impact of Nuclear Energy», Sommaire exécutif, Association nucléaire canadienne, Toronto, août 1978, pp. 1-3; Ontario, Royal Commission on Electric Power Planning, Arthur Porter, président, *Interim Report on Nuclear Power in Ontario: A Race Against Time*, Imprimeur de la Reine, Ontario, septembre 1978, p. 146.

11. Voir, par exemple, Canada, ministère de l'Énergie, des Mines et des Ressources, *The Management of Canada's Nuclear Wastes*, A.M. Aiken, J.M. Harrison et F.K. Hare, ministère de l'Énergie, des Mines et des Ressources, Ottawa, 31 août 1977, Rapport EP 77-6.

12. Leonard and Partners Limited, *op. cit.*

13. *Ibid.*

14. Harry Freeman, «Pollutants from Waste-to-Energy Conversion Systems», *Environmental Science and Technology*, novembre 1978, pp. 1251-1256.

15. Hollands et Orgill, *Potential for Solar Heating in Canada*, Université de Waterloo, Rapport 77-01, février 1977.

16. Conseil des sciences du Canada, Rapport n° 27, *Le Canada, société de conservation — Les aléas des ressources et la nécessité de technologies inédites*, Approvisionnement et Services Canada, Ottawa, 1977.

17. États-Unis, Conseil national de recherches, *Assessment of Technology for Advanced Power Cycles*, Committee on Processing and Utilization of Fossil Fuels, Commission on Sociotechnical Systems, National Academy of Sciences, Washington, DC, 1977, pp. 1-154; Arnold P. Fickett, «Fuel-Cell Power Plants», *Scientific American*, décembre 1978, pp. 70-76.

18. E.R.Q. Stoian, *op. cit.*

19. *Proceedings of the First International Total Energy Congress*, Copenhague, octobre 1976, dir. de pub. Eric T. Jeffs, Miller Freeman Publications, Inc., San Francisco, Calif.

20. *Ibid.*

21. *Ibid.* James L. Haydock, «Combined Power and Heat Systems for Industry».

22. *Ibid.*, Ian H. Rowe, et coll., «Nuclear-Based District Heating for a New Town Development».

V. Gestion et financement de la R, D & D

1. Alastair Gillespie, ministre de l'Énergie, des Mines et des Ressources, Documentation pour la déclaration à la conférence fédérale-provinciale des premiers ministres, Ottawa, février 1978, Doc. 800-7/061.

2. Conseil des sciences du Canada, Rapport n° 27, *Le Canada, société de conservation — Les aléas des ressources et la nécessité de technologies inédites*, Approvisionnement et Services Canada, Ottawa, 1977.

3. Franklin A. Lindsay, «Financing High-Cost, High-Risk Energy Development», *Harvard Business Review*, novembre-décembre 1978, pp. 161-170.

4. John F. Boshier, «Can We Have Energy by Taxing It?» *Technology Review*, août-septembre 1978, pp. 62-71.

5. *Ibid.* Hollands et Orgill, *Potential for Solar Heating in Canada*, Université de Waterloo, Rapport 77-01, février 1977.

Glossaire technique

Actinides (*actinides*): Ensemble des 14 éléments de numéro atomique 90 à 103, suivant l'actinium dans la classification périodique de Mendéléeff. Ce sont, dans l'ordre des numéros atomiques croissants, les: thorium, protactinium, uranium, neptunium, plutonium, américium, curium, berkélium, californium, einsteinium, fermium, mendélévium, nobélium et lawrencium. Il est possible qu'on identifie plus tard d'autres éléments radioactifs, de numéros atomiques plus élevés. Cependant, les derniers éléments de la série ont des demi-vies très courtes, sont très fortement radioactifs, et n'ont pu être fabriqués qu'en très faibles quantités.

Arbre de Noël (*christmas tree*): Ensemble de vanes destinées à régler le débit d'un puits de pétrole ou de gaz.

Autarcie: Voir autosuffisance.

Autosuffisance (*self-sufficiency*): Capacité d'un pays à utiliser ses ressources énergétiques naturelles pour satisfaire sa propre consommation; on dit aussi «autarcie».

Bassin profond (*deep basin*): Région située immédiatement à l'Est du piedmont des Montagnes rocheuses, où les couches sédimentaires du Mésozoïque prennent rapidement de l'épaisseur en allant vers l'Ouest; celles-ci, en dépit de leur faible perméabilité, seraient largement saturées de gaz (c'est l'opinion, entre autres, de *Canadian Hunter Exploration Limited*).

Besoins d'énergie primaire (*primary energy demand*): Agrégation de l'énergie nécessaire pour satisfaire la consommation d'énergie secondaire. Elle comprend l'énergie consommée par les centrales ou autres installations, les pertes de transformation et de transport et la consommation d'énergie secondaire.

Bioconversion (*bioconversion*): Transformation de matériaux organiques par des micro-organismes.

Btu (*British thermal unit*): Cette unité vaut 1 055 joules.

Charge de base (*base load*): Puissance constante fournie par une génératrice.

Cœur du réacteur (*reactor core*): Zone du réacteur atomique où s'effectuent les réactions nucléaires.

Collecteur solaire (*solar collector*): Dispositif permettant de transformer le rayonnement solaire en chaleur.

Combustibles fossiles (*fossil fuels*): Charbons ou hydrocarbures provenant de matériaux organiques enfouis dans le sol il y a des centaines de millions d'années, et ayant subi des températures et des pressions très élevées (tels le gaz naturel, le pétrole et le charbon).

Confinement (*disposal*): Emmagasinage définitif des déchets radioactifs, sans possibilité de récupération. Le confinement ne devrait pas, en général, nécessiter de surveillance constante, mais seulement pendant une durée limitée.

Consommation d'énergie secondaire (*secondary energy demand*): Il s'agit de l'agrégation de l'énergie consommée par les différents secteurs de l'économie (domiciliaire, commercial, industriel et transports).

Énergie thermonucléaire (*thermonuclear energy*): Énergie provenant d'une fusion nucléaire provoquée par l'agitation thermique des noyaux en cause, et libérant de l'énergie.

Exergie (*exergy*): Énergie thermodynamique disponible.

Extraction sur place (*in-situ recovery*): Traitement des sables bitumineux d'Athabasca ou des pétroles lourds pour en extraire les hydrocarbures sans faire de travaux miniers; gazéification du charbon ou distillation des schistes pétrolifères en place d'origine. On pompe des hydrocarbures ainsi formés, ou bien on les expulse à l'aide de liquides spéciaux.

Fermentation anaérobie (*anaerobic digestion*): Processus biochimique de décomposition des substances organiques par des microorganismes, en l'absence d'oxygène.

Fission (*fission*): Séparation d'un noyau lourd en deux parties (rarement plus), dont les masses sont du même ordre de grandeur, habituellement accompagnée de l'émission de neutrons, de rayons gamma et, quelquefois, de petits fragments nucléaires chargés.

Fusion nucléaire (*nuclear fusion*): Réaction nucléaire au cours de laquelle deux noyaux légers, tels les isotopes de l'hydrogène, de l'hélium, du lithium ou du bore, s'unissent pour former un noyau plus lourd dans des conditions réglées de température et de densité des matières.

Gazéification du charbon (*coal gasification*): Transformation du charbon, du coke ou du charbon de bois en combustibles gazeux, par la réaction, dans des conditions déterminées, de quantités d'air et de vapeur d'eau avec ces substances. Le gaz recueilli contient du dioxyde de carbone, du monoxyde de carbone, de l'hydrogène, du méthane et d'autres substances chimiques, en proportion des produits en réaction, des températures et des pressions utilisées dans le gazogène.

Houille grasse (*bituminous coal*): Charbon le plus utilisé, ne produisant guère de cendres, mais contenant de 1 à 3 pour cent de soufre. Son pouvoir calorifique est de 25,5 à 32,5 MJ/kg (mégajoules par kilogramme).

Hydrogénation (*hydrogenation*): Fixation d'hydrogène sur les molécules organiques, pour en faire des combustibles liquides.

- Isotope (isotope):** Éléments de nombres de masse différents, mais présentant des propriétés chimiques presque identiques, ce qui conduit à leur affecter le même numéro atomique, par exemple, ^{235}U , ^{238}U et ^{239}U sont trois isotopes de l'uranium.
- Lit fluidisé (fluidized bed):** Couche de particules solides de combustible mise en suspension et agitée par un courant de gaz qui la traverse. La combustion du charbon en lit fluidisé permet d'alimenter les générateurs de vapeur avec un combustible de qualité médiocre.
- Matière fertile (fertile element):** Nucléide (ou substance contenant ce nucléide) susceptible de se transformer directement ou indirectement en un nucléide fissile par capture de neutrons; par exemple, l'uranium 238, après capture de neutrons, donne de l'uranium 239, qui se transforme en neptunium 239 lequel produit du plutonium 239. De même, le thorium 232, après capture de neutrons, se désintègre en protactinium 233, puis en uranium 233.
- Matière fissile (fissile material):** Élément susceptible de subir une fission nucléaire par absorption de neutrons lents. Les principaux éléments fissiles sont l'uranium 233, l'uranium 235 et le plutonium 239.
- Méthane (methane):** Hydrocarbure gazeux de combustion très propre, composant principal du gaz naturel.
- Pétrole lourd (heavy oils):** Hydrocarbures de forte densité, mais pouvant encore se déplacer dans les gisements, en dépit de leur viscosité.
- Pile à combustible (fuel cell):** Dispositif produisant de l'électricité par la combinaison d'un combustible, tels l'hydrogène ou le gaz naturel, avec l'oxygène ou l'air, sans qu'il y ait combustion.
- Pyrolyse (pyrolysis):** Décomposition chimique d'une substance par la chaleur, en l'absence quasi-complète d'oxygène, afin d'empêcher sa combustion.
- Réacteur nucléaire (nuclear reactor):** Dispositif par lequel une réaction de fission nucléaire en chaîne auto-entretenue peut être maintenue et dirigée.
- Régions périphériques (frontier areas):** Régions du Nord canadien, tel le delta du Mackenzie, la mer de Beaufort et l'archipel arctique, et surtout les régions au large du littoral atlantique, qui recèlent peut-être des hydrocarbures, mais n'ont jamais été exploitées.
- Rendement (energy conversion efficiency):** Rapport entre l'énergie fournie par une centrale et l'énergie qu'elle consomme.
- Retraitement (reprocessing):** En génie nucléaire, traitement chimique et mécanique permettant d'extraire le plutonium 239 et l'uranium 235 non fissionnés des combustibles irradiés du cœur du réacteur, afin de les façonner pour nouvelle utilisation.

Sables bitumineux (*oil sands*): Sables ou grès friables imprégnés de pétrole asphaltique ou de bitume trop visqueux pour être extraits par les méthodes habituelles.

Sables colmatés (*tight sands*): Gisements d'hydrocarbures contenant surtout du gaz, comme celui de la région d'Elmworth dans le Bassin profond, dont la compacité, et donc la faible perméabilité nécessitent le forage d'un grand nombre de puits, et l'utilisation très étendue des techniques de fissuration, afin de récupérer le gaz.

Stockage (*storage*): Emmagasiner de combustibles irradiés, avec l'intention de les utiliser ultérieurement. Le stockage nécessite une surveillance continue.

Surgénérateur (*breeder reactor*): Réacteur nucléaire produisant plus de combustibles fissiles qu'il n'en consomme. La surgénération s'opère sur un pourcentage élevé (de 30 à 40 pour cent en pratique) de la matière utilisée (tel l'uranium 238), de sorte que le potentiel énergétique de l'uranium naturel est multiplié par 30 ou 40.

Transformation du charbon en carburants liquides (*coal liquefaction*): Il existe actuellement une méthode directe, deux méthodes par pyrolyse et quatre méthodes par dissolution pour effectuer cette transformation du charbon en produits pétroliers synthétiques, utilisables dans l'industrie pétrochimique ou dans les raffineries.

Usine-pilote (*demonstration plant*): Station d'essai à grande échelle, constituant la dernière phase avant la commercialisation.

Unités et coefficients de conversion

Nous nous sommes efforcés d'uniformiser les unités énergétiques utilisées dans le présent Rapport.

Voici quelques points à noter:

- 1) Les quantités mentionnées sont nettes, et non brutes
- 2) En matière d'électricité, il s'agit d'énergie secondaire, sauf mention contraire.

1 Wh (watt-heure) = 3,412 Btu (*British Thermal Units*)
et 1 Btu = 0,293 Wh

- 3) Dans l'hypothèse d'un rendement de 100 pour cent de la transformation d'électricité en chaleur, on obtient:

1 Wh = 3,6 kJ (kilojoules)
et 1 Btu = 1,055 kJ

- 4) Mais il n'en est pas de même au cours de la transformation inverse. Il faut en moyenne dépasser 10 Btu (10,5 kJ) pour produire 1 W dans une centrale thermique.

- 5) Nous employons l'exajoule (EJ) comme grande unité d'énergie:

1 EJ = 10^{18} joules

Comme le joule vaut $0,9478 \times 10^{-3}$ Btu, nous obtenons:

1 EJ = $0,9478 \times 10^{15}$ Btu, ou 0,947 *quadrillion Btu's* (quad)
et 1 *quad* = 1,055 EJ

- 6) L'exajoule est l'équivalent énergétique de

23,3 Mt (millions de tonnes métriques) de pétrole brut

- 7) Le «baril» (*barrel*) contient 159 litres de pétrole brut. Si la densité de ce dernier est de 0,9, on obtient

1 t \approx 7 barils, et

1 *barrel* \approx 0,143 t

- 8) Nous employons le kilomètre cube (ou milliard de mètres cubes) pour exprimer les quantités de gaz naturel.

1 km³ = 0,03533 tcf (*trillion cubic feet*)

et 1 tcf = 28,3 km³

Annexe

Programmes de démonstrations

1. Démonstration du potentiel technique de prospection et d'extraction des hydrocarbures dans les eaux encombrées de glaces

Le cadre de la démonstration

Conformément à la politique d'autarcie énergétique, le Canada, pays boréal, doit se doter d'un potentiel technique d'exploitation des hydrocarbures des régions arctiques. L'effort de prospection réalisé jusqu'à présent a confirmé la présence de gaz naturel en quantités quasi-commercialisables; en ce qui concerne le pétrole brut, les données recueillies sont insuffisantes pour contester la présence de réserves d'exploitation rentable. Il est certain que la présence de glaces jouera un rôle important au cours des travaux de prospection et d'exploitation des hydrocarbures sous-marins.

Un vaste pays circumpolaire comme le Canada devra s'efforcer de repousser, pour ainsi dire, les glaces vers l'Extrême Nord, pendant des générations. Mais une attaque frontale contre ces éléments hostiles et mal définis, mais puissants, serait insensée, en dépit de la concertation des efforts de l'industrie et de l'État. On ne peut modifier le climat du Nord, ni chauffer les eaux de l'Arctique pour y fondre les glaces. D'ailleurs, les conséquences en seraient catastrophiques. La stratégie à choisir consiste donc à éviter les obstacles, et sinon à s'efforcer de réaliser des percées techniques. Une excellente appréhension des propriétés de la glace et leur maîtrise permettraient de tirer profit de ses caractéristiques, pour mener à bonne fin les grands programmes nationaux. Il paraît possible d'utiliser la glace comme matériau de construction. Mais, à court terme, on pourrait utiliser le savoir-faire technique pour réduire, dans une certaine mesure, les entraves physiques aux activités d'exploitation des hydrocarbures, de pêche et de transports maritimes en milieu arctique¹.

Il est évidemment nécessaire d'élaborer une technologie du milieu glacial. Le Canada, pays boréal, doit axer ses efforts dans un domaine où il dispose d'avantages géographiques. La technologie du milieu glacial océanique constitue l'un de ces domaines². Celle-ci, non seulement aiderait les populations nord-canadiennes à s'adapter à leur milieu particulier³ mais elle étayerait aussi la mise en œuvre des moyens de transports indispensables dans les régions arctiques⁴. La mise en service de brise-glaces puissants et à grand rayon d'action donnerait la souplesse d'action nécessaire (tels les grands brise-glaces à propulsion nucléaire).

Voici les principales lignes de force de l'action nécessaire:

1° Poursuite de l'élaboration des dispositifs de prévention de la pollution et d'intervention d'urgence, tout en répartissant les ressources et les efforts en vue d'établir l'équilibre entre «actions de développement économique» et «efforts de protection de l'environnement»⁵.

2° Étoffement des programmes de mesure, d'analyse et d'appréhension des caractéristiques de la glace, afin d'en faire un matériau de base utile et un élément constitutif des systèmes arctiques⁶.

3° Accroissement des efforts de mise au point et d'essai du matériel, des techniques et des stratégies permettant d'esquiver l'action des forces glaciales ou de réduire les contraintes qu'elles imposent.

Les notes concernant chaque démonstration apparaissent à la fin de chaque section.

4° Soutien de la recherche appliquée en matière de prospection efficace et économique et de relevé séismique des structures géologiques à partir de la couverture glacielle et en profondeur, dans les eaux tant encombrées de glaces que parcourues par les icebergs.

5° Mise au point d'équipements et de méthodes de forage de prospection au fond des eaux encombrées de glaces, et ultérieurement au travers de puits foncés dans la calotte glaciaire.

6° Conception et essai des équipements d'exploitation, de collecte, de stockage, de traitement et de transport du pétrole et du gaz naturel liquéfié pouvant être raccordés à un terminal maritime ou terrestre, après transport sur grande distance. Il faut constamment améliorer les équipements d'exploitation dans les eaux profondes ou encombrées de glaces, qu'ils soient implantés sur des îlots artificiels, sous la surface des eaux, et sur le fond marin ou sous celui-ci, et télécommandés.

7° Extension de la saison de prospection de façon à utiliser toutes les ressources de façon optimale, et étude des opérations de production à longueur d'année. Les métallurgistes spécialistes des basses températures ont mis au point⁷ des vannes pour «arbre de Noël» fonctionnant à -60°C , et des vannes pour oléoduc fonctionnant à -62°C . On dispose déjà de matériel de remise en exploitation des puits, autonome et utilisable à -51°C . La limite inférieure des températures permettant l'exploitation dans l'Arctique a été fixée à -60°C ⁸.

8° Recherche de nouvelles voies de coopération entre firmes industrielles et entre le secteur industriel et l'État car le partage des frais constitue le seul moyen économique d'exploiter des équipements perfectionnés et complexes.

Outre les questions concrètes d'autosuffisance énergétique et de longs délais de mise en œuvre, il faut prendre en considération l'expansion des zones maritimes revendiquées (telle celle des 200 milles marins au large) et les négociations concernant l'exercice de la souveraineté⁹. Pour le Canada, les conséquences de cette évolution sont évidentes, et les responsables doivent, en conséquence, évaluer l'opportunité des programmes de démonstrations pertinents.

Cette démonstration portera sur deux programmes complémentaires:

- 1 - La technologie glacielle
- 2 - La technologie d'exploitation du pétrole sous-marin

1. Lignes de force en matière de technologie glacielle*

Voici certains aspects de la technologie glacielle qui nécessitent des démonstrations:

- 1° Les mécanismes de recueil et de diffusion permanente des données d'ambiance concernant les eaux océaniques encombrées de glaces¹⁰.
- 2° La mesure des propriétés de la glace¹¹.
- 3° Les progrès réalisés en sondage ultrasonique dans les eaux encombrées de glaces.
- 4° La mise au point d'un matériel de télédétection des glaces dérivantes¹².
- 5° L'achèvement de la mise au point et l'essai d'équipements de poursuite lointaine des icebergs.
- 6° La détermination de la structure sous-marine des icebergs.
- 7° La mise au point de dispositifs de détournement et d'amarrage des icebergs (par exemple grâce à des cônes de pénétration fixés à des câbles).
- 8° L'étude des techniques de remorquage des icebergs.
- 9° L'évaluation des affouillements destructeurs par la glace aux alentours des têtes de puits et des oléoducs sous-marins.
- 10° Les progrès des techniques de bris de la couverture glacielle.

*N.d.t. — C'est-à-dire de l'action dans un milieu encombré de glaces.

L'importance relative de ces considérations varie selon chaque programme de prospection et d'exploitation. C'est pourquoi leur ordre de priorité varie selon les cas.

L'état des glaces dans l'Océan arctique peut gêner la réalisation des programmes de relevés sismiques quand les surfaces sont tourmentées. En d'autres saisons, la surface de l'océan est relativement libre de glaces, mais celles qui restent sont ballottées, de sorte que les navires doivent les esquiver ou les pousser. On a mis au point plusieurs véhicules pour le transport du personnel sur les glaces de rive. Il faut améliorer et soumettre à de nouveaux essais les roulottes montées sur grandes roues, et il est indispensable d'effectuer des mesures constantes de l'épaisseur de la glace.

La technologie glacielle est extrêmement complexe, comme la littérature technique le confirme (voir les notes 13 à 26). Cependant, les possibilités d'innovation pourraient être bien plus nombreuses qu'on ne le pense²⁷.

2. Lignes de force de la technologie d'exploitation du pétrole sous-marin

Voici les principaux aspects de la technologie d'exploitation du pétrole sous-marin pour lesquels il faut effectuer une démonstration²⁸:

- 1) Des dispositifs de retenue et de nettoyage des épanchements de pétrole:
 - a) à la surface des eaux encombrées de glaces
 - b) sur la glace de mer
 - c) sous la couverture glacielle
 - d) en particules disséminées dans la glace.
- 2) Des équipements de plongée en eau froide
- 3) Des équipements de forages pétroliers spécialement conçus pour les eaux encombrées de glaces. Il faudrait évaluer antérieurement certaines techniques, par exemple:
 - a) les techniques de construction d'îlots artificiels pour forages (grâce à un batardeau, p. ex.)
 - b) les bateaux à coque renforcée et étrave conique
 - c) les pontons de forage à coque renforcée
 - d) les brise-glaces de forage²⁹
 - e) l'équipement sous-marin de forages pétroliers³⁰
 - f) un aéroglesseur pour forages amphibies dans les conditions arctiques suivantes:
 - 1° eaux très peu profondes
 - 2° courte saison navigable
 - 3° glace de rive
- 4) Amélioration des plateformes de glace pour le forage*
- 5) Mise au point et essai de dispositifs d'ancrage
- 6) Élaboration de dispositifs de prévention de la pollution par les boues de forage
- 7) Essai et modification des bateaux auxiliaires des navires de forage
- 8) Mise au point de dispositifs sûrs et rapides de raccordement et de dégagement entre ouvrages de surface et têtes de puits (tels les capuchons des fosses de protection)
- 9) Mise au point d'appareils sous-marins perfectionnés³¹
- 10) Élaboration de dispositifs de prévention des éruptions pétrolières, tant au cours du forage que de l'exploitation (tels les obturateurs sous-marins,³²)
- 11) Construction de plateformes marines d'exploitation pétrolière; achèvement de la mise au point et essais

*Les scientifiques du Conseil national de recherches du Canada, de concert avec un bureau d'ingénieurs-conseils, ont largement contribué à la mise au point des plateformes de glace pour l'implantation de derricks de forage sous-marin dans l'Arctique.

- 12) Élaboration de dispositifs de protection des plateformes d'exploitation pétrolière contre la pression des glaces
- 13) Élaboration de techniques de mise en place des canalisations d'hydrocarbures dans les fonds marins perturbés par les glaces
- 14) Protection des canalisations d'hydrocarbures et des têtes de puits contre l'affouillement par les glaces³³
- 15) Évaluation de la faisabilité du stockage sous-marin des hydrocarbures dans les eaux encombrées de glaces.
- 16) Suivi constant des recherches sur la résistance des matériaux débouchant sur un développement éventuel du potentiel technique de prospection et d'exploitation des hydrocarbures dans les eaux encombrées de glaces.

C'est la gamme particulière des techniques nécessaires à chaque programme et leurs interactions qui détermineront les priorités de démonstration de ces dispositifs et méthodes perfectionnées de travail³⁴. Il est nécessaire de suivre une approche systématique en raison du soutien réciproque des éléments constitutifs et de la concertation nécessaire de l'effort d'ensemble. De toute façon, il faut mettre à l'essai des techniques accroissant la sécurité de l'exploitation des hydrocarbures tant pour la collectivité que pour la Nature, et la rendant plus efficace dans des conditions climatiques très rudes. La planification et la réalisation soigneuses des démonstrations proposées permettront de développer le potentiel d'action du Canada dans les océans encombrés de glaces³⁵.

Ampleur de l'effort

1. Repères:

Technologie du milieu glacial et technologie de l'exploitation des hydrocarbures sous-marins

a) Programmes scientifiques du MEST en 1977-1978:

- «L'enveloppe de S & T sur les eaux englacées ou encombrées de glaces dépassera 45 M\$ en 1977-1978, soit une augmentation de 7 pour cent par rapport à 1976-1977» (p. 14).
- «La Direction de l'énergie d'Environnement Canada dispose d'un budget de 2,6 M\$ pour l'exercice 1977-1978, afin de mettre en œuvre son programme de S & T sur la lutte contre les épanchements de pétrole (0,6 M\$ en 1976-1977) dont 2,3 M\$ pour le paiement des contrats à l'industrie; 1,7 M\$ sont consacrés à la R & D dans l'Arctique» (p. 33).
- «Le CNRC a consacré un montant additionnel de 1 M\$ à son programme de recherche en ingénierie et sciences de la Nature, en vue de mettre au point le recueil des données océaniques; une partie importante des travaux concerne la technologie d'exploitation du pétrole sous-marin» (p. 40).

b) Approvisionnements et Services Canada:

- Dossier n° 02/k00-SS-6-3022 concernant un contrat de mise au point de dispositifs de lutte contre les épanchements de pétrole sous-marin dans l'Arctique: projet au montant de 2 M\$ par année.
- Dossier n° 01/k00-SS-6-3001 concernant la faisabilité de dispositifs de retenue ou de guidage du pétrole à utiliser dans la mer de Beaufort: et
- Le dossier 01/k00-SS-6-3002 concernant la mise au point d'un modèle tridimensionnel de prévision des déplacements d'une nappe de pétrole fragmentée.

c) *Nouvelles Développement Transport*, juin 1977, p. 14. «Oil Spill Technology Program» — Le Service de protection de l'environnement a entrepris un programme quinquennal au coût de 7 M\$, pour perfectionner les techniques de lutte contre les épanchements de pétrole dans les eaux arctiques.

d) Statistiques courantes de l'Association canadienne du pétrole — moyennes calculées à partir des données de 1977, 1976 et 1975:

Dépenses du secteur pétrolier dans les Territoires du Nord-Ouest et l'Arctique	
Prospection	273 000 000 \$
Délimitation	3 900 000 \$
Concessions	3 100 000 \$
Installations d'exploitation	91 000 000 \$
Total	371 000 000 \$

Interprétation de ces données: En raison de la nature difficile du «milieu de travail», les dépenses de R & D pourraient atteindre jusqu'à 3 ou 5 pour cent des dépenses du secteur pétrolier, soit de 10 à 20 M\$ par année.

2. Calculs préliminaires

Programme permanent de recherche en technologie du milieu glacial

a) Nous envisageons un programme quinquennal couvrant la période de 1979 à 1983.

- Disons trois groupes disposant chacun d'un budget annuel moyen de 1,6 M\$
 $3 \times 1\,600\,000 = 4\,800\,000$ \$ par an
 - Comme solution de rechange, disons 25 scientifiques et technologues disposant d'un personnel auxiliaire et d'un équipement suffisants:
 $25 \times 3 \times 32\,000 = 2\,400\,000$ \$ par an
 - Comparaisons avec des programmes équivalents en cours de réalisation:
 2 100 000 \$ par an
 - Moyenne prévue: 3 100 000 \$ par an
- Le programme quinquennal nécessitera donc un financement total de:
 15 500 000 \$

Programme d'évaluation systématique et de démonstration de la technologie d'exploitation des hydrocarbures sous-marins

a) Nous prévoyons les dépenses suivantes pour les divers éléments du programme:

- Dispositifs de retenue et de nettoyage des épanchements de pétrole:
 10 000 000 \$
- Dispositifs de forage (trois)
 Coût total: 630 000 000 \$
 Montant au titre de la démonstration (20%): 126 000 000 \$
- Équipement des têtes de puits
 Coût total: 10 000 000 \$
 Montant au titre de la démonstration (30%): 3 000 000 \$

- Plateformes d'exploitation (trois)*

Coût total:	36 000 000 \$
Montant au titre de la démonstration (50%):	18 000 000 \$
- Réseau collecteur, installations de stockage et auxiliaires

Coût total:	15 000 000 \$
Montant au titre de la démonstration (20%):	3 000 000 \$

Les programmes de démonstration de la technologie d'exploitation des hydrocarbures sous-marins exigeront donc un montant, à ce titre, de:
160 000 000 \$

Le montant total au titre des démonstrations de la technologie du milieu glaciaire et de la technologie d'exploitation des hydrocarbures sous-marins atteint donc un total général de: 176 000 000 \$

Cadre chronologique

1. Technologie du milieu glaciaire

a) Nous proposons la période 1979-1983 comme cadre indicatif de cette démonstration.

b) Moyenne prévue du financement annuel:

3 100 000 \$

c) Répartition illustrative annuelle de ce financement:

1979	2 100 000 \$
1980	3 500 000 \$
1981	4 000 000 \$
1982	3 500 000 \$
1983	2 900 000 \$

Total 16 000 000 \$**

2. Technologie d'exploitation des hydrocarbures sous-marins

a) Répartition illustrative annuelle de ce financement:

1979	5 500 000 \$
1980	8 800 000 \$
1981	13 200 000 \$
1982	17 700 000 \$
1983	20 400 000 \$
1984	22 100 000 \$
1985	21 500 000 \$
1986	19 900 000 \$
1987	17 100 000 \$
1988	13 800 000 \$

Total 160 000 000 \$

3. Technologie du milieu glaciaire et technologie d'exploitation des hydrocarbures sous-marins

L'échéancier des financements agrégés de ces deux démonstrations apparaît comme suit:

1979	7 600 000 \$
1980	12 300 000 \$

*M.B. Todd, «Platform construction and operation, Cook Inlet, Alaska», *Journal of Canadian Petroleum Technology*, octobre-décembre 1969, pp. 165-174.

**chiffre arrondi

1981	17 200 000 \$
1982	21 200 000 \$
1983	23 300 000 \$
1984	22 100 000 \$
1985	21 500 000 \$
1986	10 900 000 \$
1987	17 100 000 \$
1988	13 800 000 \$
Total	176 000 000 \$

Notes et bibliographie

Cadre de la démonstration

1. Plusieurs articles concernant la recherche en technologie du milieu glaciaire océanique, le génie maritime, les plateformes de glace et les transports sous-marins, *Engineering Journal*, juillet-août 1977, pp. 6-11, 13-15, 18-19 et 12.

2. *Science Policies in Smaller Industrialized Northern Countries*, Compte rendu d'un séminaire tenu à Montebello, Qué., 27-29 novembre 1977, Conseil des sciences du Canada, avril 1978, 93 p.

3. Ian Reid, «Engineering for the Arctic Environment», *Engineering Journal*, janvier 1978, pp. 30-31; R.M. Hardy and Associates Ltd., *Research and Development for Civil Engineering in Cold Regions*, Rapport rédigé pour Approvisionnement et Service Canada, Direction de l'approvisionnement scientifique, sous les auspices du Conseil national de recherches, 104 p.; Kenneth M. Adam et Helios Hernandez, «Show and Ice Roads: Ability to Support Traffic and Effects on Vegetation», *Arctic*, Revue de l'Institut arctique d'Amérique du Nord, mars 1977, pp. 13-27.

4. E.A. Mirosh, «Arctic gas pipeline soon a reality — Pipeline construction in the Yukon Territory is expected to begin on January 1 of 1981, the culmination of a decade of northern gas pipeline R & D», *Engineering Journal*, janvier 1978, pp. 22-28; «Canadian ships and shipping — Meeting the ice challenge provides scope for original Canadian technology», *Engineering Journal*, janvier 1978, p. 5.

5. Référence 3, *op. cit.*; H.E. Howard-Lock, «Remote sensing from satellites: the best way to spot oil spills quickly», *Science Forum*, février 1976, pp. 20-23.

6. Référence 1, *op. cit.*

7. D.W.G. White et J.D. Boyd, «A new family of steels for the North», *Engineering Journal*, janvier 1978, pp. 32-34; «Low temperature metallurgy outlined», *Oilweek*, 7 août 1978, p. 62.

8. R.M. Hardy and Associates Ltd., *op. cit.*

9. David A. Ross, «The Importance of Marine Affairs», *Science*, 28 juillet 1978, p. 305.

Voir également

«Canadians design ice-going cargo vessel», *Engineering Journal*, janvier 1978, pp. 6-9.

Allen R. Milne et Brian D. Smiley, *Offshore Drilling in Lancaster Sound, Possible Environmental Hazards*, Institute of Ocean Sciences, Patricia Bay, Pêches et Environnement Canada, Sydney, C.-B., février 1978, 95 p.

A.E. Pallister, «New Petroleum Technologies in Canadian Arctic Seas», V^e Conférence internationale sur la mise en valeur des océans, 25-29 septembre 1978, Tokio, 12 p.

Preliminary Offshore Environmental Study — A physical and biological environmental baseline study and environmental impact analysis of blowouts for the shelf zone of southeastern and southern Newfoundland waters: Rapport rédigé par NORDCO and Northernland Associates, Gouvernement de Terre-Neuve, ministère des Mines et de l'Énergie, 1978, 344 p.

La technologie du milieu glaciaire

10. G. Tsang, «An ice-oil boom», *Spill Technology Newsletter*, vol. 3, n^o 2, 1978, pp. 7-14; E.C. Chen, B.E. Keevil et R.O. Ramseier, «Behaviour of Crude Oil under Fresh-Water Ice», *The Journal of Canadian Petroleum Technology*, Montréal, avril-juin 1976, pp. 79-83; R.G.

Nagler, *Operational Oceanographic satellites — SEASAT potentials for oceanography, climatology, coastal processes and ice*, 1975, 22 p.

11. Kenneth Butt, «Creep measurement on arctic ice drilling platforms», *C-Core News*, avril 1978, pp. 6-8; Atelier sur les propriétés mécaniques de la glace, Calgary, 1977; CNRC, Comité de la recherche géotechnique, Ottawa, 1977, 167 p.

12. R.G. Nagler, *op. cit.*

13. Nordco, *Annual Report 1976 and Supplements*, pages diverses.

14. Jan Furst, «Ship-in-the-ice Project», Numéro spécial consacré à des recherches conjointes réalisées à partir d'un navire pris dans la banquise au large du Labrador, *C-Core News*, avril 1977, pp. 2-8.

15. Harold L. Snyder, «C-CORE — Cold Ocean Research in Suitable Setting», *Engineering Journal*, juillet-août 1977, pp. 13-14.

16. K.R. Croasdale, «Ice Engineering for Offshore Petroleum Exploration in Canada», POAC 77, IV^e Conférence internationale sur le génie portuaire et océanique et climat arctique, Université Memorial, Terre-Neuve, 20-26 septembre 1977, 22 p.

17. K.A. Gustajtis et T. Buckley, *A Seasonal Iceberg Density Distribution along the Labrador Coast*, Compte rendu de la IV^e Conférence internationale sur le génie portuaire et océanique en climat arctique, Saint-Jean de Terre-Neuve, septembre 1977, pp. 972-983.

18. *Research projects in glaciology — 1976*, Pêches et Environnement Canada, Direction générale des eaux intérieures, Division des ressources en eau, Ottawa, 1977, 136 p.

19. D.G. Lindsay, *Sea ice atlas of arctic Canada, 1969-1974*, Énergie, Mines et Ressources Canada, Ottawa, 1977, 219 p.

20. Y.P. Doronin, *Sea ice — Processes of formation, growth and melting of sea ice; its strength and deformation*, Soviet Study, Amerind Publishing Company, New Delhi 1977, 323 p.

21. Rod Edwards, «Refrigerated ice model basin first in Canada», *Engineering Journal*, janvier 1978, pp. 10-11.

22. A. Ruffman et A. Gustajtis, «Labrador shelf sub-bottom profiles», *C-Core News*, avril 1978, p. 5.

23. «Fence studies Arctic Islands ice for offshore drilling operations», *Oilweek*, 29 mai 1978, p. 7.

24. A.E. Pallister et Jeff Pallister, «Ice Covered Waters — A New Offshore Petroleum Environment», *A.P.O.A. Review*, mai 1978, pp. 12-15.

25. «Canadian Engineers Contribute cold weather operation technology», *Oilweek*, 5 juin 1978, p. 44.

26. Joan Powers Rickerd et Claude Devismes, «Le pergélisol — Terre de glace», *Science Dimension*, vol. 10, n° 2, 1978, pp. 18-21.

27. G. Tsang, *op. cit.*

Voir également

Philip A. Lapp, *The Identification of Requirements Critical to Operations On and Below Ice-Covered Waters*, Rapport rédigé pour le ministère d'État aux Sciences et à la Technologie, aux termes du contrat n° OSQ3-5032 d'Approvisionnement et Services Canada, septembre 1974, 240 p.

Living with Climatic Change, compte rendu de l'Atelier de la Conférence de Toronto, 17-22 novembre 1976, Conseil des sciences du Canada, Ottawa, 105 p.

La technologie d'exploitation des hydrocarbures sous-marins

28. P.J. Amaria, A.A. Bruneau et P.A. Lapp, dir. de publ., *Arctic Systems*, Compte rendu de la Conférence d'août 1975, Saint-Jean de Terre-Neuve, Plenum Press, New York, 1977, 956 p.

29. «Total drillship for Labrador», *Oilweek*, 5 juin 1978, pp. 52-57.

30. «Subsea giant looking North for its growth», *Arctic Digest*, mai-juin 1978, p. 7.

31. G.W. Morgan, «Analyzing riser top tension», *Ocean Resources Engineering*, vol. 2, 1977, pp. 40-50; Diverses communications d'A.E. Pallister, Pallister Resource Management Ltd., Calgary, Alberta, 1977-1978; voir p. ex. celles des 6 et 7 décembre 1977, pages diverses.

32. «Blow outs», *Northern Offshore*, vol. 7, n° 5, 1978, pp. 26, 29, 64.

33. S.M. Blasco, «Probing with Trow-Unmanned Submersible reveals geology and hazards of Arctic seafloor», *Arctic Digest*, janvier-février 1978, pp. 4, 6, 7; T.R. Chari, «A model study of iceberg scouring in the North Atlantic», Ocean Engineering Group, MUN; Offshore Technology Conference, Houston, Texas, 1978, pp. 2319-2326.

34. A.E. Pallister, «Needed: an AOSTRA of the oceans», éditorial sollicité, *The Journal of*

Canadian Petroleum Technology, Montréal, janvier-mars 1978, pp. 6-7.

35. «Canada's offshore capabilities», *Northern Offshore*, vol. 7, n° 4, 1978, pp. 20-23.

Voir également

A. Allan, *The measurement of surface strain on Drake P. 40 artificially thickened sea ice drilling platform*, Technical Report, C-CORE Publication 77-27, 1977, 42 p.

(Michel Brochu), «Forage à l'année longue dans la mer de Beaufort — Le monocône est-il la solution?», *Science Dimension*, vol. 9, n° 1, 1977, pp. 29-30.

«Canada's first Arctic offshore pipeline ready — special ice plough developed», *International Petroleum Times*, vol. 82, n° 2075, 1978, pp. 18-20.

P.S. Chema, «Drift of icebergs in the Grand Banks», *Ocean Engineering*, 1978, vol. 5, pp. 105-125.

«Drake F-76 a cod under ice», *Oilweek*, 1^{er} mai 1978, p. 8.

«First Arctic Gas Completion Underway», *Oilweek*, 17 avril 1978, p. 5.

«First Arctic under ice gas well completed; F-26 tests technology», *Arctic Digest*, mai-juin 1978, pp. 6-9, 13.

Hugh French, «Why Arctic Oil is harder to get than Alaska's» *Canadian Geographical Journal*, juin-juillet 1978, pp. 52-58.

(Jack Gallagher), «Buildup in the Beaufort Sea», *Executive*, juillet 1978, p. 26.

Geoff Gates, «Offshore activity declines», *Oilweek*, 16 mai 1977, p. 12.

Geoff Gates, «Northern Exploration and Transportation Report», *Oilweek*, 28 février 1977, pp. 12-18.

René Goblot, «Diverting icebergs from Labrador oil rigs», *Canadian Geographical Journal*, juin-juillet 1978, pp. 52-57.

René Goblot, «Les Icebergs — menace du pétrole offshore», *GEOS*, automne 1977, pp. 9-11.

G.L. Hargreaves, «What's new about offshore structures», *Metallurgist and Materials Technologist*, vol. 9, 1977, pp. 15-18.

Vic Humphreys, «An Arctic epic», *Oilweek*, 1^{er} mai 1978, p. 3.

«Iceberg Alley provides troublesome environment for exploration», *Oilweek*, 16 mai 1977, p. 13.

B.R. LeDrew, *Environmental Research Needs for Drilling in the Labrador Offshore*, Compte rendu de la réunion annuelle, Société canadienne des biologistes de l'environnement, Frédéricton, N.-B., janvier 1977, pp. 84-98.

C.F. Lewis, *Marine geological and geophysical activities in Lancaster sound and adjacent fiords*, Commission géologique du Canada, Publication 77-1A, 1977, pp. 495-506.

«Low power, versatile mini-computers developed for offshore operations», *Oilweek*, 30 janvier 1978, pp. 26, 28.

«Newfoundland — Mobil Oil granted exploratory permits», *Oilweek*, 15 mai 1978, p. 9.

«New island building technique seen as money-saver in the Arctic», *Oilweek*, 28 février 1977, pp. 12-18.

Oil and the Computer Access to Energy, 1^{er} juillet 1978, p. 3.

«Oil companies inject new life into offshore plays on East Coast», *Energy Analects*, 10 mars 1978, p. 3.

«Offshore Activity at High Pace», *Oilweek*, 3 juillet 1978, p. 5.

«Offshore Report — Environment meet studies north», *Oilweek*, 16 mai 1977, pp. 18-20.

Program, Offshore Technology Conference, Houston, Texas, 8-11 mai 1978, 32 p.

A.E. Pallister, *The Beaufort Sea in a Canadian Perspective*, Petroleum Society of the CIM, février 1976.

Douglas Pimlott, Dougald Brown et Kenneth Sam, *Oil under the Ice, Offshore Drilling in the Canadian Arctic*, Canadian Arctic Resources Committee, 1976, 178 p.

Steering a Course to Excellence, étude sur le secteur des services maritimes canadiens, effectuée pour le Conseil national de recherches du Canada par la firme Pallister Resource Management Ltd., Calgary, 30 juin 1977, 117 p.

2. Démonstration du transport maritime des hydrocarbures de l'Arctique

Considérations générales

Le transport maritime des hydrocarbures jouera un rôle de plus en plus important sur la scène internationale, et cela pour plusieurs raisons. L'utilisation des gaz de pétrole liquéfiés: propane et butane, s'est développée à cause de l'envolée générale des prix de l'énergie et du renouveau d'intérêt que l'OPEP accorde aux exportations de ces combustibles à grand pouvoir calorifique¹. Le gaz naturel liquéfié (GNL), le méthanol et l'ammoniac liquéfié sont aisément transportables chez l'utilisateur qui ne peut être approvisionné par gazoduc².

Le transport du GNL par méthanier pourrait constituer la solution la plus économique à l'approvisionnement saisonnier, et pour alimenter les marchés très éloignés de la source d'approvisionnement³. Les plus grands d'entre eux peuvent absorber plus de 9,5 km³ de gaz par jour (1/3 TCF).

Les ventes internationales de GNL atteignent actuellement 800 M\$, et ce chiffre pourrait être décuplé d'ici 1985⁴.

L'Arctique, sauf pendant le court été, est recouvert de vastes étendues de glace. Dans un tel milieu, il est vital d'effectuer une planification à long terme, de préciser les moyens de ravitaillement et de mettre sur pied des transports efficaces. Plusieurs firmes industrielles et organismes nationaux ont dressé les plans de réseaux de transports différents. En dépit de la diversité évidente des orientations choisies, les coûts élevés des transports nécessitent une coopération étroite entre les secteurs intéressés⁵.

Au cours du bref été, la Garde côtière canadienne, principal protagoniste, «œuvre 24 heures par jour, escortant les navires de transport et d'approvisionnement jusqu'aux ports, agglomérations, stations de recherches et lieux de prospection pour les ressources dans l'Arctique»⁶. La présence de la Garde côtière répond à des impératifs nationaux⁷, et elle assume une charge à la fois étendue et concentrée⁸.

D'autres protagonistes sont les entreprises de prospection œuvrant dans la mer de Beaufort (la seule société active actuellement est la *Dome Petroleum Ltd.*) qui prévoient utiliser des brise-glaces pour faciliter les travaux de forage et prolonger la période d'activité estivale à quatre mois ou même plus⁹. Quand on aura rendu l'exploitation possible, les navires pourront peut-être transporter le pétrole et surtout le gaz, sous forme liquéfiée, jusqu'aux utilisateurs¹⁰. La mise en œuvre de ce moyen de transport repose largement sur l'utilisation d'une «locomotive marine», soit un brise-glaces polaire de classe 10. Il frayerait la route aux méthaniers pendant la saison de fort englacement et possiblement au cours d'une période atteignant huit mois.

Les incertitudes concernant l'emplacement ou l'envergure des gisements d'hydrocarbures connus et à découvrir dans l'Arctique et sous la mer rendront sans doute avantageux, et peut-être indispensable, le transport maritime du pétrole ou du gaz. On pourrait certainement envisager les options suivantes:

1° Transport de pétrole brut par¹¹:

- a) pétrolier brise-glaces
- b) pétrolier brise-glaces semi-submersible de type Catamaran
- c) pétrolier brise-glaces semi-submersible.

- 2° Transport du gaz naturel liquéfié par:
 - a) méthanier brise-glaces sans escorte
 - b) méthanier à coque renforcée, et escorté
 - c) brise-glaces remorquant une barge de GNL.
- 3° Transport du pétrole par «dracone» tirée par un remorqueur (cette dracone est un réservoir souple, en forme de saucisse, contenant du pétrole ou sinon dégonflé, pour remorquage sous-marin).
- 4° Transport du pétrole par gazoduc et pétroliers, tel le projet de la société Panarctic qui prévoit la construction d'un gazoduc de 25,4 cm de diamètre entre l'île Cameron et l'île Bathurst à l'est, et le transport par pétrolier géant jusqu'à un port en eau profonde des provinces maritimes.
- 5° Transport du pétrole par barge brise-glaces (p. ex., barge poussée par navire propulseur).
- 6° Transport du pétrole par pétrolier sous-marin pouvant circuler sous la banquise (tel celui projeté par la division des navires électriques de la société *General Dynamics*).
- 7° Transport du pétrole par sous-marin à propulsion nucléaire (p. ex., celui envisagé par la société *General Dynamics*).

Péto-Canada et l'*Alberta Gas Trunk Line Co., Ltd.* ont proposé la réalisation d'un projet-pilote de transport du GNL de l'île arctique de Melville jusqu'aux marchés canadiens et étatsuniens, en utilisant des barges auto-propulsées ou articulées à des navires propulseurs¹².

On estime que le gaz naturel constituera la principale cargaison du mode de transport maritime envisagé. Environ 70 pour cent des réserves de gaz découvertes dans l'Arctique sont au fond d'eaux recouvertes de glaces. Il est possible de raccorder de petits gisements de gaz, contenant de 55 à 115 km³ de gaz commercialisable, à des utilisateurs établis sur le littoral ou à un gazomètre, par un gazoduc ne dépassant pas de 250 à 325 km de longueur. Les gisements de gaz plus amples, de l'ordre de 170 à 340 km³, peuvent être desservis par des méthaniers sur les distances plus grandes. Si la distance n'est pas trop grande et le terrain trop accidenté, il est possible de construire des gazoducs transportant le gaz de gisements ne contenant que de 225 à 290 km³ de gaz. Mais il faut des réserves d'au moins 565 km³ de gaz pour justifier la construction d'un long gazoduc traversant un terrain accidenté¹³. Selon les conditions locales, le transport maritime du pétrole peut être intéressant si les réserves sous-marines atteignent de 50 à 150 Mt de brut.

Plusieurs sociétés pétrolières (p. ex. Tenneco Inc.) ont déjà exprimé leur intérêt pour l'importation de GNL au Canada, sa vaporisation (*regasification*) et son transport en tout ou partie vers les États-Unis¹⁴. Il serait possible d'utiliser en partie les installations de vaporisation et autres pour le GNL provenant de l'Arctique. Toutefois, la remise à plus tard de la construction du terminal gazier envisagé pourrait avoir des effets fâcheux sur l'échéancier de réalisation du projet de GNL de l'Arctique¹⁵.

Enfin, les sociétés d'exploitation et de transport du gaz ont indiqué qu'elles s'intéressaient à l'extension du gazoduc pour alimenter diverses agglomérations du Québec et des provinces maritimes en gaz naturel de l'Alberta¹⁶. Dans cette éventualité, il est évident que le marché du GNL de l'Arctique serait affecté de façon encore indéterminée.

Lignes de force technologiques

Voici quelles sont les questions posées par la démonstration du transport maritime des hydrocarbures de l'Arctique:

- a) Quelle quantité de pétrole, et particulièrement de gaz, y a-t-il dans l'Extrême-Arctique?
- b) À quel prix le gaz peut-il être distribué et vendu et quels sont ses coûts d'extraction, de transformation et de transport?
- c) Quels sont les coûts comparatifs du transport du GNL par méthanier, du transport du gaz naturel par gazoduc et de la filière méthanol? Y a-t-il des fonctions complémentaires concomitantes?
- d) À la lumière d'une ré-évaluation récente des réserves et des possibilités gazières de l'Ouest canadien, a-t-on trop retardé l'exploitation économique du gaz de l'Extrême-Arctique?
- e) Quelle est la valeur réelle de la souplesse du transport maritime pour la stratégie changeante d'approvisionnement en hydrocarbures?
- f) Les considérations écologiques et environnementales raisonnables constituent-elles un obstacle au transport du GNL en général, et dans l'Arctique en particulier?

Les solutions techniques aux problèmes matériels favorisent le transport maritime proposé:

- L'existence de gisements gaziers plutôt petits, situés sous des eaux en général englacées, largement séparés les uns des autres et à grande distance des consommateurs.
- L'évaluation économique du programme de mise en valeur est fortement entachée d'incertitude.

Voici donc les principales caractéristiques à conférer au transport maritime du gaz:

- 1° mise en œuvre progressive, souple et modulaire;
- 2° réalisation aussi tôt que possible;
- 3° simplicité et économie, mais aussi rusticité et sécurité;
- 4° très forte participation canadienne, compatible avec 2° et 3° ci-dessus.

Les éléments capitaux d'un programme de démonstrations sont les suivants:

1. Usines de liquéfaction du gaz

Il se peut que toute l'installation de liquéfaction puisse être montée sur des barges, dans une région méridionale au climat plus hospitalier. Il faudrait construire des installations d'envergure plutôt vaste, mais utilisant des procédés simples et du matériel fiable (p. ex. la réfrigération à cascade incorporée, des turbo-compresseurs à cycle simple et des compresseurs rotatifs). Il faudrait éviter la congélation des solutions aqueuses et utiliser des aciers spéciaux pour basses températures. L'emploi de matériels modulaires et mobiles offrirait un grand intérêt.

2. Installations portuaires de chargement

La sécurité de l'accès aux quais et le chargement du GNL dans des conditions fluctuantes, en climat arctique, poserait des problèmes complexes, mais résolubles.

3. Structure des bâtiments de transport du GNL¹⁷

Le choix du genre de bâtiment de transport posera de difficiles problèmes: on pourra hésiter, par exemple, entre un méthanier brise-glaces¹⁸ de classe 7 ou 10, un méthanier plus courant précédé d'un brise-glaces, et des barges auto-propulsées avec ou sans l'aide de navires propulseurs. De même faudrait-il optimiser le

rapport puissance/vitesse de l'ensemble navire propulseur-barge dans des conditions mal prévisibles.

4. Conception des méthaniers¹⁹

Voici quelques-unes des questions cruciales posées par les problèmes particuliers de l'Arctique, et qui nécessitent une attention spéciale:

- a) Forme du navire, coupe et structure de la coque et de l'étrave.
- b) Évaluation technique des cuves à GNL, et résistance aux chocs du navire contre la glace.
- c) Installations spéciales de manutention dans l'air et l'eau de mer à basses températures (p. ex. chargement, déchargement et transbordement éventuel d'un navire à l'autre).
- d) Tuyauteries et dispositifs de commande efficaces à bord; action du vent et du verglas sur les équipements du pont.
- e) Propulsion adéquate des méthaniers brise-glaces; genre d'hélice (à quatre pales, p. ex.).

5. Équipements du terminal

L'emplacement des installations jouera un rôle important. Il faudrait mettre en lumière certains paramètres cruciaux, et les évaluer en fonction de considérations économiques réalistes.

Ampleur de l'effort

1. Repères

- a) *Rapport annuel de Pétro-Canada — 1976*, p. 15:

«Les investissements de Pétro-Canada en 1976 ont été de 7 millions de \$, et incluaient les paiements requis pour égaliser la part de Pétro-Canada avec celle des autres participants».

Interprétation: Coût annuel d'une étude de faisabilité de la mise en œuvre préliminaire:

7 000 000/0,45 ≈ 16 000 000 \$.

Voir aussi *Petro-Canada Arctic Pilot Project*, 23 p.

- b) Proposition de la société Dome Petroleum Limited concernant la mise au point d'une chaîne intégrée de transport maritime dans l'Arctique, pages diverses.
- c) *The Shipment of Liquefied Natural Gas from Melville Island to the Eastern Seaboard*, Rapport intérimaire rédigé par Melville Shipping Ltd., avril 1977, 43 p.
- d) Panarctic Oils Ltd., *Rapport annuel de 1976*, p. 8. Projet-pilote du GNL — Étude des possibilités de commercialisation du GNL, peut-être suivie par une action de commercialisation.
- e) Requête de Lorneterm LNG Ltd. à l'Office national de l'énergie, vol. 1-3; requête de TransCanada Pipelines (New Brunswick) Limited; requête de Canadian Lowell Gas Ltd.; réponse à une demande d'information complémentaire, Tenneco LNG Inc.; interventions. Ce projet maintenant abandonné, constituait le volet canadien d'un programme coûtant 5,1 milliards de \$ pour le transport du gaz naturel liquéfié de l'Algérie jusqu'à Lorneville près de Saint-Jean, sa vaporisation et son acheminement par gazoduc raccordé au réseau de gazoducs de Tenneco, dans le Nord-Est des États-Unis.

- f) Compte rendu d'un séminaire sur le transport maritime du gaz naturel de l'Arctique, 21-23 février 1977, sous le parrainage conjoint du Conseil des sciences du Canada et du Conseil économique des provinces de l'Atlantique.
- p. 54: Coût d'une usine de liquéfaction d'une capacité quotidienne de 60 hm³: 400 000 000 \$
 - p. 234: Coût de l'aménagement du terrain et de la construction de l'usine de vaporisation: 316 000 000 \$
 - p. 79: Coût des méthaniers:
 - 125 000 m³ : 184 000 000 \$
 - 160 000 m³ : 245 000 000 \$
- g) Documents de travail d'un séminaire portant sur les chaînes de transport dans l'Arctique, Arctic Systems Conference, 18-22 août 1975, Université Mémorial, Saint-Jean de Terre-Neuve.
- h) M.J. Pikaar et A.C. Timmers, «Process Design Aspects of LNG Plants», X^e Conférence mondiale sur l'énergie, Istanbul, 19-23 septembre 1977, 12 p.
- i) D. Schmidt, «LNG Gasification Plants Combined with Gas Turbines», X^e Conférence mondiale sur l'énergie, Istanbul, 19-23 septembre 1977, 17 p.
- j) Notes d'une réunion interministérielle sur les aspects financiers et économiques du projet d'Arctic Petro-Carriers, 29 octobre 1977, abrégé 1 p.: Données techniques, frais annuels fixes et proportionnels, filières de remplacement et augmentation des coûts pour une forte contribution canadienne.
- k) A.A. Bruneau, communication du 27 février 1978: le jumelage de trois navires au lieu de deux permettrait de réduire les intérêts accumulés pendant la construction. La chaîne-pilote de transport du GNL pourrait acheminer régulièrement 7 hm³ de gaz par jour.

2. Calculs préliminaires

a) Étude d'ingénierie

En se fondant sur la moyenne des frais d'experts-conseils, exprimée en pourcentage du coût des usines, on obtient les chiffres suivants:

- installation portuaire et usine de liquéfaction du gaz: 55 000 000 \$
- méthaniers: 48 000 000 \$
- installations de vaporisation*: 34 000 000 \$

Coût total 137 000 000 \$

b) Coût approximatif de la démonstration:

- Conception technique:
 - Acheminement quotidien moyen de 7 hm³, ou 2,6 km³ de gaz par année.
 - Trois méthaniers d'une capacité d'environ 100 000 m³ de GNL chacun, effectuant jusqu'à 15 navettes par année.
- Installations portuaires et usine de liquéfaction du gaz: 550 000 000 \$
- Les trois premiers méthaniers: 480 000 000 \$
- Installations de vaporisation et équipement du terminal: 340 000 000 \$

Coût total 1 370 000 000 \$

*Un terminal GNL de dimensions économiques peut coûter plus de 500 millions de \$ (tel le terminal de Lorneville au Nouveau-Brunswick; qui a coûté 636 M\$).

En raison des incidences économiques²⁰ favorables et dans l'hypothèse où la démonstration déboucherait sur une activité commerciale rentable, on estime qu'une part notable seulement du coût total de cette action-pilote, disons 35 pour cent, est à ventiler au compte de cette dernière.

Financement au titre de la démonstration	479 500 000 \$
Total général	617 000 000 \$*

Répartition chronologique de ce financement**

Voici une répartition illustrative de ce montant dans un cadre chronologique abrégé de 1979 à 1985:

1979	13 700 000 \$	- 10 pour cent des coûts de l'étude d'ingénierie
1980	47 950 000 \$	- 35 pour cent des coûts de l'étude d'ingénierie
1981	130 000 000 \$	- 55 pour cent des coûts d'ingénierie et de certains achats
1982	195 350 000 \$	- Contrats des organismes réglementaires et contrats conditionnels
1983	120 000 000 \$	- Contrats et travaux de parachèvement
1984	80 000 000 \$	- Travaux de parachèvement
1985	30 000 000 \$	- Travaux de parachèvement et commencement de l'exploitation
Total	617 000 000 \$	

Notes et bibliographie

Les considérations générales

1. «LPG — Growing Export Availability», *Petroleum Economist*, avril 1978, pp. 165-166.
2. (Robert Blair), «Foothills president optimistic — Pipeline extension predicted», *The Citizen*, Ottawa, 6 juin 1978.
3. Michael Swiss, «LNG 5 call for gas investment to plug energy gap» — Lors de la V^e Conférence de Düsseldorf sur le GNL, les participants ont décrit l'ampleur des réserves connues de gaz naturel, et demandé qu'on fasse des investissements dans les lignes de transport du GNL, pour en accélérer la mise en œuvre, *Energy International*, novembre 1977, pp. 36-38.
4. (Monte Canfield), «Halt upheld to "perilous" gas plants», *The Citizen*, Ottawa, 22 février 1978.
5. «LNG Safety: A Matter of Scale» *Technology Review*, février 1978 pp. 56-57; «No Offshore LNG Ports», *Technology Review*, janvier 1978, p. 25.
6. Ken Webb, «A ship for all seasons», *North*, mai-juin 1978, pp. 20-27.
7. Yuri Filatov, «Arktika at the North Pole», *North*, mars-avril 1978, pp. 16-21; Yari Shnitnikov, «Soviet icebreaker reaches the North Pole», *Canadian Geographic Journal*, février-mars 1978, pp. 34-37.
8. Keith Hindley, «A breakthrough for Canadian Icebreakings», *New Scientist*, 25 mai 1978, pp. 502-503; «New icebreakers include Arctic bulk carrier», *Arctic and Northern Development Digest*, mai-juin 1978, p. 14; «Going nuclear to break the ice», *New Scientist*, 27 avril 1978, p. 235; Ken Webb, *op. cit.*
9. «Dome receives bids for icebreaker», *Oilweek*, 23 février 1978, p. 22.
10. *Ibid.*: Jeff Carruthers, «Dome thinks Arctic crude oil tanker system would be cheaper than pipeline», *The Globe and Mail*, 23 novembre 1977, p. B5.
11. Robin Burton, «Breaking the Arctic Ice», *North*, mars-avril 1977, pp. 32-35.
12. «LNG Pilot has far reaching implications», *Energy Analysts*, 6 mai 1977, p. 2; «Petro-

*chiffre arrondi

**Le transport maritime des hydrocarbures offre l'avantage d'une mise sur pied rapide de la chaîne de transport dans des conditions d'incertitude extrême au sujet de l'envergure et de la répartition des gisements éventuels. Les retards semblent donc antiproductifs; «Dome icebreaker date delayed», *Oilweek*, 16 octobre 1978, p. 10.

- Canada, AGTL defer LNG transport project decision», *Oilweek*, 24 juillet 1978, 17 p. «Petro-Canada offers to finance proposed Dome Arctic Icebreakers», *Oilweek*, 22 mai 1978, p. 4
13. «Pipeline from Arctic Islands being studied», *Oilweek*, 28 février 1977, p. 36.
14. Ross Ingram, «The Liquefied Natural Gas Terminal near Saint-John, N.B. — A Highly Explosive Issue», *The Atlantic Advocate*, août 1977, pp. 8-10.
15. «Lorneville LNG in limbo», *Oilweek*, 24 juillet 1978, p. 12; «N.B. puts on brave face after Algerian gas sales: Development hinges on Algerian decision: N.B. may lose huge gas project», *The Citizen*, Ottawa, 5 et 6 juillet 1978.
16. Voir référence 2; «Gas producers differ on pricing problems, expansion of markets», *The Citizen*, Ottawa, 29 mai 1978.

Voir également

- «Dome icebreaker date delayed», *Oilweek*, 16 octobre 1978, p. 10.
- «Icebreaker is aground», *The Citizen*, Ottawa, 8 novembre 1978.
- Ralph L. Keeney, Ram B. Kulkarni et Keshavan Nair, «Assessing the Risk of an LNG Terminal», *Technology Review*, octobre 1978, pp. 64-72.
- «Lorneville LNG terminal proposal faces problems», *Oilweek*, 23 octobre 1978, p. 39.
- «Methanol plant wants to barge in», *Chemical Week*, 24 mai 1978, p. 31.

Lignes de force technologiques

17. Panarctic Oil Ltd., *Neuvième rapport annuel 1976*, 21 p.
18. Selon un communiqué non encore confirmé, la société Dome Petroleum a déjà sollicité des soumissions pour la construction d'un brise-glaces de classe 10 au prix de 100 M\$ pouvant ouvrir des nappes de glace épaisses de 3 m. Communiqué de William Richards lors de la réunion de la Petroleum Tax Association à Banff, à l'automne de 1977.
19. Walter L. Lom, *Liquefied Natural Gas*, John Wiley and Sons, New York, 1974, 178 p.

Voir également

- «Arctic LNG pilot project to have maximum Canadian content», *Oilweek*, 13 février 1978, p. 15.
- «Arctic shipbuilding opportunity — Canadian yards could lead world», *The Citizen*, Ottawa, 8 février 1978.
- (Kevin Milne), «Arctic LNG Transportation Examined», American Association of Cost Engineers, Calgary, 16 mars 1978, abrégé, 1 p.
- «Dome stalls decision on icebreaker», *The Citizen*, Ottawa, 25 avril 1978.
- Edgar J. Dosman, «The Marine Mode: Oil, Gas and Arctic Shipping», *Alternatives*, juin 1978, pp. 17-25.
- «Icebreaking tankers touted by shipbuilding consortium», *Oilweek*, 14 novembre 1977, p. 9.
- H. R. Miller, *The arctic pilot project: a pipeline — marine transportation system for LNG from the Canadian Arctic Islands to the eastern seaboard of North America*, 1978, 23 p.
- Stuart S. Peters, «Arctic Gas via the Marine Mode — Its Properties and Potential Value to Atlantic Canada», XCII^e Conférence annuelle de l'Institut des ingénieurs du Canada, Saint-Jean de Terre-Neuve, 24-27 mai 1978, Crosbie Group Limited, 1978, 10 p.
- «The super-superships: A plan to carry Arctic gas», *Financial Times of Canada*, 28 février 1977, p. 14.

Ampleur de l'effort

20. M. Gibbons et R. Voyer, *Un mécanisme de prospective technologique — Le cas de la recherche du pétrole sous-marin sur le littoral atlantique*, Étude de documentation n° 30, Conseil des sciences du Canada, Information Canada, mars 1974, 114 p.; Choix d'exposés documentaires, rédigés pour le Colloque de l'Institut de recherche sociale et économique, 1974, sur les répercussions possibles, à Terre-Neuve, de la mise en valeur des hydrocarbures sous-marins. Les auteurs de ces exposés sont des consultants, des fonctionnaires et des universitaires; M. J. Scarlett, dir. de publ., *Consequences of Offshore Oil and Gas — Norway, Scotland and Newfoundland*, publication de l'ISER, Université Memorial, Saint-Jean de Terre-Neuve, 1977.

3. Démonstration d'un potentiel technique de prospection et d'exploitation des hydrocarbures dans les eaux océaniques profondes

Contexte scientifique et technique

Voici brièvement quelques justifications de la mise au point, d'un potentiel de prospection et d'exploitation des hydrocarbures dans les eaux océaniques profondes; il permettra:

1° de vérifier les concepts scientifiques pouvant contribuer à l'évaluation globale des ressources maritimes éventuelles en hydrocarbures (telles la tectonique des plaques, la surrection continue de volcans dans la Ceinture de feu du Pacifique, la théorie de l'origine des tremblements de terre au Japon¹). La confirmation de ces théories ne peut être obtenue que grâce à des forages sous-marins profonds, et en se basant sur des données juste acquises, on peut effectuer des études régionales plus valables sur les processus littoraux de sédimentation et d'accumulation de quantités exploitables d'hydrocarbures. Ces vérifications, bien que peu nombreuses et effectuées à de longs intervalles, pourraient ultérieurement faciliter la cartographie des structures géologiques profondes par prospection sismique.

2° d'évaluer opportunément les ressources potentielles en hydrocarbures, l'adéquation des programmes de forage et d'exploitation, et la rentabilité effective de l'exploitation des hydrocarbures des profondeurs marines, laquelle exige de longs délais de mise en œuvre et présente des défis à relever, en même temps que des aléas. Par exemple, les forages d'exploration au large de Terre-Neuve et du Labrador, et vers le nord jusqu'à la baie de Baffin, s'effectueraient dans des eaux atteignant de 1 000 à 2 000 m de profondeur.

3° de maintenir la validité des droits afférents dans les eaux très profondes le long des frontières du Canada et des limites des provinces².

Évidemment, le Canada ne peut exercer ses droits en cette matière en s'étayant exclusivement sur les sources internationales de technologie. La maîtrise de la zone maritime large de 200 milles (370 km) ou du plateau continental s'étendant jusqu'au «Flemish Cap», à 650 km à l'est de Terre-Neuve, exige qu'on détermine avec réalisme la position exacte des vedettes de patrouille, tout comme celle des gisements pétroliers et gaziers. En outre, l'exploitation ultérieure des hydrocarbures des eaux profondes exigera l'établissement de couloirs de circulation obligatoire aux abords des plateformes et l'interdiction du chalutage le long des oléoducs et gazoducs sous-marins.

L'acquisition opportune d'un potentiel de prospection et d'exploitation des hydrocarbures des grandes profondeurs océaniques serait facilitée par diverses activités, dont certaines sont plus pertinentes que d'autres. La panoplie de ces activités constitue un programme de lancement complet, et lui fournit un soutien technique général.

Les voici:

1. *Réalisation d'études de référence sur l'environnement*³. Il faut qu'elles soient conçues en fonction des besoins, et menées à bien sans retard dans toutes les régions concernées y compris l'océan. Les principaux domaines à couvrir sont les hydrocarbures, les transports et la pêche. Les mesures anti-marées noires à étudier comprennent leur repérage, leur confinement et leur nettoyage. Les longues périodes de mauvaise visibilité, particulièrement le long du littoral atlantique, causent de sérieuses préoccupations, en raison des risques de collisions encourus par les pétroliers, et donc des graves répercussions sur le milieu marin. L'incidence possible des marées noires sur les pêcheries exigent que les études de référence

comprennent logiquement des relevés physiques et biologiques, et particulièrement un recensement de la faune marine. Après les répercussions d'environnement, ce sont les effets du climat sur le comportement et la santé des travailleurs qui constituent des facteurs ambiants physiques et biologiques d'importance. Il faut prendre également en considération les incidences sociales, tels les effets des activités pétrolières et gazières sur les Autochtones et les gens de l'extérieur, ainsi que celles des modifications et de l'intensification des rapports interpersonnels.

2. *Rassemblement d'importantes données océaniques et météorologiques apparentées, grâce à leur recueil constant et exhaustif et à l'échange rapide d'information**. Il faut que les données hydrographiques et météorologiques soient aisément accessibles.

En premier lieu, une appréhension des bases de l'hydrographie est indispensable pour la conception, la construction et l'exploitation des installations de forage, et particulièrement d'extraction du pétrole des grandes profondeurs marines. Entre autres, l'hydrologie envisage les vents, la houle, les courants de marée et les courants résiduels. Les données des relevés hydrographiques sont normalement publiées ou reportées sur des cartes nautiques fort utiles. Celles-ci montrent les courants, la pression atmosphérique, les températures de l'eau et de l'air, et d'autres paramètres de l'hydrographie du Canada. Le Service hydrographique canadien, bien articulé au réseau mondial d'organismes océanographiques*, pourrait recueillir et coordonner les données hydrographiques du pays tout en fournissant des données plus précises sur les régions marines intéressantes.

En second lieu, il est aussi nécessaire de recueillir des données sur le temps qu'il fait, car les conditions météorologiques sont aussi importantes que les conditions hydrographiques. Tous savent que la météorologie envisage des paramètres tels que la température de l'atmosphère, la pression barométrique, le degré hygrométrique, l'ennuagelement, la vitesse des vents, la visibilité et les précipitations de pluie et de neige. Selon l'emplacement géographique des travaux pétroliers, ce sont le Bureau météorologique de l'Atlantique à Halifax, le Bureau météorologique de l'Arctique à Edmonton, et, bien sûr, le Service national de l'environnement atmosphérique à Ottawa qui fourniront les données océanographiques, météorologiques et prévisionnelles. Le fonctionnement d'un vaste réseau de stations météorologiques automatisées exige la coordination et l'harmonisation des mesures courantes de toutes les données couplées (telles les données bathymétriques et climatologiques) avec leurs mesures périodiques, afin de fournir une information précise pour l'implantation des ouvrages, la navigation et les autres moyens de transport desservant les emplacements de travaux pétroliers et gaziers.

3. *Contraintes imposées aux opérations de forage et d'exploitation des hydrocarbures dans le milieu maritime boréal par la profondeur des eaux, la hauteur de la houle et le climat*. Il semble nécessaire de réaliser un programme de recherche permettant une coordination complète des diverses bases de données: environnementales, hydrographiques, météorologiques et autres. Il faut déterminer les meilleurs moyens pour recueillir, compiler et diffuser les renseignements existants et en cours de recueil au sujet des paramètres d'environnement, et les vérifier de préférence dans un centre d'information ou de répartition au service, non seulement des organismes officiels concernés, mais aussi de tous ceux qui s'occupent de planification des forages et de prospection pour les hydrocarbures en mer profonde: directeurs des travaux, concepteurs, ingénieurs, instituts de recherches et enseignants.

*Ce Service joue maintenant un rôle capital dans les activités de l'Organisation hydrographique internationale.

Il faut accomplir un effort concerté pour présenter systématiquement toutes les données pertinentes de façon cohérente. La surveillance climatologique exige des stations supplémentaires et une plus large utilisation des télémesures provenant, par exemple, de bouées et de satellites. De façon plus générale, il faut développer la climatologie de la houle, et articuler les études climatologiques et environnementales. Les moyens de télécommunications sont en outre, importants. La télédétection à l'infrarouge et le radar aéroporté à balayage latéral (SLAR) méritent peut-être une attention particulière. Les aides au navigateur et les méthodes de détermination de sa position exigent plus de précision. Les relevés hydrographiques constituent un service auxiliaire important. Les considérations géotechniques sont des facteurs déterminants pour l'ingénierie de la plupart des activités pétrolières (par exemple les terminaux maritimes). Finalement, il faut aussi inclure la recherche sur les matériaux utilisables en grande profondeur.

L'efficacité d'un programme de recherches d'uniformisation se fonde sur une documentation de base suffisante. Il faut donc souligner à nouveau la nécessité d'acquérir et d'articuler sans retard inutile des bases de données comparatives dans des domaines tels que l'environnement physique et biologique, l'hydrographie, la météorologie, la géologie générale, les données géotechniques et le comportement des matériaux. On devrait désigner le Centre d'information océanotechnique de Saint-Jean de Terre-Neuve pour coordonner les diverses bases de données.

4. *Les recherches fondamentales en sciences de la Terre, prospection géophysique, forage scientifique en mer et recueil de données géologiques.* Un projet réalisé dans le cadre du Programme de forage dans les profondeurs océaniques (*Deep Sea Drilling Project, DSDP*) a permis la mise au point de plusieurs techniques utiles⁵. Les forages à faible distance du littoral ont aidé à perfectionner les méthodes d'extraction de carottes de bonne qualité en profondeur⁶. L'exploration des grands fonds marins a introduit de nouveaux concepts d'exploitation minière en profondeur. Les activités actuelles du Programme scientifique international de forages sous-marins (*International Phase of Ocean Drilling*) portent principalement sur les zones géothermiques, les crêtes pré-littorales, les régions d'événements géothermiques et les fossés sous-marins profonds⁷. Le JOIDES (*Joint Oceanographic Institutions for Deep Earth Sampling*) assure la planification scientifique de ces programmes. Les États-Unis, la République fédérale d'Allemagne, l'Union soviétique, le Japon, la Grande-Bretagne, la France, le Danemark et l'Islande participent à ces programmes internationaux. Le Glomar Challenger a effectué les travaux de programme du DSDP pour la Fondation nationale des sciences des États-Unis⁸. Le Glomar Explorer, un plus gros navire d'utilisation très polyvalente, remplacera probablement le Challenger de l'Amirauté britannique⁹. Au Canada, l'Université Dalhousie de Halifax a participé au Programme international de forages dans les profondeurs océaniques, et on espère qu'elle coordonnera et harmonisera les données pour tout le pays¹⁰.

5. *Techniques complexes d'exploitation minière sous-marine, et développement du potentiel de prospection et d'extraction des hydrocarbures des profondeurs océaniques*¹¹. L'utilisation d'ordinateurs et de robots plongeurs, l'exploration des profondeurs par submersibles habités et l'exploitation minière sous-marine sont au nombre des techniques pertinentes. Voici les équipements et méthodes permettant d'accroître l'envergure des opérations d'exploitation des hydrocarbures sous-marins: dispositifs de recherche et de sauvetage sous-marins, équipement de plongée sous-marine profonde, méthodes perfectionnées de carottage sous-marin, véhicules sous-marins et méthodes d'utilisation, et divers équipements d'intervention sous-marine. De toute évidence, l'exploitation minière sous-marine constituera plus tard un élément important de la gestion des océans. Cependant ses techniques actuelles ont une portée limitée. Les profondeurs de l'ordre de 200 m constituent toujours un défi pour les plongeurs en eau profonde, et celles atteignant

de 300 à 500 m constituent des niveaux difficiles à atteindre; cependant les recherches avec caisson hyperbare ont permis la simulation des plongées à 500 m de profondeur et plus.

Il faut créer un centre d'information qui suivra les recherches en sciences de la mer et le développement des techniques d'exploitation minière sous-marine à l'étranger, et en diffusera les résultats. Elles permettraient de déterminer les caractéristiques bathymétriques, morphologiques et géotechniques locales (p. ex., les caractéristiques d'ingénierie), la sismicité et les paramètres des couches sédimentaires (géologiques, p. ex.). En outre, l'exploitation en sous-sol sous-marin permettrait de recueillir des données sur les structures géologiques profondes, la stratigraphie et le socle rocheux.

Lignes de force des forages de prospection et de l'extraction

Sur le plan de la gestion, il est important d'établir un juste équilibre entre la planification et l'utilisation des données procurées par la R, D & D en matière de techniques nouvelles d'exploitation des hydrocarbures des grandes profondeurs océaniques¹². Certains travaux de recherche n'ont pas de spécificité géographique, alors que d'autres ne produisent des résultats valables, ou même ne sont possibles, qu'après fixation des paramètres locaux (tels les paramètres géologiques, dont l'importance est cruciale). On a élaboré des techniques et conçu des navires de forage à grande profondeur fonctionnant dans des conditions fort différentes. Il est possible de planifier en détail les forages de prospection en extrapolant les performances du matériel existant. La planification est indispensable en raison des longs délais de livraison de ce dernier, et de la nécessité d'un approvisionnement fiable.

En matière d'extraction il est nécessaire de tenir compte des conditions climatiques, de la profondeur des eaux, du régime éolien et des caractéristiques de la houle, de la présence de glace, des pressions et des températures sous la surface, et des processus de corrosion. Les caractéristiques du gisement déterminent son emplacement, les méthodes d'extraction (p. ex., par puits éruptif), et les paramètres de conception. En outre, comme dans la plupart des domaines, il est difficile d'établir des priorités de R & D en matière d'extraction des hydrocarbures en l'absence de données comparatives sur les performances et l'expérience obtenues ailleurs. Dans l'Atlantique-Nord, il faut un délai de cinq ans après la découverte du gisement pétrolier et sa délimitation pour mettre en place une plateforme fixe où débouchent plusieurs puits d'extraction, même dans des eaux de profondeur inférieure à 200 m. Pour réussir, la branche des hydrocarbures a besoin d'obtenir très tôt une autorisation de l'État pour la prospection des gisements en profondeur, afin de remédier aux longs délais nécessités par le développement des techniques de forage et, plus particulièrement, des équipements d'extraction.

Bien entendu, l'exploitation scientifique des installations géographiquement spécifiques se fonde sur la recherche fondamentale. L'effort de R & D permet de mettre au point des dispositifs de prévention, d'atténuation, de secours et d'autres dispositifs de protection. La recherche appliquée s'effectue surtout dans le cadre des projets-pilotes sur place. La réduction de la durée des phases de mise en valeur des hydrocarbures des eaux profondes dépend de l'effort actuel de R, D & D. En outre, le développement et la mise au point du matériel et des techniques d'extraction, de stockage et de transport des hydrocarbures sont indispensables. En particulier, l'économie de l'exploitation nécessite la mise en place d'oléoducs, de lignes de transport maritime, et l'utilisation de barges et autres bateaux auxiliaires. Il ne faut pas non plus sous-estimer la nécessité de l'entretien et de l'approvisionnement des installations en mer profonde, et les actions d'urgence.

Ce sont les événements inattendus qui causent les pires difficultés. Il faut disposer d'un potentiel technique complet d'intervention dans les eaux profondes, et s'attendre quand même à de sérieuses difficultés.

En résumé, le succès découle d'une association judicieuse des données géographiques spécifiques concernant la prospection, la mise en œuvre et l'exploitation du gisement¹³ et une surveillance constante d'une information sur les progrès réalisés à l'étranger afin de réduire les délais au strict nécessaire¹⁴.

Avant de décrire le contenu de la démonstration proposée, il serait utile d'examiner ce qui existe en matière de potentiel de prospection et d'extraction des hydrocarbures des profondeurs marines. Voici les moyens d'intervention dans les profondeurs océaniques maximales¹⁵:

1° Lors de forages de prospection, on peut utiliser des plateformes auto-élévatrices (*pick-ups*) jusqu'à la profondeur d'environ 100 m, sauf en cas de très mauvais temps saisonnier. Les navires de forage et les pontons submersibles peuvent forer au travers de 300 à 500 m d'eau dans l'Océan Arctique (p. ex., mer de Beaufort) quand il n'y a pas de glace. Les navires de forage à ancrage dynamique peuvent maintenant travailler à des profondeurs de 765 à 915 m. On estime que sept pontons peuvent effectuer des forages à des profondeurs de 1 000 m et plus. Le navire *Glomar Pacific*, de la société Exxon, effectue des forages à 125 m de profondeur, à 160 km au large du New Jersey. On a pu forer au travers de 1 054 m d'eau dans la mer d'Andaman, au large de la Thaïlande. La société Exxon fait forer à des profondeurs dépassant 1 200 m, au large du Surinam.

On construit des pontons qui pourront forer au travers de 1 500 m d'eau vers 1980. Les objectifs envisagés pour les quelques années qui viennent nécessiteront la mise au point de pontons capables de forer au travers de plus de 1 800 m d'eau.

2° Pour l'extraction, on utilise normalement des plateformes fixes implantées jusqu'à 180 mètres de profondeur dans l'Atlantique-Nord. D'ici quelques années, les plateformes pourront facilement être implantées à des profondeurs dépassant 300 m. Dans l'Océan Arctique (p. ex., la mer de Beaufort), des ouvrages coniques de béton ou d'acier pourront être établis à des profondeurs de 600 m, quand les conditions sont très favorables. Il est maintenant possible d'installer des «arbres de Noël» à des profondeurs de 370 à 460 m dans l'Atlantique-Nord. Ces têtes de puits télécommandées pourront être implantées à des profondeurs dépassant les 900 m après l'horizon 1980.

À la limite du plateau continental, à 235 km au large de la Nouvelle-Écosse, les forages doivent être effectués au travers de plus de 900 m d'eau (grâce, par exemple, au navire de forage à ancrage dynamique «*The Ben Ocean Lancer*»). À quelque 350 km plus loin vers l'Est, l'Océan atteint des profondeurs de 2 500 m, soit la hauteur de plusieurs tours du CN empilées l'une sur l'autre. En conclusion, il apparaît que les conditions canadiennes d'exploitation pétrolière exigent la mise sur pied d'un potentiel d'intervention s'approchant des normes internationales¹⁶.

Après ce tour d'horizon des lignes de force scientifiques, techniques et stratégiques, il semble qu'une démonstration en ce domaine devrait comprendre les volets suivants:

- 1° Octroi de permis de prospection et de forage, et de concessions maritimes d'hydrocarbures en fonction d'une politique canadienne d'exploitation des océans (telle la réglementation de l'exploitation au périmètre du plateau continental).
- 2° Mise au point de dispositifs de protection du milieu océanique pour le forage en eaux profondes.
- 3° Évaluation harmonisée de plusieurs ensembles de forage pour la prospection des hydrocarbures sous contrat de l'État (p. ex. de Pétro-Canada).

- 4° Choix d'un ou préférablement de plusieurs ensembles de forage (tels les navires de forage ou les pontons semi-submersibles à ancrage dynamique) afin de les perfectionner encore, de les adapter et de les mettre à l'essai dans les conditions rigoureuses qui prévalent sur le plateau continental canadien.
- 5° Évaluation des techniques de parachèvement des puits et des robots immergés d'exploitation télécommandée (tels les dispositifs sécuritaires de raccordement et de dégagement).
- 6° Évaluation des plateformes mobiles d'exploitation.
- 7° Mise au point de moyens de transport sécuritaires pour l'acheminement des hydrocarbures des puits profonds jusqu'au littoral.

La profondeur croissante des eaux où l'on fore exige des progrès techniques, tels: a) un ancrage dynamique plus précis des navires de forage; b) une conception poussée des tubes télescopiques de protection et c) des dispositifs fiables de télécommande du robot d'exploitation immergé. Les obturateurs anti-éruption deviennent de plus en plus complexes et dispendieux. Les limitations naturelles de la télécommande d'opérations au fond des eaux sont également cruciales.

La mise au point d'ensembles de forage adéquats devra être suivie par la décision d'effectuer systématiquement la prospection des hydrocarbures sous-marins, ou tout au moins y être associée. De plus, pour établir un juste équilibre entre planification et utilisation de l'information recueillie, il faudrait que l'effort de prospection des hydrocarbures sous-marins soit effectué indépendamment de la prise de décisions sur les méthodes d'exploitation éventuelle de ces derniers, et avant cette décision. Cette considération importante exige qu'on s'y intéresse.

Ampleur de l'effort

1. Repères

- a) On peut trouver les renseignements pertinents dans les ouvrages suivants:
 - *The New Adventurers*, Standard Oil Company, New Jersey, 8 p.
 - Compte rendu de l'Offshore Technology Conference, Houston, Texas, mai 1969, Bibliothèque de C-CORE, Université Mémorial, Saint-Jean de Terre-Neuve.
 - D.E. Kash et coll., *Energy Under the Oceans: A Technology assessment of outer continental shelf oil and gas operations*, University of Oklahoma Press, 1973, 378 p.
 - SIO-Scripps Institution of Oceanography, Université de la Californie, San Diego, *Rapport annuel pour 1974*, 68 p.
 - John R. Graham et John A. Reed II, «Deep Sea Drilling Vessel», *Journal of Petroleum Technology*, octobre 1969, pp. 1263-1274.
 - Robert H. Macy, «Mobile Drilling Platforms», *Journal of Petroleum Technology*, septembre 1966, pp. 1069-1081.
 - Robert C. Minton, «Review of Procedures after Four Years Experience in Floating Drilling», *Journal of Petroleum Technology*, février 1967, pp. 167-174.
 - A.M. Rigg et coll., «A subsea Completion System for Deep Water», *Journal of Petroleum Technology*, septembre 1966, pp. 1049-1054.

- L.B. Curtis et James C. Shepler, «Dubai Khazzan — Pioneer of Large Undersea Storage Systems», *Journal of Petroleum Technology*, septembre 1970, pp. 1065-1074.
 - John P. O'Donnell, «Pipeline problems in the North Sea get solutions after costly research efforts», *Offshore*, octobre 1975, pp. 69-71.
 - «Subsea Systems Now Ready», *The Petroleum Economist*, mai 1974, pp. 183, 186-187.
 - «Une stabilité à toute épreuve — Plateforme à flotteur annulaire», Sociétés ERNO — Raumfahrttechnik de Brême, Seighold de Bremerhaven et IMS de Hambourg, *Technical Information 1977*, 2 p.
 - D.A.L. Jenkins et coll., «Advances in the Search for and Recovery of Hydrocarbons and Coal», X^e Conférence mondiale de l'énergie, Istanbul, 19-23 septembre 1977, 26 p.
 - J. Bosio, «A Turning Point for Offshore Technics: A Flexible Link Between the Fixed Bottom and the Moving Surface of the Sea», X^e Conférence mondiale de l'énergie, Istanbul, 19-23 septembre 1977, 20 p.
 - «New technology being perfected for Arctic Subsea Production system», *Oilweek*, 12 septembre 1977, pp. 12-23.
 - Kenneth O. Emery, «Woods Hole Oceanographic Institution, Offshore Oil: Technology . . . and Emotion», *Technology Review*, février 1976, pp. 30-36.
 - Robert J. Stewart, «Department of Ocean Engineering, MIT, Oil Spills and Offshore Petroleum», *Technology Review*, février 1976, pp. 47-60.
 - Stephen F. Moore, «Offshore Oil Spills and the Marine Environment», *Technology Review*, février 1976, pp. 61-67.
- b) *Rapport annuel de 1976 de Pétro-Canada*, p. 9; interprétation: Relevés géologiques et sismiques: 5 M\$ par puits; forages de prospection: 15 M\$ par puits.
- c) *Oilweek*, 4 avril 1977, p. 19 «North Sea Operations: Cost of one production platform: \$68 000 000, cost of new concrete gravity platform, biggest in the world: \$120 000 000».

d) Communiqué d'Énergie, Mines et Ressources Canada, 11 février 1977: Enveloppes fédérales de R & D énergétique (1976-1978):

	1976-1977		1977-1978	
	M\$	(%)	M\$	(%)
Combustibles fossiles	14,0	(11,0)	(15,5)	(11,3)

2. Calculs préliminaires

a) Programme de sécurité écologique

Cinq ans de recherches par deux groupes disposant chacun d'un budget annuel de 350 000 \$:	3 500 000 \$
Mise au point de l'équipement:	2 500 000 \$
Total:	6 000 000 \$

b) Évaluation technique de trois ensembles de forage:

Trois années d'analyse par trois équipes de quatre spécialistes avec personnel

auxiliaire, disposant chacune d'un budget de 325 000 \$:
2 925 000 \$

- c) *Démonstration de deux ensembles de forage:*
Forage de cinq puits pour chacun des deux ensembles, et améliorations nécessaires:
2 × 5 × 25 M\$ = 250 000 000 \$

La part au titre de la démonstration pourrait atteindre 40 pour cent du total, en raison des aléas et des risques élevés à encourir; cependant, l'effort d'innovation et le processus d'acquisition du savoir-faire n'entraveraient guère les travaux de forage. En utilisant ce pourcentage, on obtient
0,4 × 250 000 000 ou 100 000 000 \$

- d) *Évaluation finale et suivi d'utilisation:* 1 700 000 \$
Total général 111 000 000 \$*

Ce programme ne constitue que la première phase de la démonstration du potentiel de prospection et d'exploitation des hydrocarbures dans les profondeurs océaniques. Il faudrait tout au moins faire la démonstration des techniques d'exploitation géographiquement les plus spécifiques, en fonction des découvertes d'hydrocarbures en eau profonde.

Échéancier

Voici, à titre illustratif, la répartition chronologique de la part au titre de la démonstration du potentiel de prospection et d'exploitation des hydrocarbures en eau profonde.:

1979	700 000 \$
1980	1 675 000 \$
1981	6 825 000 \$
1982	19 000 000 \$
1983	34 300 000 \$
1984	34 300 000 \$
1985	14 200 000 \$
Total	111 000 000 \$

Notes et bibliographie

Les lignes de force scientifiques et techniques

1. J.R. Heirtzler et J.F. Grassle, «Deep-Sea Research by Manned Submersibles», *Science*, 15 octobre 1976, pp. 294-299; «Glomar Challenger Collects Pacific Data», *Oilweek*, 5 décembre 1977, p. 71; C.A. Williams, «Scientific plans for deep sea drillings», *Nature*, 15 janvier 1976, pp. 83-86; Richard A. Kerr, «Seawater and the Ocean Crust: The Hot and Cold of It», *Science*, 9 juin 1978, pp. 1138-1141, 1187.
2. Ian Reid, «Canada under the Sea», *Electronics and Communications*, janvier-février 1978, pp. 20-23; K.E. Rosing, «Political economics of offshore oils», *Natural Resources Forum*, vol. 2, 1978, pp. 229-239.
3. *Technology Assessment and the Oceans*, P. Wilmot et Aart Slingerland, dir. de publ., IPC Science and Technology Press, Guildford, 1977, 259 p.
4. «Scientists plan quick swap of sea data», *Lubecker Nachrichten*, 12 mars 1978.

*chiffre arrondi

5. Susan West, «DSDP: 10 Years After», *Science News*, 24 juin 1978, pp. 408-410; Peter Wilminiss, «Deep ocean drilling — what future?», *New Scientist*, 6 juillet 1978, pp. 10-12; Allen L. Hammond, «Deep Sea Drilling: Entering a New Phase», *Science*, 16 janvier 1976, pp. 168-169; Dean A. McManus, *Ocean Drilling at Crossroads*, Canadian Society of Exploration Geophysicists, Calgary, février 1978, abrégé 1 p.; Richard A. Kerr, *op. cit.*; C.A. Williams, *op. cit.*

6. Richard A. Kerr, *op. cit.*

7. Yves Lancelot, «Forages sous-marins: IPOD», *La Recherche*, juillet-août 1976, pp. 664-666; «Pacific deep drilling probes new hydrothermal deposits», *Oilweek*, 15 août 1977, p. 2.

8. *Oilweek*, du 15 août au 5 décembre 1977, *op. cit.*

9. «Can mining be made seaworthy?», *Chemical Week*, 22 février 1978, p. 43; Richard A. Kerr, *op. cit.*; Susan West, *op. cit.*

10. «Dalhousie Participating in International Deep-Sea Drilling Projects», *Ottawa, R & D*, vol. 5, 1978, p. 8.

11. «Changing Profile of Deep-Sea Miners», *Science*, 2 juin 1978, p. 1030; *Chemical Week*, 22 février 1978, *op. cit.*; J.R. Heirtzler et J.F. Grassle, *op. cit.*; Ian Reid, *op. cit.*; «Non-technological barriers continue to hold back deep-ocean mining», *C & EN.*, 5 décembre 1977, pp. 24, 27; A. Lee, «On the water masses of the Northwest Atlantic Ocean», *Deep Sea Research*, vol. 14, 1967, pp. 183-190; Colin Norman, «Discovering of Earth's Secrets — For a Price», *Technology Review*, juin 1977, pp. 8-9, 17.

Lignes de force des forages de prospection et d'exploitation

12. A.E. Hopkin, directeur des programmes spéciaux, Shell Canada, Calgary, communication du 8 décembre 1977.

13. J.J. Bardgette, «A deep water platform in the Santa Barbara channel», *Journal of Petroleum Technology*, avril 1978, pp. 498-506; «Drilling for Energy: Technological Limitations and Opportunities», *News Report*, octobre 1976, pp. 1, 4-5; «Drilling for Energy Resources», Comité spécial de technologie des forages pour les ressources énergétiques, Commission de génie énergétique, Assemblée du génie, National Research Council, Energy Engineering Board, 1976, 67 p.; *OCS (Outer Continental Shelf) Oil and Gas: An Assessment of the Department of the Interior Environmental Studies Program*, Comité d'évaluation des études écologiques sur le périmètre du plateau continental, Sous-commission des études d'environnement, Commission des ressources naturelles, National Research Council — National Academy of Sciences, rapport ISBN 0-309-02739-x, Washington, 1978, 123 p.; J.A. Ruhl, «Offshore platforms: Observed behaviour and comparison with theory», *Journal of Petroleum Technology*, avril 1978, pp. 638-648; David D. Smith et Katherine F. Graham, «Outer Continental Shelf Operating Regulations», *Science*, 23 décembre 1977, pp. 1202, 1289; «Well offshore Newfoundland could be world record», *Energy Analects*, 2 décembre 1977, p. 3.

14. «A computer-controlled undersea work system», *Arctic Digest*, janvier-février 1978, p. 23; Deep-Sea Oil-Production Structures, réunion du 23 au 27 janvier 1978. Cours post-universitaire de génie, Université de Berkeley, Californie, «Factors affecting, and details of design, fabrication, installation and maintenance of deep-sea oil-production structures»; «Lockheed conducts shallow trials for subsea service diving capsule», *Oilweek*, 8 mai 1978, p. 3; *Ocean industry 1977 — Directory of marine scientists in Canada*, Comité canadien d'océanographie, 1978, 70 p.; «Structural Analysis Vital in Design of Offshore Oil Platforms», *Cybernet Europe*, 3^e trimestre, 1977, pp. 1-2; «Subsea giant looking North for its growth», *Arctic & Northern Development Digest*, mai-juin 1978, p. 5; *Subsea Petroleum Systems*, Lockheed Petroleum Services Ltd., 610 Derwent Way, New Westminster, C.-B.; «Sub-Sea Production Chambers», *Journal of Petroleum Technology*, Montréal, avril-juin 1977, p. 117; «Tower designed to ride giant waves», *Offshore Engineers*, n° 5, 1978, p. 109; *Vendor profiles of suppliers to the offshore industry*, Sweden International Offshore intelligence, 1977, 31 p; *Worldwide directory of offshore contractors and equipment*, Petroleum Publishing Company, Tulsa, 1978, 408 p.

15. E.A. Hopkins, *op. cit.*; *Ocean Petroleum Resources, Rapport du National Petroleum Council*, rédigé par le Comité des richesses pétrolières de l'océan auprès du Conseil national du pétrole, sous la présidence de Wilton E. Scott; sous-comité de coordination sous la présidence de Cecil T. Olmstead, mars 1975, p. 19.

16. *Energy Analects*, 2 décembre 1977, *op. cit.*

Voir également

A.J. Burnell, «Drilling in deeper waters, why not a semi-submersible production unit?», *International Petroleum Times*, vol. 82, n° 2072, 1978, pp. 15-16.

- H. Butler, «Techno-economic appraisal of offshore production systems for oil and gas», *Society for Underwater Technology Journal*, vol. 4, 1978, pp. 4-8.
- A. Castela, «Deepwater drilling. Part 1: Technical and economic factors», *Ocean Resource Engineering*, vol. 12, n° 2, 1978, pp. 14-19.
- «Drilling begins off Atlantic coast; Exxon's rig Glomar Pacific some 160 kilometers off New Jersey», *The Citizen*, Ottawa, 25 avril 1978.
- «Esso drills in Newfoundland», *The Citizen*, Ottawa, 24 novembre 1978.
- G.C. Lee, «Deep thoughts on conventional concepts», *Offshore*, vol. 38, n° 4, 1978, pp. 90-98.

Le charbon

1. Démonstration des techniques de combustion en lit fluidisé

Le contexte international

C'est à l'étranger qu'on développe actuellement, pour diverses raisons, les techniques de combustion en lit fluidisé et ses procédés annexes, avec un succès plus ou moins grand. Plusieurs pays industrialisés, dont l'Autriche, la Belgique, l'Allemagne occidentale, l'Italie, le Japon, les Pays-Bas, l'Espagne, la Suède et les États-Unis ont signé un accord de réalisation d'un projet de perfectionnement des techniques charbonnières dans le cadre des programmes de l'Agence internationale de l'Énergie¹. Le projet est surtout en cours de réalisation au Royaume-Uni. Un volet important de ce projet porte sur les techniques de combustion en lit fluidisé sous pression. Plus précisément, une action de l'Agence internationale de l'Énergie débutant actuellement porte sur la conception, la construction et l'exploitation d'une installation expérimentale polyvalente permettant d'étudier les processus de combustion, de flux de chaleur, de décrassage, de corrosion et de récupération d'énergie dans une installation de combustion en lit fluidisé sous pression. On essaiera aussi la production conjuguée (ou bivalente) d'énergie avec des turbines à gaz et à vapeur, car le dessin initial du générateur de vapeur prévoyait l'addition d'une turbine à gaz. Les résultats obtenus à Grimethorpe, au Yorkshire, par l'organisme britannique chargé de ces essais, étayeront la conception ultérieure d'installations d'envergure commerciale.

En raison de l'effort de recherche et de développement technique accompli à l'étranger et de l'éventail diversifié des orientations suivies, il semble peu probable qu'on puisse mettre au point une technique pertinente au Canada, ou même qu'on doive le faire. Cependant, il faut nuancer cette conclusion.

Pour que le Canada soit en mesure de mettre à profit les possibilités que lui offrent ses réserves charbonnières, il faut que ses techniciens mettent au point des techniques efficaces et rustiques de transformation directe du charbon. Celles de la combustion en lit fluidisé offre clairement des promesses. Elle procure des avantages par rapport aux techniques habituelles de combustion, en raison de la situation particulière du Canada, à la recherche d'énergies nouvelles et désireux de favoriser leur développement, particulièrement celui de la filière charbonnière. Voici quels sont les avantages éventuels des techniques de combustion en lit fluidisé pour le Canada, par ordre d'importance: ouverture de l'éventail des combustibles utilisables, réduction de la taille des installations et méthode efficace de limitation des rejets dans l'atmosphère.

Les spécialistes canadiens devraient suivre et évaluer les progrès réalisés à l'étranger en matière de techniques de combustion du charbon, et ils le feront très probablement. Mais il deviendra de plus en plus difficile pour les Canadiens d'œuvrer de concert avec les spécialistes d'autres pays à des réalisations commerciales particulières en ce domaine, en raison des objectifs particuliers du Canada, des lignes de force de son effort de R & D, et des rivalités économiques.

Au delà de cette évaluation technique des processus de combustion, il faudrait que les spécialistes canadiens analysent les techniques d'utilisation du charbon et le remplacement d'autres vecteurs énergétiques par celui-ci, tant sur le plan national (mise en valeur des sables bitumineux) qu'international (au Japon par exemple). En échange de cette contribution, il pourrait obtenir l'aide des spécialistes des pays très industrialisés en matière d'utilisation du charbon pour la récupération, la séparation et la valorisation du bitume et du pétrole lourd (tels

l'extraction des sables bitumineux à profondeur moyenne, la séparation non aqueuse ou presque des hydrocarbures dans de grands fours; leur dissolution dans des solvants; les diverses techniques d'hydrogénation, la récupération de chaleur et l'enrichissement à contre-courant).

Il est nécessaire que les Canadiens mettent sur pied un vaste programme en plusieurs phases, visant divers objectifs, pour montrer qu'il leur est possible, dans les limites des contraintes sociales et économiques, d'utiliser la combustion du charbon de façon efficace et sécuritaire, seul ou en association avec d'autres matériaux organiques². Les techniques de combustion en lit fluidisé permettraient sans doute de réaliser des groupes évaporatoires capables de brûler divers types de charbon et d'autres combustibles, de la lignite jusqu'à l'antracite, en accroissant peut-être le rendement thermique de 4 pour cent³. Pour la combustion du charbon à forte teneur en soufre, on y mélangerait du calcaire finement pulvérisé, qui fixerait chimiquement le soufre; c'est là l'objectif principal, sinon le seul, de la R, D & D sur la combustion en lit fluidisé réalisée aux États-Unis. La combustion à température plus faible qu'actuellement permettrait de réduire fortement les rejets d'oxydes d'azote dans l'atmosphère. C'est pourquoi, nous recommandons une démonstration complète des techniques de combustion en lit fluidisé pour préparer l'avenir et disposer ultérieurement de procédés de combustion souples et efficaces.

On peut envisager les étapes suivantes pour y insérer les activités de R, D & D nécessaires:

1. Énergie, Mines et Ressources Canada devrait, au cours de l'année prochaine, choisir une ou plusieurs firmes et les charger d'achever les études techniques préliminaires. Il faudrait étudier soigneusement l'application au Canada des solutions techniques mises au point aux É.-U. Initialement, les firmes choisies élaboreraient les avant-projets de centrales thermiques commerciales de 200 MW, et le projet technique d'une centrale-pilote tous usages. C'est au cours de cette étape qu'on délimiterait les domaines techniques à explorer pour réaliser la centrale-pilote. Un des objectifs à prendre en considération serait la production conjuguée d'électricité et de chaleur par des unités génératrices relativement petites. En même temps, un organisme indépendant ferait une prospective des incidences sur l'environnement.

2. L'étape suivante, qui couvrirait peut-être une année, permettrait la conception technique de la centrale-pilote. Contrairement à des espoirs répandus, il faut encore résoudre de difficiles problèmes d'ingénierie.

3. La construction de la centrale-pilote nécessiterait un à deux ans. Elle s'étayerait sur l'expérience acquise par la *B.C. Hydro* et Énergie, Mines et Ressources Canada.

4. Pendant une période d'essai de deux ans, on surveillerait le rendement de la centrale-pilote et on recueillerait les données permettant de procéder à la conception du prototype commercial. On essaierait divers genres de charbons (tels les charbons de qualités diverses de Colombie-Britannique, d'Alberta et de Saskatchewan, et les charbons fortement sulfureux de Nouvelle-Écosse).

5. On effectuerait une réévaluation et une mise au point finale des critères de conception commerciale, en fonction de l'expérience acquise avec la centrale-pilote.

L'objectif à long terme du projet-pilote modifié est de faire la démonstration d'un ou plusieurs types d'unités génératrices commerciales de dimensions pratiques, utilisant du charbon dans les conditions d'approvisionnement et de transport prévalant au Canada. La technique de combustion en lit fluidisé permettrait

ultérieurement d'utiliser toute une gamme de combustibles, particulièrement charbons fortement cendreux et à faible rendement thermique, déchets d'exploitation forestière, sables bitumineux et bitumes d'Alberta et schistes pétrolifères du Nouveau-Brunswick.

La collaboration à l'effort de R & D d'autres pays industrialisés et l'utilisation de leurs propres ressources techniques permettraient aux Canadiens de réaliser un prototype de centrale en moins de six ans, et peut-être d'en faire la commercialisation dès le début d'une pénurie réelle d'hydrocarbures, et de l'envolée des prix du gaz naturel et plus particulièrement du pétrole brut.

Ampleur de l'effort

1. Repères

- a) On peut trouver des renseignements pertinents dans les publications suivantes:
- Garnet T. Page, directeur général, Association charbonnière canadienne, «The Role and Utilization of Conventional Energy Sources», Forum canadien sur l'énergie, Halifax, 4-5 avril 1977, 9 p.
 - P.F. Fennelly, H. Klemm et R.R. Hall, «Coal burns cleaner in a fluid bed . . .», *Environmental Science & Technology*, mars 1977, pp. 244-248.
 - Allan Piper, «Flashes in ashes, Program of IEA», *Nature*, 9 septembre 1976, pp. 86-87.
 - D.P. Burke, «FBC may be a better way to burn coal» *Chemical Week*, 22 septembre 1976, pp. 24-28.
 - Allen L. Hammond, «Coal Research: I, II, III and IV», *Science*, 20 août 1976, pp. 665-704; 27 août 1976, pp. 750-753; 3 septembre 1976, pp. 873-875 et particulièrement 8 octobre 1976, pp. 172-220.
 - Le compte rendu de la Conférence internationale sur la combustion sur lit fluidisé, réunié sous les auspices de l'Institute of Fuel, contient une bibliographie détaillée sur la combustion en lit fluidisé. Londres, 15-16 septembre 1975.
 - Roger F. Naill, Dennis L. Meadows et John Stanley-Miller, École des ingénieurs de Thayer, Collège de Dartmouth, «The Transition to Coal», *Technology Review*, octobre-novembre 1975, pp. 19-29.
 - R.P. Ouellette, The Mitre Corporation, *Coal—The Black Magic*, Rapport M-170, septembre 1972, 51 p.
- b) X^e Conférence mondiale de l'énergie, Istanbul, 19-23 septembre 1977:
- C.H. Smith et R.B. Toombs, *Development of Conventional Energy Resources*, 21 p.
 - K. Knizia, *Improvements of the Energy Conversion Technique*, 22 p.
 - A.D. Dainton et O.C. Finlayson, *Fluidized Combustion of Low Quality Fuels*, 21 p.
 - D.S. Montgomery, I.I. Inculet, M.A. Bergougnou et J.D. Brown, *Electrostatic Fluidized Bed Techniques Applied to the Beneficiation of Canadian Coals and Fly Ash*, 23 p.

- «On some questions concerning the operation of the member countries of the Council of Mutual Economic Assistance in the field of utilizing low-calorie fuels for electric power generation», par le Secrétariat du Conseil d'aide économique mutuelle, 16 p.
 - G. Chiorcan et coll., *Achievements and Studies Concerning the Use of Domestic Low Grade Lignite and Bituminous Shales in Romania for Power Production*, 17 p.
 - M. Simonovic, *Yugoslav Experience in Utilizing Low Calorific Coal Resources*, 19 p.
 - I. Fenyves, *New Ways for Improving the Competitiveness of Lignite Fired Power Stations*, 25 p.
 - N. Todoriev et A. Georgiev, *Modernization of Thermal Power Stations as a Mean for the More effective Coal Combustion and the Better Utilization of the Coal Resources*, 18 p.
- c) «Energy Economics and Supply», dans *Nuclear Power Issues and Choices*, Rapport du Nuclear Energy Policy Study Group parrainé par la Fondation Ford et dirigé par The MITRE Corporation, Ballinger Publishing Company, 1977, p. 106:

Combustion en lit fluidisé

«La combustion du charbon en lit fluidisé ouvre des perspectives acceptables pour l'environnement. En principe, la combustion en lit fluidisé devrait, non seulement satisfaire aux normes de rejet de dioxyde de soufre, mais aussi à celles de rejet d'oxydes d'azote, et à des coûts moindres que ceux entraînés par les méthodes habituelles. Cependant, cette nouvelle technique n'a été mise à l'essai qu'à petite échelle. Il semble que cette méthode de combustion permettrait au charbon de concurrencer le pétrole dans une vaste gamme d'utilisations industrielles, y compris la production conjuguée d'électricité et de chaleur ou de vapeur industrielle, et l'alimentation des grandes centrales thermiques.

La combustion en lit fluidisé se déroule dans un récipient partiellement rempli de combustible concassé, lequel est mis en suspension (fluidisé) dans un gaz injecté par les trous d'une plaque qui le supporte. La technique de combustion en lit fluidisé est largement utilisée pour établir un contact étroit entre gaz et matériaux solides au cours d'une catalyse, d'un traitement thermique, et de l'incinération des déchets ménagers. Lorsque le combustible est un mélange de charbon, de calcaire ou de dolomie pulvérisée, le gaz injecté est de l'air, qui permet une combustion efficace du charbon et la fixation simultanée du soufre.

La combustion en lit fluidisé peut s'effectuer à la pression atmosphérique, pour chauffer une chaudière à tubes d'eau fournissant de la vapeur, ou sous forte pression (de quatre à dix atmosphères) pour alimenter une turbine en gaz chauds ou une turbine à cycle combiné gaz-vapeur pour la production d'électricité. Une unité génératrice de 20 MW est actuellement à l'essai, et on a dressé les plans pour une autre centrale à turbines à gaz de 70 MW électriques. Si ces essais sont concluants, l'*Energy Research and Development Agency* construira sans doute une centrale-pilote de 250 MW permettant de faire des essais à plus grande échelle.

- d) *An Inventory of Energy Research and Development: EMR*, Énergie, Mines et Ressources Canada, février 1977, Enveloppe budgétaire de R & D (1976-1977): Utilisation du charbon: 1 327 000 \$

- e) Rapports sur la recherche énergétique; 21 mars 1977, p. 2: L'ERDA a demandé de 2,4 à 6 milliards de \$ par an pour mettre au point de nouvelles techniques de combustion du charbon. En première approximation, et en tenant compte des envergures relatives de l'industrie du charbon et de l'effort nécessaire, il faudrait accorder les crédits suivants au perfectionnement de la technique de la combustion en lit fluidisé.

$$\frac{1}{20} \times \frac{1}{7} \times 4,2 \text{ MS} = 30\,000\,000 \text{ \$}$$

- f) *Energy Policy* juin 1975, p. 96:
Centrale-pilote de 20 MW construite au Royaume-Uni pour 9 700 000 \$

2. Calculs préliminaires

- a) *Effort préliminaire de suivi et de coopération en recherche:*
2 ans à 750 000 \$ par année: 1 500 000 \$
- b) *Recherche expérimentale complémentaire:*
Disons dans trois secteurs, pour un montant de: 1 200 000 \$
- c) *Ingénierie détaillée:*
15 pour cent du coût de la centrale: 6 000 000 \$
- d) *Centrale-pilote de 30 MW — Coût d'investissement:*
40 000 000 \$
- e) *Évaluation du rendement de la centrale-pilote:*
Deux années à 650 000 \$ par an: 1 300 000 \$
- f) *Modifications techniques et agrandissement:*
10 pour cent du coût de la centrale: 4 000 000 \$
- g) *Démonstration d'une centrale commerciale*:* 200 000 000 \$
- Total général 254 000 000 \$

Cadre chronologique

Voici un échéancier illustratif à double cheminement des dépenses de mise en œuvre d'une centrale-pilote et de démonstration à échelle réelle des techniques de combustion en lit fluidisé, ainsi que de suivi et de R & D préparatoires:

1979	750 000 \$	- Suivi et évaluation
1980	1 100 000 \$	- Coopération en R & D et recherche expérimentale au Canada
1981	2 250 000 \$	- Recherche en laboratoire et avant-projet
1982	7 000 000 \$	- Étude technique
1983	23 100 000 \$	- Rassemblement des éléments et construction de la centrale-pilote
1984	13 500 000 \$	- Mise en marche de la centrale-pilote et suivi
1985	7 500 000 \$	- Évaluation du rendement et remaniement des plans
1986	10 800 000 \$	- Modifications des installations, et agrandissement
1987	20 000 000 \$	- Construction et mise à l'essai d'une centrale-pilote

*On a évalué à 50 pour cent la part au titre de la démonstration.

1988	57 000 000 \$	à plus grande échelle (250 MW, p. ex.)
1989	57 000 000 \$	
1990	38 000 000 \$	- Suivi et
1991	16 000 000 \$	diffusion des résultats
Total	254 000 000 \$	

Notes et bibliographie

Le contexte international

1. *The Energy Research, Development and Demonstration Programme of the International Energy Agency*, janvier 1977, 23 p.; également, l'entretien du 11 mars 1977 avec M. Milton Klein, directeur général de l'AIÉ, dans les locaux d'Énergie, Mines et Ressources Canada.

2. On utilise un réacteur à lits fluidisés conçu à la B.C. Research pour étudier les paramètres techniques et économiques de la gazéification des déchets de bois et du charbon.

3. «Fluid-bed combustion: A sleeper awakes», *Science News*, vol. 112, p. 134.

Voir également

Assessment of Advanced Technology for Direct Combustion of Coal, Rapport HCP/T1216-0001, UC-90^e, rédigé par l'Ad Hoc Panel on Direct Combustion of Coal, Committee on Processing and Utilization of Fossil Fuels, Commission on Sociotechnical Systems, National Research Council, National Academy of Sciences, pour le Secrétariat à l'énergie des É.-U., Washington, décembre 1977, 89 p.

D.H. Archer, D. Berg et E.V. Somers, «Fluidizing Bed Gasification and Combustion for Power Generation», IX^e Conférence mondiale de l'Énergie, Détroit, 23-27 septembre 1974, 25 p.

A. Bogot et R.C. Sherrill, «Principal Aspects of Converting Steam Generators Back to Coal Firing», NCA/BCR Coal Conference and Expo II, sous les auspices de Bituminous Coal Research Inc., Louisville, Kentucky, octobre 1975, C.E. Power Systems, 9 p.

H.E. Burbach et coll., «Compatibility between furnaces and fuels conducive to higher boiler availability», *Power*, décembre 1977, pp. 41-46.

H.E. Burbach et A. Bogot, «Design Considerations for Coal-Fired Steam Generators», Conférence annuelle, Association of Rural Electric Generating Cooperatives, Wichita, Kansas, juin 1976, C.E. Proposition Engineering, 16 p.

«Fluidized-Bed Energy Technology: Coming to a Boil», *INFORM*, 25 Broad Street, New York, N.Y. 10004, juin 1978, 150p.

«Fluidized-Bed Energy Technology Option for Clean Coal Burning», Colloque organisé par *INFORM*, New York, 26 juin 1978.

D. Bruce Henschel, «Emissions from FBC boilers», *Environmental Science & Technology*, mai 1978, pp. 534-538.

R.P. Hensel, «The Effects of Agglomerating Characteristics of Coal on Combustion in Pulverized Fuel Boilers», Symposium on Coal Agglomeration and Conversion, Morgantown, West Virginia, mai 1975, C.E. Power Systems, 7 p.

E.H. Martin, «Coal Resources of the Hat Creek Valley and Plans for its Utilization», XXIX^e Conférence annuelle canadienne du charbon, Edmonton, 2-4 octobre 1977, Compte rendu, Association charbonnière canadienne, pp. 47-55.

The Mitre Corporation, *Rapport annuel de 1977*, pp. 52-53.

Walt Patterson, «To bed betimes», *New Scientist*, 20 juillet 1978, pp. 180-181.

«Technology: Fluid-bed coal combustors commercialized», *Chemical & Engineering News*, 6 février 1978, p. 24.

R.D. Winship et F. Bender, «Ash Deposition Research on Canadian Lignites», Lignite Symposium, Grand Forks, North Dakota, mai 1969, C.E. Design and Performance Department, 6 p.

2. Démonstration de reconstitution des sols après extraction du charbon à ciel ouvert

Les considérations d'environnement

Pour que le Canada puisse opportunément mettre en place une filière énergétique du charbon afin de remplacer d'autres sources d'énergie et de réserver les hydrocarbures pour des utilisations cruciales et la transformation en combustibles commodes tels que l'essence automobile et le mazout à chauffage, il faut systématiquement analyser les principaux désavantages de l'adoption de cette filière¹, et les mesures indispensables que devront prendre les différents paliers d'administration². Les lignes de conduite officielles, lois et règlements de protection de l'ambiance constituent donc un facteur important dans l'éventualité d'un développement notable de l'utilisation énergétique directe du charbon.

En premier lieu, il faut que les lignes de force de la politique de l'environnement soient compatibles avec le développement de la filière charbonnière dans le cadre d'une stratégie nationale de l'énergie³. Il existe une contradiction naturelle entre le développement de l'utilisation du charbon et l'adoption ou le maintien systématique de normes d'environnement très rigoureuses⁴.

En second lieu, il serait préférable d'adopter une politique spécifique souple et «faite sur mesure». Elle permettrait d'adopter des normes rigoureuses dans des situations critiques, et des normes préférentielles quand les incidences d'environnement sont minimales⁵.

En troisième lieu, on observe une mondialisation des problèmes d'environnement⁶. Les solutions locales doivent être conçues en fonction d'un contexte mondial.

En quatrième lieu, il semble que la composition de la panoplie énergétique du Canada dépende des répercussions de l'utilisation des diverses sources d'énergie sur l'environnement, la sécurité et la santé publiques⁷. En particulier, c'est le succès des mesures techniques et écologiques de protection de l'environnement qui déterminera la cadence et l'envergure de la mise en œuvre de la filière énergétique du charbon, et spécialement de son utilisation directe dans les centrales thermiques.

Il reste beaucoup à faire en matière d'élaboration des lignes de conduite⁸. La réduction des rejets d'effluents gazeux dans l'atmosphère, et la protection des rivières, des eaux souterraines et des sols, et particulièrement des terres arables, posent des problèmes épineux. On peut réduire les rejets atmosphériques de NO_x en modifiant les techniques de combustion et ses principaux paramètres⁹. L'évaluation de l'effet de serre dû à l'accumulation dans l'atmosphère du dioxyde de carbone dégagé par la combustion de plus grandes quantités d'hydrocarbures et de charbon permettrait de délimiter le créneau chronologique de la filière charbonnière et l'envergure de sa relance⁸.

Bien qu'un tour d'horizon de progrès réalisés en matière de lutte contre la pollution atmosphérique sorte du cadre du présent Rapport, nous incluons des références bibliographiques sur la teneur de l'atmosphère en CO₂, en raison de son importance¹⁰

*Lors d'une Conférence internationale sur les sources futures de matières premières organiques, qui s'est déroulée à Toronto du 10 au 13 juillet 1978, M. King Hubbert a signalé que le taux d'extraction mondiale de charbon passera par un maximum probablement entre 2100 et 2200.

Échéancier des programmes de démonstrations de reconstitution des sols

Les techniques de remise en végétation des sols de couverture après extraction du charbon à ciel ouvert (*strip-mining*) ont progressé de façon satisfaisante au cours des dernières décennies. Cependant, il faudrait encore les améliorer en vue d'une meilleure gestion générale des sols, et particulièrement pour préserver des moyens de production agricole en diminution.

L'un des principaux problèmes qui se posent découle des incertitudes persistantes de l'évaluation des pertes de revenu par empiètement des exploitations à ciel ouvert sur les terres arables. On pourrait les réduire par la réalisation d'une série de projets-pilotes pertinents. Nous recommandons l'échéancier suivant pour le déroulement des démonstrations de reconstitution des sols après extraction du charbon à ciel ouvert.

Avant toute mise en œuvre d'une démonstration, il convient de dresser un cadre conceptuel réaliste, en précisant soigneusement les fonctions de la prospective technologique (*technology assessment*) et des autres techniques analytiques. On trace alors les grandes lignes des méthodes à suivre, et on identifie les options possibles et les paramètres d'une précision acceptable dans l'interprétation des données.

Une autre tâche à effectuer parallèlement à la première consiste à établir un dossier de démonstration où inscrire et retrouver toute l'information le concernant. Il faut y rassembler toutes les données économiques, physiques, chimiques, biologiques, sociales, celles d'ingénierie et autres, en même temps que les prévisions pertinentes et les instruments analytiques mis en évidence au cours de la tâche n° 1. De même, les objectifs de R & D du projet-pilote sont inscrits dans cet ensemble de données.

En troisième lieu, on détermine la validité de l'ensemble des données en comparant celles qui sont recueillies au cours de la tâche n° 2 aux nécessités précisées lors de la tâche n° 1. La tâche n° 4 consiste à dresser un plan de travail détaillé pour une prospective technologique intégrée.

Il faut ensuite préciser les données et les harmoniser pour fournir aux décideurs de meilleures bases leur permettant de mettre en évidence les techniques appropriées de reconstitution des sols. De plus, il leur faudrait disposer d'une stratégie efficace, sinon optimale, pour utiliser la technique ou le cheminement choisi. Cette stratégie devrait tenir compte des vues des autres paliers d'administration, en particulier du palier provincial, et s'y adapter. Ainsi la situation s'éclaircirait-elle, et la direction des autorités publiques pourrait-elle s'exercer par le canal d'instruments politiques variés: normes de reconstitution des sols, taxation de l'extraction charbonnière à ciel ouvert¹⁾, abattements fiscaux pour qualité des résultats obtenus, emprises et règlements sécuritaires, versements préliminaires à des caisses spéciales de reconstitution des sols et assurance-récolte ou tout autre revenu agricole dans la zone concernée ou les zones adjacentes.

La démonstration réussie de reconstitution des sols devrait permettre:

- 1° d'évaluer l'ampleur des dommages économiques grâce à laquelle on peut quantifier pécuniairement les pertes dues à l'extraction du charbon à ciel ouvert;
- 2° d'évaluer les facteurs identifiables permettant de décrire et d'agrèger les dommages non quantifiables; et
- 3° de corroborer la limitation et la réduction de l'ensemble des dommages quantifiables ou non, grâce à une technique convenable et peu coûteuse de reconstitution des sols, et à l'effort de gestion approprié.

Il faut mettre en évidence les objectifs poursuivis et l'envergure des coûts pour chaque programme de reconstitution des sols. D'une part, l'éventualité de l'ouverture de quelques mines de charbon à ciel ouvert dans les régions agricoles ou près d'une agglomération montre la nécessité d'une élaboration judicieuse des programmes de reconstitution des sols et, d'autre part, il est important de réduire ou même d'éliminer toute répercussion négative des programmes de reconstitution des sols pour que le charbon canadien soit concurrentiel sur les marchés éloignés, tant au Canada qu'à l'étranger.

Bien qu'il soit nécessaire d'effectuer d'autres recherches sur la manutention des sols de couverture et leur remise en place au cours de l'exploitation du charbon à ciel ouvert, il est déjà possible dans certains cas de reconstituer presque entièrement le paysage original. Veuillez consulter les notes 12 à 14 qui illustrent les programmes entrepris par des sociétés minières et les organismes provinciaux, et les projets-pilotes réalisés.

Ampleur de l'effort

1. Repères

- a) On peut trouver l'information pertinente dans les ouvrages suivants:
- *A Coal Development Policy for Alberta*, Gouvernement de l'Alberta, 15 juin 1976, 37 p.; A7 p.
 - L.J. Carter, «Strip Mining: Congress Moves Toward "Tough" Regulations», *Science*, 9 août 1975, pp. 513-514.
 - «An Environmental Vote for Stripping», *Technology Review*, mai 1975, p. 62.
 - Carl E. Bagge, «The Emerging Partnership of Coal and Agriculture», *Vital Speeches of the Day*, septembre 1975, pp. 724-728.
 - G. Atwood, «The Strip-mining of Western Coal», *Scientific American*, décembre 1975, pp. 23-29.
 - E.A. Imhoff, «Planners Can Improve Responsiveness to Surface Mining Reclamation Issues», *Practicing Planner*, septembre 1976, pp. 20-22.
 - «Strict Law Challenges Strip Mine Operators», *Chemical and Engineering News*, 22 août 1977, pp. 18-19.
- b) C. Holden, «Curbs on Strippers Celebrated», *Science*, août 1977, p. 743:
Aux États-Unis, la *Surface Mining Control and Reclamation Act* de 1977 a été ratifiée par le Président le 2 août, après de nombreuses vicissitudes. Cette loi, qui ne ressemblait que de loin au projet de loi sur l'exploitation minière à ciel ouvert présenté il y a trente-sept ans, établit des normes nationales pour la concession et l'exploitation minière à ciel ouvert, et la reconstitution des sols.
- c) «Report of NAS for Ford Foundation», *Scientific American*, décembre 1975, p. 27.
Le coût moyen de la reconstitution des sols est de 1 650 \$ l'acre. Les évaluations de coûts faites par les sociétés minières varient de 500 \$ jusqu'à 5 000 \$ l'acre.

- d) L'extraction à ciel ouvert de la lignite dans la région de Coronach en Saskatchewan:

«Les autorités ont engagé la Société d'énergie de la Saskatchewan à consacrer de 1 000 à 1 500 \$ par acre à la remise en végétation des excavations des mines de charbon abandonnées, pour en faire des parcs ou des réserves fauniques».

2. Calculs préliminaires

a) Hypothèses:

- Coût comparatif de la reconstitution des sols:
2 100 \$ l'acre.
- Il faut réaliser plusieurs projets-pilotes pour les différents types de sol et conditions ambiantes; on prévoit 7 terrains expérimentaux.
- La superficie de chaque terrain expérimental devra atteindre un pour cent des surfaces dérangées par l'exploitation du charbon à ciel ouvert dans l'Ouest canadien: disons approximativement 10 acres.

b) Coût de la présente phase de reconstitution des sols:

70 acres à 2 100 \$ l'acre = 147 000 \$

c) Cheminement préliminaire:

- Première action
95 000 \$
- Deuxième action
185 000 \$
- Troisième action
37 000 \$
- Quatrième action
95 000 \$
- Cinquième action: reconstitution des sols
147 000 \$
- Recueil et diffusion de l'information
185 000 \$

Total général:

744 000 \$

La comparaison des coûts des travaux préparatoires et de la diffusion de l'information avec celui de la reconstitution proprement dite des sols montre que la démonstration, pour être rentable, devra être suivie par une large application (par exemple, élaboration d'actions-modèles de reconstitution des sols, suivie d'une grande diffusion). Il s'ensuit que les subventions de l'État à des projets particuliers du secteur minier devraient être notables.

Cadre chronologique

Voici, à titre illustratif, l'échéancier d'une démonstration initiale de remise en culture des terres agricoles après extraction du charbon à ciel ouvert:

1979	95 000 \$	- Première et deuxième actions
1980	145 000 \$	- Première et deuxième actions

1981	169 000 \$	- Actions 2, 3 et 4
1982	150 000 \$	- Actions 4 et 5
1983	100 000 \$	- Suivi et
1984	85 000 \$	diffusion de l'information
Total	744 000 \$	

Notes et bibliographie

Les considérations d'environnement

1. Garnet T. Page, «Coal and Canada's Industrial Strategy», *The Journal of Canadian Petroleum Technology*, Montréal, octobre-décembre 1977, pp. 31-33.

2. Gregg Marland et Ralph M. Rotty, «The Question Mark Over Coal — Pollution, politics and CO₂», *Futures*, février 1978, pp. 21-30.

3. G.T. Page, *op. cit.*

4. Tom Alexander, «A Promising Try at Environmental Detente for Coal», *Fortune*, 13 février 1978, pp. 94-102; (R.T. Marshall), «Environmentalists add to coal mining headaches», Réunion de l'Institut canadien des mines et de la métallurgie, Calgary, avril 1978, abrégé 1 p.

5. T. Alexander, *ibid.*; Luther J. Carter, «Sweetness and Light from Industry and Environmentalists on Coab», *Science*, 3 mars 1978, pp. 958-959.

6. Wallace S. Broecker, «Will the Coal Economy Overcook the Earth», *Business and Society Review*, hiver 1977-1978, pp. 4-9; G.M. Woodwell et coll., «The Biota and the World Carbon Budget», *Science*, 13 janvier 1978, pp. 141-146; Minze Stuiver, «Atmospheric Carbon Dioxide and Carbon Reservoir Changes», *Science*, 20 janvier 1978, pp. 253-258; George M. Woodwell, «The Carbon Dioxide Question», *Scientific American*, janvier 1978, pp. 34-43; William W. Kellogg, «Is mankind warming the Earth?», *Bulletin of the Atomic Scientists*, février 1978, pp. 10-19.

7. «CO₂ pollution may change the fuel mix», *Business Week*, 8 août 1977, p. 25.

8. Thomas W. Mason et Thad D. Smith, «An approach to Policy Formulation: Sulfur Oxide Emissions in Indiana», *Journal of the International Society for Technology Assessment*, hiver 1976-1977, pp. 43-47.

9. R.D. Winship et P.W. Brodeur, «Controlling NO_x emissions in pulverized coal-fired units», *Engineering Digest*, septembre 1973, pp. 31-34.

10. Colin Norman, «Assessing the 'greenhouse effect'», *Nature*, 28 juillet 1977, pp. 289-290; G.M. Woodwell et coll., «The Biota and the World Carbon Budget», *Science*, 13 janvier 1978, pp. 141-146; Minze Stuiver, «Atmospheric Carbon Dioxide and Carbon Reservoir Changes», *Science*, 20 janvier 1978, pp. 253-258; U. Siegenthaler et H. Oeschger, «Predicting Future Atmospheric Carbon Dioxide Levels», *Science*, 27 janvier 1978, pp. 388-395; «Increased use of coal deemed safe through 1985», *Chemical and Engineering News*, 30 janvier 1978, pp. 22-23; George M. Woodwell, «The Carbon Dioxide Question», *Scientific American*, janvier 1978, pp. 34-43; William W. Kellogg, «Is mankind warming the Earth?», *Bulletin of the Atomic Scientists*, février 1978, pp. 10-19.

Voire également

Luther J. Carter, «Sweetness and Light from Industry and Environmentalists on Coal», *Science*, 3 mars 1978, pp. 958-959.

La production énergétique et l'environnement, Organisation de coopération et de développement économique, Paris, 1977, pp. 74-88 de la version anglaise.

Reconstitution des sols

11. Colloque sur l'économie et la taxation de l'exploitation charbonnière, Régina, Sask., 7-9 mai 1978.

12. (Ken Barron), «Coal research program planned», *Oilweek*, 10 octobre 1977, p. 14.

13. Charles R. Pearce, «Coal comes back: its promise and challenge», *Canadian Geographical Journal*, avril-mai 1978, pp. 70-75.

14. «Environment», dans *Coal in Canada* publié par l'Association charbonnière canadienne, Calgary, 1978, pp. 37-42.

Voir également

F.S. Matter et coll., *A Balanced Approach to Resource Extraction and Creative Land Development*, Université de l'Arizona, Tucson, 1974, 85 p.

Technological Innovation and Forces for Change in the Mineral Industry, Committee on Mineral Technology, Board on Mineral and Energy Resources, Commission on Natural Resources, National Research Council, National Academy of Sciences, Washington, 1978, 74 p.

Mitch Waldrop, «Strict law challenges strip mine operators», *Chemical & Engineering News*, 22 août 1977, pp. 18-19.

La filière électronucléaire

1. Démonstration d'une installation acceptable de gestion et de confinement des combustibles irradiés

Gestion des déchets radioactifs

Principes et objectifs

La gestion des déchets radioactifs comprend, dans son sens le plus large, le recueil, le triage, le traitement, le conditionnement, le transport, le stockage et le confinement des déchets radioactifs. Ceux-ci sont: tous matériaux contaminés par des radionucléides, ou en contenant à des teneurs plus fortes que celles que les spécialistes compétents considèrent comme acceptables dans des matériaux d'accès ou d'utilisation libres, et pour lesquels il n'y a pas d'utilisation prévue¹.

Les combustibles irradiés ou épuisés ne sont plus d'utilité immédiate dans le réacteur, à cause de l'accumulation de produits de fission avides de neutrons, et de l'épuisement des matériaux fissiles. Le retraitement, s'il consiste en une extraction du plutonium, ou de l'uranium pour nouvelle utilisation, nécessite également la séparation des déchets radioactifs. Comme le retraitement constitue une éventualité, la conception et la démonstration d'une installation acceptable de gestion et de confinement des combustibles irradiés doit prendre en considération tous ces aspects.

Nous excluons de notre étude la gestion des déchets radioactifs découlant de l'extraction et du traitement mécanique des minerais uranifères², du façonnage des barres de combustible et du déclassement des réacteurs nucléaires³, et également les rejets de faible radioactivité⁴.

L'objectif de la gestion des déchets radioactifs est de protéger la santé collective et l'environnement⁵. Selon l'étude du groupe d'experts de l'Office américain de l'énergie (NEA), la gestion des déchets radioactifs devrait viser les objectifs suivants⁶:

- a) observer les principes de radioprotection des générations actuelle et futures;
- b) préserver la qualité du milieu naturel;
- c) éviter d'invalider l'exploitation actuelle ou future des ressources naturelles;
- d) réduire autant que possible les répercussions du confinement des déchets radioactifs pour les générations futures».

En théorie, on pourrait déterminer, grâce à une large comparaison des coûts et avantages, si les nuisances découlant d'une activité quelconque sont suffisamment faibles par rapport aux avantages qui en proviennent. En principe, il y a seulement deux voies d'action disponibles⁷:

- a) la dispersion, la dilution et le rejet des déchets radioactifs dans l'environnement, dans des conditions réglées, par exemple sous forme d'effluents gazeux ou liquides;
- b) la rétention des radionucléides par des méthodes convenables de stockage temporaire (*storage*) ou de confinement définitif (*disposal*) en vue de les isoler suffisamment des contacts humains.

Comme son titre l'indique, la démonstration proposée porte sur la seconde méthode, et plus particulièrement sur celle de confinement. Le stockage des déchets permet leur récupération ultérieure, alors que le confinement l'interdit⁸.

Un cadre stratégique pour la gestion des déchets radioactifs

Le confinement en longue période des déchets de forte radioactivité et de très longue demi-vie pose des problèmes techniques et administratifs très difficiles. La Commission royale de la pollution de l'environnement du Royaume-Uni a

recommandé, et le gouvernement a accepté ultérieurement, de transférer la responsabilité de la gestion des déchets nucléaires du ministère de l'Énergie au ministère de l'Environnement. Cependant, le gouvernement n'a pas donné suite à la recommandation de créer une société ayant pour mandat précis la mise en œuvre d'une méthode acceptable de confinement des déchets radioactifs des centrales électronucléaires.

En raison des conséquences sérieuses de cette activité pour les générations actuelle et futures, on pourrait envisager la création d'organismes séparés pour le développement de la filière électronucléaire et la gestion des déchets radioactifs produits. La mise sur pied de ce dernier organisme constituerait un effort pour aller au-delà des considérations politiques et sociales à court terme.

C'est la Commission de contrôle de l'énergie atomique qui est l'organisme fédéral chargé des aspects réglementaires du développement de la filière électronucléaire au Canada, et de l'utilisation de l'énergie nucléaire. Par le truchement de sa Direction de la recherche et de la coordination, cet organisme doit élaborer des propositions de recherche, octroyer des contrats et les administrer, et évaluer les résultats de la recherche sur les critères de gestion des déchets radioactifs. L'étude des méthodes de confinement des déchets radioactifs dans les formations géologiques constitue un volet de ses activités.

La Commission géologique du Canada et l'Énergie atomique du Canada limitée œuvrent en fonction des critères scientifiques élaborés, et ces organismes ont récemment étendu leurs recherches expérimentales sur le confinement des déchets en profondeur.

En 1978, les gouvernements fédéral et ontarien ont conclu un accord d'envergure sur la gestion des déchets radioactifs.

Éventail des options et lignes de force techniques

Il est important de distinguer ce qui est désirable de ce qui est possible*. L'examen rapide des options éventuelles de confinement des déchets radioactifs permet de les classer en catégories: certaines options qui paraissent singulières (p. ex. le lancement des déchets radioactifs dans l'espace, préférablement vers le soleil⁹; l'enfouissement à l'intérieur de la calotte polaire antarctique), et d'autres d'apparence plus réaliste (p. ex. le confinement des déchets en surface, dans des édifices de construction spéciale ou «mausolées» de béton); le stockage ou le confinement des déchets dans des mines abandonnées ou dans des casemates, et leur enfouissement à la périphérie en submersion des plaques tectoniques¹⁰ ou au fond des fosses océaniques. Les autres méthodes sont: a) la dilution et la dispersion des déchets radioactifs et b) leur transmutation.

L'article cité à la note 11 donne une liste systématique des options. Certains critères de sélection sont largement étudiés dans celui mentionné en 12.

Le gouvernement fédéral des É.-U. a décidé que les déchets fortement radioactifs des centrales électronucléaires de ce pays seraient confinés dans des formations géologiques telles que les dômes de sel du socle continental¹¹. L'ouvrage cité dans la note 14 soutient que l'enfouissement des déchets radioactifs dans les formations géologiques profondes est sécuritaire. Le rôle de la structure géologique est souligné dans l'ouvrage mentionné en 15.

*En cette matière, il est fort important de séparer les faits des créations de l'imagination.

En raison de la diversité des options techniques possibles, le Canada n'a pas, en fait, les moyens de les étudier toutes¹⁶. Une large collaboration internationale permet de débattre tous les programmes nationaux pertinents, et d'en faire la comparaison. La mise en œuvre d'une démonstration permettrait de prendre des décisions rationnelles au sujet des voies possibles de développement et d'essai d'une installation acceptable de gestion et de confinement des combustibles radioactifs.

Hypothèses sous-tendant l'élaboration d'une politique de R, D & D en matière de gestion des déchets radioactifs

Nous allons présenter ci-dessous plusieurs hypothèses de travail s'appliquant spécialement au Canada, en vue de tracer le cadre de la conception et de la réalisation de la démonstration proposée:

- Si l'on entassait tous les combustibles irradiés accumulés jusqu'à l'année 2005 sur un terrain de football américain d'environ 100 m de long et de 60 m de large, les matériaux ne dépasseraient pas 2,40 m d'épaisseur.
- En conséquence, il n'est pas nécessaire de disposer de grands espaces de confinement pour les y entasser, jusqu'au tournant du siècle prochain.
- La plupart des déchets radioactifs seront stockés de façon à ce qu'on puisse les récupérer en toute sûreté dans l'intervalle.
- Comme naguère, la première phase de la rétention consistera dans un stockage-tampon pour cinq à dix ans des cartouches de combustible irradié dans des « piscines » et aires spéciales aux alentours du réacteur nucléaire.
- Les installations de stockage en surface loin des réacteurs serviront de 50 à 100 années. Il est possible qu'elles ne soient nécessaires que pendant vingt à trente années.
- En vingt ans, il est possible d'élaborer l'avant-projet et de faire l'étude préliminaire des installations de confinement.
- On ménagera un délai suffisant pour l'évaluation de la méthode de confinement choisie, avant de l'utiliser à grande échelle.
- Les problèmes posés par les déchets radioactifs sont tout autant sociologiques, économiques et politiques qu'ils sont techniques et scientifiques¹⁷.
- On dispose d'un délai suffisant, mais non excessif, pour l'élaboration soigneuse d'une politique de confinement à long terme des déchets radioactifs (p. ex. trois années).
- On a déjà proposé certains cadres d'élaboration d'une politique officielle en ce domaine et dans des domaines voisins¹⁸. Il serait utile d'en étudier les processus et les cadres socio-politique et scientifique¹⁹.
- À l'échelle internationale, on accomplira un effort suffisant pour mettre à jour et élargir la masse des connaissances actuelles.
- On tiendra spécialement compte du fait que les méthodes de stockage et de confinement, et le coût de la gestion des combustibles épuisés, dépendent du cycle de combustible adopté et des genres de réacteurs.
- C'est la mise sur pied des centres de recyclage multinationaux ou régionaux, ou des dispositions similaires, qui détermineront le mode optimal de gestion des combustibles irradiés et les méthodes de retraitement.

- On accordera une attention spéciale à l'influence des programmes de retraitement sur les stratégies de conditionnement et de confinement des déchets radioactifs, et sur leurs conditions économiques.
- Il se peut qu'à l'avenir le Canada doive recycler le plutonium.
- On ne procédera pas au confinement irréversible des déchets radioactifs avant l'élaboration des grandes lignes d'une politique à long terme tenant compte des possibilités de recyclage des combustibles irradiés et de l'utilisation énergétique du plutonium²⁰.
- On accordera une importance considérable à un effort de R, D & D, avant le démarrage (*commissioning*) d'installations fonctionnelles au Canada.
- Les démonstrations sont valables, et permettront d'étayer certains aspects importants d'une méthode acceptable de gestion et de confinement des combustibles irradiés, pourvu que celle-ci soit conçue rationnellement, et crédible.

Envergure de l'effort

Il faut accomplir un effort de R, D & D sur la gestion des combustibles irradiés et leur confinement dans des formations géologiques profondes du socle continental, entre autres pour:

1° déterminer la fiabilité des formations géologiques et des séries stratigraphiques pour le confinement définitif des déchets radioactifs à longue demi-vie; cette évaluation exige un effort de grande qualité. Il faut en effet que les structures géologiques constituent des barrières efficaces à la migration des substances radioactives dans leur créneau chronologique de forte activité, et satisfassent à plusieurs critères impératifs: faible activité sismique, absence de continuité entre les fissures et les fractures, très lent déplacement des eaux phréatiques au long de cheminements étendus horizontalement mais non verticalement, présence de matériaux absorbants, etc. Les couches géologiques doivent fournir une protection à la biosphère pendant une très longue durée. Cependant, il faut aussi répondre à des questions concernant: a) la nécessité éventuelle d'essayer divers genres de formation (p. ex., plutonites, volcanites et roches métamorphiques, schistes, argiles, couches de sel et fonds océaniques) afin de fournir des options de rechange comme protection contre les aléas et les erreurs possibles, et b) l'irréversibilité totale ou non du confinement des déchets radioactifs (p. ex. dans des forages très profonds qu'il serait possible d'élargir pour y entasser un plus gros volume de déchets);

2° mettre en œuvre des mesures sécuritaires grâce à des essais et à une analyse du cheminement des eaux utilisant des modèles numériques et expérimentaux réalistes, basés sur la mesure soigneuse des propriétés des matériaux (p. ex. des interactions physiques, chimiques et électriques). Cette phase préparatoire viserait à corroborer tous les principes du mode de confinement choisi, pour concrétisation à plus grande échelle;

3° mettre au point et essayer des matériaux et des techniques permettant d'incorporer économiquement et pratiquement les produits de fission et les déchets qui en découlent dans une matrice insoluble (verre ou céramique) avant leur confinement;

4° maintenir et suivre les programmes actuels de stockage - tampon des produits de fission irradiés et des actinides avant leur confinement. Au cours de

cette période, il est nécessaire de refroidir les matériaux, de les isoler et de les entourer d'un écran absorbant. On utilise d'ordinaire des «piscines» de stockage (*water-filled bays*) de l'uranium naturel irradié; on étudie le comportement des cuves en béton refroidies à l'air, de même que celui des casemates souterraines à convection thermique. On a étendu le principe de la piscine à celui d'une installation de stockage - tampon à grande échelle du combustible irradié;

5° mettre au point et essayer des matériaux et des méthodes de stockage des déchets à radioactivités faible et moyenne;

6° poursuivre l'effort de R, D & D sur les méthodes sécuritaires et efficaces de manutention et de transport des déchets nucléaires. Il faut mettre au point et essayer l'équipement spécial qui convient. Il se peut que certains matériels considérés soient tout à fait singuliers, mais leur emploi est peu probable (p. ex. les véhicules à chenillettes télécommandés pour la manutention des déchets radioactifs). On a également proposé de réunir dans le même site l'installation de stockage-tampon du combustible irradié, celles de retraitement et de refaçonnage, ainsi que l'aire de confinement final. Cette méthode améliorerait la sécurité, permettrait des économies, faciliterait la coordination des travaux, et réduirait les besoins de transport:

7° suivre et évaluer les progrès internationaux sur le plan de la gestion des déchets nucléaires, et y participer activement comme pour d'autres aspects du cycle du combustible nucléaire. Ces progrès pourraient porter sur le confinement des combustibles irradiés dans des dépressions océaniques, et éventuellement la transmutation des substances radioactives. Il est nécessaire de mettre sur pied un potentiel fondamental de R, D & D au Canada, en vue d'évaluer les progrès réalisés à l'étranger.

L'analyse qui suit, et qui tient compte des critères de pertinence, portera spécialement sur la méthode de confinement dans les formations géologiques profondes du socle continental.

Nous pouvons tracer comme suit les grandes lignes de la démonstration proposée d'une méthode adéquate de gestion et de confinement des combustibles irradiés²¹:

- a) Techniques de manutention et de confinement
 - du combustible irradié
 - des déchets radioactifs séparés.
- b) Aires de stockage permanent ou réversible
 - problèmes d'emplacement
 - possibilités et aléas de la récupération ultérieure, y compris les problèmes de sécurité externe des installations et la protection géologique et structurelle contre la diffusion éventuelle des produits de fission
 - aspects organiques, écologiques et sécuritaires, y compris les problèmes de sécurité externe des installations et la protection géologique et structurelle contre la diffusion éventuelle des produits de fission
 - coûts
 - questions juridiques

I. Repères

a) Bibliographie utile:

- *NEA Third Activity Report*, 1974, Agence de l'énergie nucléaire auprès de l'OCDE, pp. 25-259.
- Luther J. Carter, «Radioactive Wastes: Some Urgent Unfinished Business», *Science*, 18 février 1977, pp. 661-666, 704.

- M. Gauvenet, «Les résidus radioactifs», *Revue de l'Énergie*, janvier 1977, pp. 7-14, mars 1977, pp. 152-159 et avril 1977, pp. 213-227.

b) *EMR News Release*, 11 février 1977:

Enveloppe fédérale nucléaire pour 1976-1978

1976-1977		1977-1978	
93,7 M\$	(73,3%)	93,7 M\$	(68,0 %)

L'ÉACL consacrera 7,4 M\$ par an à la «Protection de l'environnement et gestion des déchets radioactifs».

c) Contrat IISQ; 87055-6-0135; (OSQ76-00153); pour le compte de la Commission de contrôle de l'énergie atomique:

«Étude des paramètres indispensables pour l'évaluation réglementaire de l'adaptation des formations rocheuses canadiennes au confinement des déchets radioactifs»: 54 707 \$

d) «ERDA Foresees Huge Costs for Nuclear Waste Disposal», *Science and Technology*, 15 décembre 1976, P. 3:

«Le coût de construction et d'exploitation d'une installation de confinement des déchets radioactifs commerciaux atteindra 2 milliards de \$ entre l'époque actuelle et l'an 2000».

e) S.R. Hatcher, Communications des 6 et 22 décembre 1977, et du 26 juillet 1978, pages diverses.

Les experts estiment que le programme de gestion des déchets radioactifs coûtera environ 370 millions de \$ (valeur de 1978) jusqu'à l'horizon 1987. Cette somme permettra d'acquérir les matériaux provenant des usines-pilotes et convenant aux essais de confinement de foncer quatre puits et d'entreprendre l'excavation d'une casemate à grande profondeur dans le socle rocheux. Le coût du suivi et des opérations à plus long terme dépendra des orientations choisies pour le programme de confinement des combustibles, c'est-à-dire la démonstration du confinement des combustibles irradiés ou du recyclage du thorium.

2. Calculs préliminaires

Voici l'envergure du financement nécessaire à la mise en œuvre d'une démonstration du confinement des déchets radioactifs dans les formations géologiques profondes du socle continental, y compris l'essai de la valeur confinante relative des dômes de sels, des formations argileuses ou des roches (p. ex. du granite, du calcaire, des roches métamorphiques):

a) *Une analyse interdisciplinaire complémentaire** incluant un essai systématique des diverses options de confinement, en vue de recueillir une base théorique et générale indépendante de l'emplacement:

Trois années de travail de plusieurs équipes au coût de 2 500 000 \$ par an
7 500 000 \$

b) *Suivi continu des progrès réalisés à l'étranger, et assimilation*

Cette activité couvrira la période de démonstration et nécessitera une coopération internationale en matière d'évaluation de l'information pertinente, de recueil des données détaillées sur des actions précises, et

*Parmi les disciplines concernées, mentionnons l'économique, l'analyse des politiques, la recherche opérationnelle, la géophysique, la géologie spécialisée, l'hydrogéologie, la géochimie, la mécanique des roches, la radiochimie, la thermodynamique, la technologie des matériaux, l'exploitation minière, le forage et le génie civil.

d'adaptation des résultats des études étrangères et des conclusions des essais aux conditions qui prévalent au Canada:

Dix-neuf années de travail d'une équipe de coordination des systèmes au coût de 400 000 \$ par année 7 600 000 \$

c) *Effort permanent de R & D*

Cet effort portera sur les divers aspects du processus utilisé, et sur ses paramètres techniques (p. ex., les effets de l'élévation de la température et de la pression sur les parois rocheuses de la casemate):

Cinq années de travail de plusieurs équipes au coût annuel de 1 400 000 \$ 7 000 000 \$

d) *Construction des installations-pilotes et investissement*

La construction des installations-pilotes permettra de corroborer les avant-projets ou leurs éléments constitutifs, et les solutions techniques découvertes avant le passage à une plus grande échelle:

Première étape: plusieurs projets-pilotes individuels 12 500 000 \$

Deuxième étape: 1 ou 2 opérations-pilotes articulées 25 000 000 \$

Total 37 500 000 \$

e) *Évaluation des éléments constitutifs et remaniement de leur conception*

Cette activité permettra de déterminer expérimentalement ou de corroborer les paramètres de conception d'une installation de confinement à échelle normale:

Cinq années de travail d'une équipe au coût de 750 000 \$ par an 3 750 000 \$

f) *Recherche d'un emplacement de confinement en profondeur*

Il s'agira de rechercher et d'essayer les formations géologiques convenables, répondant à tous les critères mis au jour et à toutes les exigences de confinement sécuritaire:

Forage et essai de comportement de plusieurs emplacements: 10 500 000 \$

g) *Réalisation de l'installation de confinement à échelle normale*

Cette phase inclura le fonçage de plusieurs puits d'accès, le creusement des galeries latérales et celui des casemates (*vaults*) dans une ou deux formations géologiques 367 750 000 \$

h) *Évaluation de la démonstration et diffusion des résultats*

Cette phase inclura la coordination de tous les résultats de la démonstration d'une ou de plusieurs installations de confinement des déchets radioactifs, et une information convenable du public 3 000 000 \$

Total général: 444 600 000 \$

Cadre chronologique

La comparaison des avantages et inconvénients de la mise au point par étapes d'une méthode de confinement des déchets radioactifs, plutôt que son développement rapide, et la mise en évidence des arbitrages indispensables soulignent les aspects cruciaux suivants:

1. Activités et périodes déterminantes

a) *Participation du public*

En vue de faciliter la participation du public, il faudrait réserver une période de trois ans à son information, immédiatement avant l'élaboration finale de la politique officielle de R, D & D à moyen et long termes en ce domaine. Cette activité se déroulerait au cours de la période 1979-1980, et coûterait plus de 1 500 000 \$. Cependant, on ne considère pas que ces dépenses devraient être ventilées au compte «démonstration», en raison du caractère pédagogique de cet effort d'information du public.

b) *Collaboration internationale*

Le Canada participe déjà au groupe d'étude du confinement des déchets radioactifs, dans le cadre de programmes coopératifs de recherche énergétique de l'Agence internationale de l'énergie. On estime qu'il faudrait poursuivre cet effort au moins jusqu'à l'achèvement de la démonstration.

c) *Période préliminaire de R & D*

Le contexte mondial actuel nous pousse à admettre qu'il serait nécessaire d'effectuer un effort de R, D & D additionnel au cours d'une période de cinq ans, pour tenir compte des conditions particulières régnant au Canada.

d) *Essais-pilotes*

Nous estimons que l'élaboration des appareils de manutention et des dispositifs de télécommande à échelle normale nécessitera un effort de simulation informatique tant numérique qu'analogique, une expérimentation matérielle et des essais-pilotes.

e) *Parachèvement de la démonstration de confinement*

Le parachèvement de l'installation elle-même constitue un problème supplémentaire. Nous estimons qu'on peut la construire en moins de cinq années.

2. Échéancier de la démonstration

Les hypothèses précédentes et d'autres, moins importantes, permettent de proposer le cadre chronologique illustratif suivant:

1979-1981	Analyse interdisciplinaire complémentaire
1979-1991	Suivi constant et assimilation des progrès réalisés à l'étranger
1980-1984	Programme continu de R & D thématique
1981-1984	Construction des principales installations-pilotes
1981-1985	Évaluation des éléments constitutifs et remaniement de leur conception
1982-1984	Recherche d'un lieu d'implantation du confinement souterrain
1985-1991	Réalisation de l'installation de confinement à échelle normale
1989-1991	Évaluation principale de la démonstration et diffusion des résultats

Voici quelques-uns des jalons d'un éventuel programme de démonstration et de suivi:

- 1985 - Choix définitif des emplacements de confinement
- 1991 - Achèvement des installations de confinement*

*Heinz Heck, «Nuclear Waste disposal "ready by mid-90's"» *Die Welt*, 5 juillet 1978.

- 1997 - Essai des installations de confinement
- 2005 - Début de l'effort accru de retraitement des déchets
- 2010 - Achèvement des plans finaux d'une installation modèle de confinement.

3. Répartition chronologique du financement

Voici un échéancier cohérent, mais encore illustratif, du financement de la démonstration d'une installation acceptable de gestion et de confinement des combustibles irradiés:

Année	Dépenses courantes	Dépenses cumulatives
1979	3 000 000 \$	
1980	4 000 000	7 000 000 \$
1981	12 000 000	19 000 000
1982	15 000 000	34 000 000
1983	18 000 000	52 000 000
1984	30 000 000	82 000 000
1985	45 000 000	127 000 000
1986	60 000 000	187 000 000
1987	70 000 000	257 000 000
1988	60 000 000	317 000 000
1989	45 000 000	362 000 000
1990	30 000 000	392 000 000
1991	20 000 000	412 000 000
1992	13 000 000	425 000 000
1993	7 000 000	432 000 000
1994	5 500 000	437 500 000
1995	3 500 000	441 000 000
1996	2 100 000	443 100 000
1997	1 500 000	444 600 000
Total:	444 600 000 \$	

Notes et bibliographie

Les principes et les objectifs

1. *Objectives, Concepts and Strategies for the Management of Radioactive Waste Arising from Nuclear Power Programmes*, Rapport d'un groupe d'experts de l'Agence étatsunienne de l'énergie (NEA), OCDE, Paris, septembre 1977, 174 p.
2. D. Mofetti, *The Disposal of Solid Wastes and Liquid Effluents from the Milling of Uranium Ores*, Programme de recherches minérales. Laboratoire de recherches minières, CANMET, Rapport 76-19, juillet 1976, 76 p.
3. G.N. Unsworth, *Decommissioning of the CANDU-PHW Reactor*, avril 1976, AECL-5687, 72 p.
4. Low-Level radioactive waste, *Science and Public Policy*, juin 1977, pp. 239-243; D.H. Charlesworth, W.T. Bourns et L.P. Buckley, *The Canadian Development Program for Conditioning CANDU Reactor Wastes for Disposal*, ASME Publication 78-NE-18; Rapport de l'Ontario Hydro à la Commission royale d'enquête sur la planification de l'énergie électrique en Ontario.
5. H.W. et H.E. Duckworth, A. Porter et J.S. Rogers, *Environmental aspects of nuclear power development in Canada: adequacy of the information available*, Conseil consultatif canadien de l'environnement, Ottawa, 1977, 53 p.
6. OCDE, *op. cit.*, p. 15.
7. OCDE, *ibid.*, p. 19.
8. *Geologic Disposal of High-Level Radioactive Wastes — Earth Science Perspective*, USGS, 1200 S. Eads Street, Arlington, Va. 2202.

Voir également

Jeff Carruthers, «The real nuclear problem is waste disposal», *Science Forum*, juin 1977, pp. 19-20.

Luther J. Carter, «Nuclear Wastes: The Science of Geologic Disposal Seen as Weak», *Science*, 9 juin 1978, pp. 1135-1137.

Neil Chapman, David Gray et John Mather, «Nuclear waste disposal: the geological aspects», *New Scientist*, 27 avril 1978, pp. 225-227.

Dean N. Clay et Lynne Myers, *Reviews of the Submissions to the Standing Committee on National Resources and Public Works on the Management of Canada's Nuclear Wastes*, Direction de la recherche, Bibliothèque du Parlement, Ottawa, janvier 1978, pages diverses.

D. W. Clelland, «Present Methods of Storing Highly Radioactive Waste in the United Kingdom and Proposals for the Future», 1X^e Conférence mondiale de l'énergie, Détroit, 1974, 20 p.

H.J. Dunster, «Pollution Resulting from the Release of Radioactive Waste Materials to the Sea», *Marine Pollution Bulletin*, mai 1978, pp. 118-122.

Peter J. Dyne, *Managing Nuclear Wastes*, Énergie atomique du Canada limitée, AECL 5136, juillet 1976, 18 p.

«Efforts at nuclear disposal made», *Oilweek*, 13 septembre 1976, pp. 32, 36 et 40.

Geo. M. Griffiths, «Nuclear Waste: Groundless Fears?», *Science Forum*, juillet-août 1978, p. 4.

R.G. Hart, «Management of Nuclear Wastes», mémoire à la Commission royale d'enquête sur la planification de l'énergie électrique en Ontario, 19 p.; *Nuclear Canada Year Book*, avril 1977, pp. 18-21; R.G. Hart, *Management of Nuclear Wastes*, Rapport AECL-5800, avril 1977, pp. 69-79.

M. Hill et P. Grimwood, «Nuclear Waste Disposal», *Atom*, mai 1978, pp. 122-127.

Marion Hill et Paul Grimwood, «Nuclear Waste disposal: radiological protection aspects», *New Scientist*, 11 mai 1978, pp. 375-377.

Alan Jakimo et Irvin C. Bupp, «Nuclear Waste Disposal: Not in My Backyard», *Technology Review*, mars-avril 1978, pp. 64-72.

Brian Johnson, «Nuclear power proliferation — Problem of international control», *Energy Policy*, septembre 1977, pp. 179-194.

Wm. L. Lennemann, «Radioactive waste management — what you should know about», *Engineering Digest*, mars 1977, pp. 19-25.

«The Management of Canada's Nuclear Wastes», Chambre des Communes, *Compte rendu et témoignages, Comité permanent des ressources nationales et des travaux publics*, 8, 14, 15 et 20 décembre 1977; 24 janvier; 2, 7, 8, 9, 16, 17, 23 et 28 février; 8, 9, 16 et 21 mars 1978, pages diverses.

William D. Metz, «Canadian 'Disposal' of Spent Fuel», *Science*, 15 avril 1977, p. 286.

Norman Rasmussen, *Compte rendu et témoignages, Comité permanent des ressources nationales et des travaux publics*, Ottawa, jeudi 16 juin 1977, pp. 4-25.

David F. Salisbury, «Restrictions Derail the Nuclear Express», *Technology Review*, août-septembre 1978, pp. 8-9.

«Spent nuclear fuel disposal», *Environmental Science & Technology*, juin 1978, pp. 632-634.

M. Tomlinson et coll., «Management of Radioactive Wastes from Nuclear Fuels and Power Plants in Canada», Conférence internationale sur l'énergie nucléaire et son cycle de combustibles, organisée par l'Agence internationale de l'énergie atomique à Salzbourg, Autriche, 2-13 mai 1977, AECL-5706, 13 p.

Mason Willrich, «The problem of safeguarding nuclear materials in a world of malfunctioning people», *Bulletin of Atomic Scientists*, mai 1975, pp. 12-16.

Options et lignes de force techniques

9. Michael A. McCollum, «The Disposal of Nuclear Waste in Space: Will It Ever Be Feasible?», *Analog Science Fiction/Science Fact*, mars 1978, pp. 36-46.

10. D.P. Mackenzie, «Plate Tectonics and its Relationship to the Evolution of Ideas in the Geological Sciences», *Daedalus*, été 1977, pp. 97-124.

11. A.S. Kubo et D.J. Rose, «Disposal of Nuclear Wastes», *Science*, 21 décembre 1973, pp. 1205-1211.

12. G.I. Rochlin, «Nuclear Waste Disposal: Two Social Criteria», *Science*, 7 janvier 1977, pp. 23-31.

13. Plusieurs rapports de l'Energy, Research and Development Administration, et plus récemment du Secrétariat à l'Environnement et de groupes de travail du Secrétariat à l'Environnement; *Chemical Engineering News*, 17 mai 1976, p. 7.

14. Bernard L. Cohen, «The Disposal of Radioactive Wastes from Fission Reactors», *Scientific American*, juin 1977, pp. 21-32; également plusieurs rapports de l'APS, du KPS et de la National Academy of Science.

15. Hans Georg Classen, «Planning to the Year 252000: Geological Disposal of Nuclear Waste», *Geos*, printemps 1976, pp. 10-12.

16. Energy, Research and Development Administration, *Creating Energy Choices for the Future*. 1975, vol. 2, Program Implementation, pp. 118-124.

Voir également

Jeff Carruthers, «Arc plutons the answer to nuclear waste disposal?», *Science Forum*, décembre 1975, pp. 15-16.

«Changes urged in nuclear waste regulations», *Chemical & Engineering News*, 20 septembre 1976, pp. 20-21.

Gary J. Dau, «Nuclear Waste Management», *Batelle Today*, février 1977, pp. 3-6.

R.C. Ewing, «Metamiat Mineral Alternation: An Implication for Radioactive Waste Disposal», *Science*, 25 juin 1976, pp. 1336-1337.

Frank Feates et Norman Keen, «U.K. Research on Underground Waste Disposal», *Atom*, mai 1978, pp. 128-130.

P. Grimwood et Geoffrey Webb, «Can nuclear wastes be buried at sea?», *New Scientist*, 24 mars 1977, pp. 709-711.

F. Kenneth Hare, «Nuclear Power and the Environment», Conseil consultatif canadien de l'environnement, *Revue annuelle*, 1977, pp. 60-64.

E. Jeffs, «Vitrification holds answer to waste disposal dilemma», *Energy International*, juin 1976, pp. 31-36.

Locating a Fuel Cycle Centre: Comments from Madoc, A Submission from Citizens Opposing Radioactive Pollution to the Royal Commission on Electric Power Planning, septembre 1977, 12 p.

G.J. McCarthy et coll., «Interactions between nuclear waste and surrounding rock», *Nature*, 18 mai 1978, pp. 216-217.

W.F. Merriitt, *Fixation of Radioactive Waste in Glass*, Rapport AECL-5800, avril 1977, pp. 81-85.

William D. Metz, «New Review of Nuclear Waste Disposal Calls for Early Test in New Mexico», *Science*, 31 mars 1978, pp. 1422-1423.

«New process consolidates radioactive wastes, Sandia Laboratories», *Chemical & Engineering News*, 12 janvier 1976, pp. 32-33.

«A solid solution to nuclear wastes», *New Scientist*, 18 mai 1978, pp. 429.

Christopher Talbot, «Radioactive sinkers», *New Scientist*, 13 juillet 1978, pp. 126-127.

«Technology: New problems arise for nuclear waste storage — Studies on the effects of heat in underground geologic formations indicate that those may not be safe places to store radioactive wastes», *Chemical & Engineering News*, 12 juin 1978, p. 28.

«Underground Storage Radioactive Waste Repository, Acres», *Rapport*, septembre 1977, pp. 3-4.

Hypothèses de travail sous-tendant l'élaboration d'une politique de R, D & D en matière de gestion et de confinement des combustibles irradiés

17. *The Management of Canada's Nuclear Wastes*, Rapport EP77-6, Énergie, Mines et Ressources Canada, 31 août 1977, 63 p.; *L'ambiance et ses contaminants — Une politique de lutte contre les agents toxiques à retardement de l'ambiance professionnelle et de l'environnement*, Rapport n° 28 du Conseil des sciences du Canada, octobre 1977, 76 p.

18. Sir Brian Flowers, VI^e Rapport de la Commission royale de pollution de l'environnement: *Nuclear Power and the Environment*, HMSO Cmnd 6618, septembre 1976; Sir Brian Flowers, président de la Commission royale d'enquête sur la pollution de l'environnement du Royaume-Uni, «Contributions on Public Policy Decision», 60^e réunion du Conseil des sciences du Canada, Ottawa, 11 février 1977; «Government announces study on radioactive waste disposal», *Nuclear Canada*, juillet-août 1977, p. 3; Robert J. Uffen, «Let's go slowly on a nuclear power program until we've solved waste problems», *Science Forum*, octobre 1977, pp. 3-8; David V. Bates, «Opening Up Governmental Decision

Making», *Science Forum*, octobre 1977, p. 2; *L'ambiance et ses contaminants*, *op. cit.*; A.M. Aiken, et coll., *op. cit.*

19. *L'ambiance et ses contaminants*, *op. cit.*

20. J.H.F. Jennekens, «Regarding premature entry into reprocessing of irradiated fuel», *Compte rendu*, Comité permanent des ressources naturelles et des travaux publics, Ottawa, 20 décembre 1977, p. 6.

Voir également

J.B. Morris et coll., «Durability of vitrified highly active waste from nuclear reprocessing», *Nature*, 18 mai 1978, pp. 215-216.

Nuclear Wastes A Critique of EMR Report EP77-6: «The Management of Canada's Nuclear Wastes», Canadian Coalition for Nuclear Responsibility, sous la présidence de Gordon Edwards, février 1978, xii; 59 p.

Envergure de l'effort

21. *Communiqué final et Technical and Economic Scope and Methods of Work*, Conférence d'organisation sur l'évaluation internationale du cycle du combustible nucléaire, Washington, D.C., 19-21 décembre 1977, Document n° 41, 3 p.; Document n° 21, Révision n° 3, 10 p.; également une série de rapports de l'OCDE qui paraissent sans cesse.

2. Démonstration de la faisabilité du cycle du thorium

Parachèvement de la filière CANDU

Le Rapport n° 23 sur «Les options énergétiques du Canada» a recommandé, entre autres lignes de force du développement futur de la filière à fission nucléaire¹:

- «la mise au point plus attentive de nouvelles techniques de valorisation des minerais d'uranium de teneur décroissante»;
- «d'étude plus attentive de l'utilisation du thorium dans les cycles de combustible de la filière CANDU, afin d'accroître substantiellement nos réserves de combustibles nucléaires»;
- «l'évaluation permanente des avantages du recyclage du plutonium produit dans les centrales CANDU actuelles».

Cependant le Rapport observe que

«l'amélioration économique éventuelle du cycle du combustible doit être soigneusement comparée avec les désavantages du mode de recyclage qui serait nécessairement utilisé».

Les recommandations du Rapport n° 23 du Conseil des sciences sont fondamentalement valables actuellement, et elles fournissent un cadre au perfectionnement technique constant de la filière CANDU, comme on s'y attendait en général². Plus récemment, certains chercheurs et hauts fonctionnaires ont envisagé le développement futur du réacteur CANDU et la mise au point du cycle du thorium³. Sur le plan théorique, la faisabilité et la rentabilité de l'utilisation du thorium dans la filière CANDU n'offre que peu d'aléas⁴. Il est possible de modifier la filière CANDU afin qu'elle convertisse le thorium en uranium 233 fissile, par capture de neutrons.

Cependant, contrairement à ces perspectives optimistes, il semble que le développement futur de la filière à fission nucléaire se heurtera à la farouche opposition de certains groupes⁵. Peu de détracteurs de la filière électronucléaire se sont déjà attaqués directement à l'utilisation du thorium comme combustible; cependant, en continuant à mettre en relief les considérations externes et les risques appréhendés, tels que la pollution thermique, les dangers sanitaires (p. ex., par irradiation, et inhalation de radon), les accidents au réacteur (p.ex., fuites de caloporteur, fusion de la charge), les actes de terrorisme et la dissémination des armements nucléaires, ils nous montrent bien quelles en sont les conséquences. Plus récemment, l'attention du public a été attirée par les dangers de la manutention des déchets de combustible irradié⁶.

Sur le plan international, les problèmes de la large diffusion de l'énergie nucléaire et de la dissémination des armements nucléaires exigent des solutions politiques (p. ex., le Traité sur la non-dissémination des armements nucléaires) et la mise en place d'organismes internationaux pour leur réglementation efficace (p. ex., l'Agence internationale de l'énergie atomique⁷). Le Traité et l'Agence s'efforcent de limiter la dissémination des armements nucléaires, sans gêner l'utilisation pacifique de l'énergie nucléaire.

Il est évident que l'examen de la réglementation des armements, de la sécurité, des attitudes et des espoirs, et des actes de terrorisme nucléaire outrepassent le cadre du présent Rapport⁸. On peut seulement observer que les armements nucléaires se disséminent même en l'absence de développement de l'énergie nucléaire et que, ce qui est plus important, l'expansion de l'électronucléaire accroîtra probablement les possibilités de dissémination des armements⁹. En dépit de cette situation difficile, il

faut prendre des mesures efficaces en matière de sécurité et de lutte contre la dissémination des armements, et le Canada joue un rôle important en cette matière¹⁰.

Dans la politique nucléaire du Président Carter, les Canadiens ont vu la possibilité de pousser le perfectionnement de la filière CANDU. Simon Rippon souligne ce qui suit:

« . . . et pour ne pas être surpassé, Bennett Lewis, le père de la filière CANDU, a rappelé ses possibilités de surgénération grâce à l'utilisation d'un réacteur à eau lourde et caloporteur organique, et d'un combustible constitué d'un mélange d'uranium faiblement enrichi et de thorium¹¹. »

La politique américaine du Président Carter, qui renonce à la réalisation du programme de construction du surgénérateur et au traitement commercial immédiat de combustibles irradiés, peut être considérée avec quelque scepticisme, en raison de l'hypothèse qu'elle adopte d'une croissance nulle de l'énergie électrique consommée; cependant, on ne peut pas la laisser de côté, en raison de son influence sur la politique énergétique mondiale.

Il serait peut-être bon de récapituler ici le développement de la filière CANDU. Le programme électronucléaire canadien a été lancé il y a vingt-cinq ans, en le fondant sur le réacteur CANDU ralenti à l'eau lourde et alimenté en uranium naturel. À ce moment-là, le programme de R & D de soutien portait entre autres sur le recyclage du combustible et la fixation des déchets radioactifs. Vers 1958, l'EAEC conclut que le recyclage du combustible n'était pas économiquement nécessaire pour la première génération de réacteurs CANDU. Les spécialistes de cette société estimèrent aussi qu'il était possible de confiner en permanence les déchets radioactifs tels qu'ils proviennent du recyclage, par fixation ou insolubilisation. En conséquence, le principal effort porta sur le développement de la filière CANDU à cycle unique du combustible. On décida d'emmagasiner les combustibles irradiés dans des ouvrages de stockage temporaire, conçus pour qu'il soit possible d'y accéder, c'est-à-dire des « piscines », jusqu'au moment où il serait nécessaire de reprendre le traitement. Pendant ce temps, la plupart des autres pays se servant de réacteurs à uranium enrichi avaient basé leur approvisionnement en combustible sur le recyclage, qui procure des avantages immédiats. L'uranium-235 serait récupéré pour servir à nouveau dans les réacteurs existants, et le plutonium pour alimenter des surgénérateurs à neutrons rapides, afin d'accroître les ressources en uranium¹².

Aux États-Unis, on a passé récemment en revue les conditions économiques et les incidences du recyclage des combustibles irradiés¹³. La politique nucléaire du Président Carter a été mal comprise par les nombreux intéressés qui n'ont pas suivi de près le programme des États-Unis¹⁴. Comme un expert le déclare, il a annoncé une politique parallèle à celle du Canada, c'est-à-dire de non-recyclage commercial du combustible dans l'avenir proche, de stockage des combustibles irradiés, et de poursuite de l'effort de R & D sur les divers cycles de combustibles, tout en poussant les travaux sur le confinement des déchets radioactifs. La politique américaine préconise la poursuite de la R & D sur les surgénérateurs, mais souligne que la conception particulière du réacteur de démonstration de Clinch River est dépassée, et qu'il faut abandonner cette démonstration¹⁵. Bien entendu, ce n'est qu'une interprétation possible de la politique nucléaire que propose le président Carter. Actuellement, on ne connaît nullement les incidences de cette politique sur le développement global de la filière électronucléaire, et même sur la politique énergétique à long terme des États-Unis¹⁶. Elle dépendra beaucoup des programmes d'information et de l'acquiescement du public au développement de la filière électronucléaire¹⁷.

En résumé, on peut décrire comme suit la faisabilité politique du cycle du thorium au Canada: en raison des décisions prises lors de la réunion au sommet de Londres en 1977, le gouvernement canadien donne le feu vert aux recherches sur ce cycle de combustible, mais les confine aux laboratoires jusqu'à clarification de la situation internationale. Ce cadre de recherche sera maintenu jusqu'à l'achèvement de l'Évaluation internationale du cycle du combustible nucléaire, auquel participent environ quarante nations. Ainsi, le programme d'évaluation du cycle du combustible au Canada, tel qu'il existait en 1977, sera prolongé pour environ deux ans. Dans l'intervalle, le Canada se trouve dans une position très favorable. Il dispose: 1° de fortes quantités d'uranium et 2° de réacteurs aisément adaptables.

Pour clore cette section, nous mentionnerons une autre option, qui est en fait l'option optimale pour le combustible à cycle unique pouvant être utilisé avec la filière CANDU: l'utilisation d'uranium enrichi à 1,2 pour cent.

Cadre d'une politique de R, D & D sur le cycle du thorium

Hypothèses concernant le perfectionnement du cycle du thorium

Nous allons mentionner ci-dessous certaines considérations qui joueront un rôle stratégique notable:

1° Les besoins énergétiques du Canada au cours du prochain siècle seront beaucoup plus élevés qu'ils ne le sont actuellement, même dans l'hypothèse d'une stricte économie de l'énergie. Vers 2020, nous pouvons espérer, au mieux, réduire de moitié l'étroit couplage entre le PNB et les besoins énergétiques. Même avec ce «succès» extraordinaire sur le plan socio-économique et technique, il faudra encore un large approvisionnement énergétique.

En cette matière les approvisionnements ne sont nullement assurés. Il est donc bien évident que les Canadiens devront finalement mettre sur pied une filière énergétique nouvelle et appropriée. L'utilisation des réserves charbonnières est la première à venir à l'esprit, en raison de l'existence de vastes gisements.

2° Il se peut que l'utilisation directe du charbon pour le chauffage et la production d'électricité ne constitue qu'un expédient transitoire, en dépit de son importance à court et à moyen termes. Le gaz carbonique produit par la combustion du charbon et des autres combustibles fossiles risque, à long terme de produire des effets désastreux en causant l'échauffement de l'atmosphère par effet de serre. Il n'existe pas de solution pratique à ce risque d'environnement, qu'on n'a d'ailleurs pas encore scientifiquement prouvé. Bien que l'échauffement de la surface terrestre par la présence de particules et d'autres polluants tels que le dioxyde de soufre et les oxydes d'azote soit très incertain, quelques chercheurs fixent au début du prochain siècle l'apparition d'incidences climatiques cruciales de cette pollution sur le plan mondial.

Nos connaissances sur le cycle global du carbone sont bien faibles, à cause de l'insuffisance ou des lacunes des données recueillies; mais il faut cependant prendre des décisions à long terme: «dans la meilleure hypothèse, le CO₂ va continuer à s'accumuler dans l'atmosphère, comme il l'a fait dans un passé récent»¹⁸.

Vers 2025-2050, il se peut que l'accumulation de CO₂ dans l'atmosphère terrestre entraîne des phénomènes globaux, et qu'il soit nécessaire de limiter l'utilisation du charbon pour la production directe de chaleur et d'électricité. Il ne serait donc pas surprenant que, vers 2030, la pollution urbaine et régionale oblige la collectivité à résoudre les dilemmes socio-écologiques en favorisant une production d'énergie qui respecte l'équilibre de l'écosystème terrestre.

La controverse engendrée par l'accumulation de CO₂ dans l'atmosphère, et par ses effets catastrophiques éventuels sur le climat: «constitue un aspect du débat concernant l'utilisation à long terme du charbon, ou alors de sources énergétiques ne produisant pas de CO₂, telles les filières nucléaire, solaire et biochimique»¹⁹.

3° Il est nécessaire de disposer de longs délais pour mettre sur pied d'autres options énergétiques, telles les filières éolienne et géothermique, marémotrice et électro-solaire²⁰. Leur contribution sera assez faible au commencement.

4° Les Canadiens ne peuvent attendre la réalisation retardée des surgénérateurs ou d'autres options, que les sources américaines presque officielles envisagent pour l'horizon 2020²¹. En recommandant une stratégie, nous ne pouvons nous contenter d'espérer qu'une technologie inconnue comblera miraculeusement l'écart entre des besoins déjà réduits et un approvisionnement énergétique insuffisant au Canada.

5° Même si on réussit à la mettre au point, la filière à fusion nucléaire ne pourra jouer un rôle important au Canada avant les années 2025-2030. Il est probable que le premier réacteur commercial au Monde ne sera pas construit avant l'an 2015. Il semble bien aléatoire que la filière à fusion nucléaire puisse fournir de l'électricité concurrentielle avant l'horizon 2030.

6° La filière électrosolaire, en tant que source permanente d'énergie, et spécialement au Canada plutôt qu'aux États-Unis, ne pourrait produire éventuellement des résultats qu'après l'horizon 2025.

7° Selon l'Office national de l'énergie et l'Agence internationale de l'énergie atomique²², voici quelles sont les quantités d'uranium extraites dans les principaux pays exportateurs:

Année	Quantités en tonnes	Croissance en %
1976	18 000	—
1980	50 000	29
1985	100 000	15

Les réserves de minerai uranifère indiqué atteignent environ 1,75 Mt (millions de tonnes) d'uranium qu'on peut extraire à un coût assez acceptable (disons 110 \$ par kilogramme d'UO₂; selon des données plus récentes, les réserves mondiales de minerai uranifère indiqué, et exploitables à des coûts inférieurs à 130 \$ par kilogramme d'UO₂, atteignent 2,2 Mt)²³. Pour comparaison, notons que les réserves ci-dessus atteignent 175 fois le taux annuel d'extraction prévu pour 1985, soit 100 000 t. Il n'en résulte pas que les réserves d'uranium seront épuisées aux alentours de 1995. En effet, et contrairement aux préoccupations exprimées ailleurs dans le Monde (p. ex., par l'OCDE) au sujet de la pénurie d'uranium prévue pour la fin du présent siècle, le Canada dispose de réserves suffisantes pour son utilisation interne, et peut espérer les accroître grâce à des investissements judicieux. En conséquence, la comparaison entre besoins en uranium et approvisionnement, non immédiats mais à long terme, montre la nécessité d'élargir les ressources utilisables à mesure que diminueront les réserves de minerai uranifère exploitable à un coût raisonnable.

8° Sur le plan mondial, les programmes proposés de réacteurs à neutrons lents opéreront une ponction considérable sur les réserves connues d'uranium. Le programme CANDU, comme ceux d'autres réacteurs à neutrons lents, fonctionnant sans recyclage du plutonium ni utilisation du thorium, exigera un approvisionnement d'uranium en croissance exponentielle pour fournir une part notable des besoins énergétiques du Canada à l'avenir²⁴. Les autres facteurs à prendre en considération sont les exportations et les programmes d'aide aux pays en développement. Il est évident que les besoins en uranium croîtront à l'échelle

mondiale. Dans ces conditions, et dans l'hypothèse d'une poursuite de l'effort d'économie des ressources, la politique énergétique du Canada favorisant l'économie de toutes les ressources de quantité finie à l'exception de l'uranium manquerait de cohérence.

Comme il est impensable, lors de la prospection pétrolière, de négliger des indices de pétrole et de gaz proches du rivage (p. ex., à l'île de Sable), avant de lancer un programme de prospection dans les eaux profondes, il ne paraît pas raisonnable d'entreprendre le perfectionnement d'une filière nucléaire avancée sans évaluer la contribution éventuelle des abondantes ressources en thorium. Il semble incompatible, en effet, de s'efforcer de trouver des remplaçants au pétrole et ultérieurement au gaz, parce que les réserves sont finies, et en même temps de négliger d'étendre l'approvisionnement en combustibles nucléaires par l'utilisation du thorium.

9° Tous les réacteurs électronucléaires en développement, qu'ils soient à neutrons lents ou rapides, exigeront un approvisionnement continu en uranium pendant une très longue durée. Cependant, en l'absence de mise en œuvre du cycle du thorium, le programme électronucléaire basé sur l'utilisation de réacteurs aux seuls neutrons lents (même le réacteur CANDU de haute efficacité) nécessitera un approvisionnement en uranium plus grand et, en conséquence, il coûtera beaucoup plus cher.

10° L'existence d'une filière du thorium économique et sécuritaire fournirait les incitations nécessaires à «l'exploitation des réserves marginales d'uranium» pour l'exportation, en même temps qu'à la prospection des gisements de thorium associés. On abandonnerait donc l'exploitation des seules poches de minerai riche, et il s'ensuivrait un accroissement des réserves totales en uranium.

11° Il faut faire une distinction nette entre: a) l'évaluation de la validité du recyclage du plutonium produit par les centrales électronucléaires CANDU grâce à un effort de R, D & D, et b) la production effective de l'énergie grâce à du thorium et à des combustibles recyclés. Les actions a) et b) se différencient par la mise en œuvre d'un programme à long terme de recherches appliquées, de développement technique et de commercialisation concernant le cycle du thorium.

12° Il faudra probablement vingt-cinq années pour mettre au point et essayer la technologie du cycle du thorium et des processus annexes.

13° Si l'on étend le cycle du combustible pour y inclure le recyclage des déchets, on introduit de nouveaux risques sanitaires. Il faut mettre en évidence les répercussions des opérations proposées, et les évaluer en quantités tant absolues que relatives. Il faut établir la crédibilité des solutions éventuelles. Cependant, les répercussions ne seront probablement pas toutes nuisibles. L'utilisation du thorium, parallèlement au recyclage des déchets, limiterait l'ampleur des opérations d'extraction et de traitement de l'uranium, et donc réduirait éventuellement les répercussions sanitaires de ces activités.

14° Au cours de cet examen d'un cadre pour la politique de R, D & D du cycle du thorium, on doit prendre pour acquis que cet engagement à long terme est compatible avec la stratégie industrielle du Canada en général, et avec le dynamisme de l'industrie nucléaire du pays en particulier.

En résumé, il sera difficile de mettre au point et en œuvre de nouvelles technologies pertinentes, et avantageux de se fonder sur les connaissances acquises et sur ce qu'il est possible de réaliser à mesure des besoins, c'est-à-dire sur le cycle du thorium.

Ampleur de l'effort

L'expérience acquise, tant au Canada qu'à l'étranger, permet d'espérer en la faisabilité technique du cycle proposé du thorium. Cependant, il reste de grands efforts à faire avant que ce dernier ne constitue l'option sûre étayant la décision d'entreprendre le retraitement et le recyclage commercial des combustibles irradiés. Il faut effectuer d'autres expériences pour préciser les détails primordiaux, et donc les possibilités de chaque processus employé. En outre, la mise en œuvre du cycle du thorium nécessite la réalisation d'actions-pilotes de laboratoire, tant de l'épuration chimique de combustible épuisé que du conditionnement pour le recyclage, en vue d'établir des évaluations fiables des coûts de ces opérations, et d'acquérir l'expérience nécessaire pour concevoir de plus grandes installations éventuelles.

Comme le recyclage du combustible irradié nécessite la manipulation, entre autres, de plutonium ou d'uranium 233, qui sont toxiques et fissiles, une grande partie de la démonstration devra montrer que le recyclage du combustible extrait des réacteurs CANDU ne crée pas des possibilités inacceptables de dégagement accidentel et des risques pour la santé des travailleurs et du public.

1. Repères

a) Voici quelques références bibliographiques utiles:

- Heinrich Mandel, «Construction costs of nuclear power stations», *Energy Policy*, mars 1976, pp. 12-24.
- J.S. Foster, «Financial Resources Required for the Future Nuclear Power Program», Communication CNA-73-502, présentée à la réunion de l'Association nucléaire canadienne, 17-20 juin 1973, 20 p.; également *Compte rendu* du Comité permanent des ressources nationales et des travaux publics, 15-3-1977.
- Énergie atomique du Canada limitée, *Rapport annuel 1976-1977*, 15 p. F 13 p. et T 33 p.
- J.A.L. Robertson, *Research and Development for Canadian Power*, AECL-5314, Ottawa, Ont. janvier 1976, 17 p.

b) Communiqué de presse de l'EMR, 11 février 1977; Enveloppe fédérale de R & D énergétique (1976-1978): Cycle du combustible nucléaire = 15 900 000 \$ par an.

c) *Inventory of Energy R & D*, EMR, février 1977; Enveloppe fédérale de R & D énergétique 1976-1977:

«3. Énergie nucléaire	93 739 000 \$
3.1 R & D étayant la fonction réglementaire	2 026 000 \$
3.2 Acquisition des combustibles: uranium et thorium	5 217 000 \$
3.3 Utilisation de l'énergie nucléaire et services de soutien	84 713 000 \$
3.4 Fusion nucléaire	1 783 000 \$»

d) «A possible reprieve for the fast breeder»*, *Business Week*, 20 juin 1977, p. 31:

*Cependant le réacteur à cycle du thorium proposé est un réacteur à neutrons lents, et non un surgénérateur.

- Le surgénérateur-pilote de 350 MW qu'on se propose de construire à Clinch River, Tennessee, a déjà coûté environ 102 millions de \$ É.-U.
- M. Schlesinger, Secrétaire à l'énergie des États-Unis, a estimé que ce surgénérateur coûterait finalement 1,5 milliard de \$.
- Une installation de recyclage à moitié construite a déjà coûté 250 millions de \$

c) S.R. Hatcher, Communications des 6 et 22 décembre 1977 et du 26 juillet 1978, pages diverses.

Les experts estiment que le programme de R, D & D sur le cycle du thorium coûtera de 1,5 à 2 milliards de \$ au cours d'une période de vingt-cinq ans débutant en 1980. Le dixième environ de ce total pourrait être dépensé au cours des cinq premières années; les dépenses les plus fortes se produiraient au cours du second quinquennat, pour la construction des grandes installations-pilotes.

2. Calculs préliminaires

Le programme de démonstration nécessiterait le financement suivant:

a) *R & D complémentaire*

- 3 équipes travaillant trois années, chacune au coût annuel de 375 000 \$, soit: 3 375 000 \$

b) *R & D permanente*

- 3 équipes travaillant 3 années, chacune au coût annuel de 750 000 \$, soit: 6 750 000 \$
- une équipe de coordination des systèmes travaillant au coût annuel de 375 000 \$, soit: 6 000 000 \$

Total partiel: 12 750 000 \$

c) *Installations expérimentales et installations-pilotes*

- Réacteur utilisant le cycle du thorium ou modification du réacteur CANDU existant
- Épuration chimique de combustible épuisé
- Conditionnement télécommandé du combustible recyclé

Total partiel 150 000 000 \$

d) *Évaluation des installations-pilotes, choix des prototypes et étude d'ingénierie de l'entière filière de démonstration à échelle plus grande.*

- Part au titre de la démonstration: Environ 15 pour cent du total des coûts estimés soit: 262 500 000 \$

e) *Filière de démonstration du thorium et perfectionnement*

- Sous-ensemble du cycle du thorium. Le montant le plus probable, selon l'information analysée serait de: 725 000 000 \$
- Sous-ensemble d'épuration
Disons une capacité de retraitement de 1 000 tonnes de combustible irradié par an: 231 375 000 \$

- Installation de conditionnement du combustible
Atelier d'usinage du plutonium plus les volumes-tampons (*temporary storage sub-systems*) à court et à moyen termes: 365 000 000 \$

Total partiel:	1 321 375 000 \$
Total général:	1 750 000 000 \$

Cadre chronologique

Les programmes d'énergie électronucléaire se déroulent sur un temps très long, et ils influencent largement les lignes de conduite de tout le secteur énergétique de l'économie. En prenant en considération le cadre chronologique des actions prévues, nous envisageons l'éventualité d'une pénurie définitive d'énergie au cours du prochain siècle, qui prendra la forme de difficultés d'approvisionnement pétrolier et peut-être gazier, l'absence de grands gisements uranifères à haute teneur aggravera cette pénurie reliée aux problèmes globaux posés par le passage des réacteurs à neutrons lents aux surgénérateurs, au tournant du XXI^e siècle.

Il est évident que la filière du thorium, si on décide de la mettre en œuvre, ne sera pas commercialisable à l'horizon 1985. Cependant, l'entière filière énergétique du thorium pourrait être largement utilisée vers 2015-2020. Contrairement à l'opinion d'experts d'autres pays, estimant que des programmes similaires pourraient déboucher sur des succès substantiels avant la fin du XX^e siècle, nous croyons que la filière CANDU à cycle du thorium, si elle est largement commercialisée, n'aura une production notable qu'au cours de la première partie du XXI^e siècle.

Périodes critiques pour le développement énergétique

L'écart entre les besoins et l'approvisionnement énergétiques deviendra critique à l'horizon 1985, et de nouveau vers 2025, quand les approvisionnements en pétrole et en gaz seront devenus de plus en plus difficiles²⁵.

La démonstration de la faisabilité du cycle du thorium permettra de recueillir des données pour la mise au point commerciale de toutes les installations auxiliaires de conditionnement du thorium, de retraitement du combustible irradié, et de stockage des déchets, indispensable au fonctionnement de la filière à échelle normale après l'horizon 2000. C'est seulement à l'intérieur de ce cadre chronologique que les réacteurs au thorium pourraient peut-être apporter des avantages effectifs, et justifier le coût élevé de l'effort de R, D & D pertinent. Si la filière du thorium contribue ainsi à l'approvisionnement énergétique dans une période très critique, la plupart des Canadiens appréhenderont sans difficulté et accepteront les arbitrages entre les avantages et les risques mentionnés dans «Les options énergétiques du Canada».

Dans cette hypothèse, et en déroulant à l'envers l'échéancier qui conduit à l'an 2025, voici quelles seraient les étapes à suivre:

a) Commercialisation du cycle du thorium et économie d'uranium

En considérant que la filière à thorium nécessitera quand même d'importantes quantités d'uranium pendant 25 à 35 années après sa mise en œuvre, nous recommandons que celle-ci soit faite en 1990, ou à la date postérieure la plus proche possible. Il est indispensable de procéder de cette façon accélérée car, autrement, les besoins en uranium des réacteurs CANDU seraient très élevés pendant une très longue durée.

b) *Construction des usines-pilotes*

Il faudra sans doute construire plusieurs usines (probablement trois) utilisant différents procédés, mais implantées dans le même complexe de démonstration du cycle du thorium. Dans l'hypothèse où cette construction et les essais nécessiteraient dix ans, il faudrait entreprendre les préparatifs de construction des usines de démonstration dès 1980.

c) *Phase de R & D*

Dans l'hypothèse où l'effort de recherche et de perfectionnement pour la réalisation d'un prototype de réacteur au thorium nécessiterait vingt années, cette phase aurait dû débiter dès 1960. Le Rapport annuel de l'ÉACL pour 1976-1977, à l'article des cycles perfectionnés de combustible, déclare en fait qu'on a réalisé une étude sur la transformation du réacteur WR-1 pour utilisation d'un combustible aux oxydes de plutonium et de thorium, et qu'on a exploré des techniques de conditionnement pour l'uranium-233. Le Rapport indique en outre qu'on étudie un projet de transformation d'un réacteur de recherche pour utilisation du combustible à l'oxyde de thorium. Une étude réalisée à l'Établissement de recherches nucléaires de Whiteshell a montré qu'il est possible de transformer un réacteur WR-1 pour utilisation de l'oxyde de thorium, et d'employer le ZED-2 pour des expériences étendues d'irradiation préliminaire; ces travaux fourniraient la plupart de l'information nécessaire sous forme: 1° de données sur le fonctionnement physique du réacteur; 2° de méthodes d'étude et d'analyse et 3° de caractéristiques nucléaires des réacteurs CANDU alimentés au thorium. Le Rapport conclut que ces activités devront être complétées ultérieurement par des expériences menées à l'aide d'uranium-233 extrait du combustible irradié.

Nous croyons donc qu'il serait fort possible, dans ce cadre chronologique, de mettre au point le cycle du thorium et ses sous-ensembles avant l'horizon 2005, grâce à un processus de perfectionnement constant, jusqu'à ce qu'ils atteignent le degré de perfection actuel de la filière CANDU à uranium naturel. On pourrait aussi procéder autrement, en partant de la situation actuelle et en déterminant si un programme de démonstration entrepris immédiatement après l'achèvement de l'Évaluation internationale du cycle du combustible nucléaire permettrait la mise en œuvre du cycle du thorium au moment approprié.

Échéancier illustratif du financement

Quelques incertitudes obscurcissent le déroulement de la démonstration de la faisabilité du cycle du thorium, en partie à cause de complexes fluctuations internationales. En outre, et bien que la répartition illustrative du financement soit basée sur les différentes étapes du programme de R, D & D, celles-ci ne sont pas indiquées explicitement, car l'échéancier des dépenses est très largement influencé par les longs délais nécessaires. Voici quel serait, à titre purement illustratif, la répartition chronologique du financement nécessaire à la démonstration de la faisabilité de la filière au thorium:

Année	Dépenses annuelles	Dépenses cumulées
1979	7 000 000 \$	7 000 000 \$
1980	10 000 000	17 000 000
1981	15 000 000	32 000 000
1982	23 000 000	55 000 000
1983	40 000 000	95 000 000
1984	80 000 000	175 000 000
1985	140 000 000	315 000 000
1986	210 000 000	525 000 000

1987	280 000 000	805 000 000
1988	270 000 000	1 075 000 000
1989	237 500 000	1 312 500 000
1990	126 000 000	1 438 500 000
1991	87 500 000	1 526 000 000
1992	60 000 000	1 586 000 000
1993	38 000 000	1 620 000 000
1994	28 000 000	1 652 000 000
1995	22 000 000	1 674 000 000
1996	18 000 000	1 692 000 000
1997	14 000 000	1 706 000 000
1998	10 000 000	1 716 000 000
1999	8 000 000	1 724 000 000
2000	7 000 000	1 731 000 000
2001	6 000 000	1 737 000 000
2002	5 000 000	1 742 000 000
2003	4 000 000	1 746 000 000
2004	4 000 000	1 750 000 000
Total	1 750 000 000 \$	

Notes et bibliographie

Le parachèvement de la filière CANDU

1. *Les options énergétiques du Canada*, Rapport n° 23 du Conseil des sciences, mars 1975, 151 p.

2. «C.N.A. President Secord Answers Critics of CANDU», *Electrical News and Engineering*, mars 1970, p. 28; Lloyd C. Secord, «Canadian Nuclear Industry — 1970», Communication n° 70-CNA-601 présentée à la X^e Conférence annuelle de l'Association nucléaire canadienne, Toronto, 24-27 mai 1970, 13 p.; W. Bennet Lewis, «Foreseen Development of CANDU Reactors to 2000 A.D.», Communication n° 71-CNA-305 présentée à la XI^e Conférence annuelle internationale de l'Association nucléaire canadienne, Montréal, 20-23 juin 1971, 10 p.; H. Smith, *A Review of the Development and Status of CANDU Nuclear Power Plant*, Rapport NGD-5 de l'Ontario Hydro, 23 avril 1975, pp. 1-25.

3. A.J. Mooradian, «Understanding the Nuclear Issues», communication à la Conférence de l'Association nucléaire canadienne, 13-16 juin 1976, résumé, 1 p.; ISSN 0317-168; 76-CNA-300; A.J. Mooradian, «CANDU — Future Potential», Communication à la Tribune du Comité parlementaire et scientifique de SCITEC, 16 novembre 1976, 19 p.; *Rapport annuel pour 1976 de l'Ontario Hydro*, 33 p.; Citons particulièrement: "C'est l'énergie nucléaire qui ouvre l'avenir . . .", pp. 12-13; J.S. Foster, *The Role of Conventional Energy Resources — Nuclear*, Compte rendu du Forum national canadien de l'énergie, 4-5 avril 1977, Halifax, N.-É., pp. 105-115; E. Critoph, «The Thorium Fuel Cycle in Water-Moderated Reactor Systems», Conférence de l'Agence internationale de l'énergie atomique sur l'énergie nucléaire et son cycle de combustible, Salzbourg, Autriche, 2-13 mai 1977, AECL-5705, 15 p.; L.C. Secord, Mémoire de l'Association nucléaire canadienne, *Compte rendu*, Comité permanent des richesses naturelles et des travaux publics, Ottawa, 2 juin 1977, 27 p.; Joan Cohen, «Nuclear Power, the inevitable answer», *The Citizen*, Ottawa, 12 octobre 1977; J. Boulton, «Nuclear Energy in Canada — A Future Perspective», IV^e Tribune nationale canadienne de l'énergie sur la R, D & D énergétique, Winnipeg, 28 octobre 1977, 20 p.; «Nuclear Energy: necessary risk?», *The Financial Post*, Rapport spécial, 28 janvier 1978, pp. 27-32; J.A.L. Robertson, «The CANDU Reactor System: An Appropriate Technology», *Science*, 10 février 1978, pp. 657-664; S.R. Hatcher et coll., *Thorium Cycle in Heavy Water Moderated Pressure Tube (CANDU) Reactors*, Rapport AECL-5398, 1976; Robert Steklasa, «New CANDU fuel cycle urged», *The Financial Post*, 16 avril 1977; H.A. Bethe, «The Necessity of Fission Power», *Scientific American*, janvier 1976, pp. 21-31; S.R. Hatcher, *Prospects for* avril 1977, pp. 86-94; Energy Report, «Possible nuclear reactor fuel seen in thorium-uranium

grouping», *Oilweek*, 26 septembre 1977, pp. 34-35; John Davies, «Conserving uranium without the fast breeders», *Nature*, 1^{er} décembre 1977, pp. 376-377.

4. R. Steklasa, *op. cit.*; S.R. Hatcher, *op. cit.*

5. John P. Holdren, «Hazards of the Nuclear Fuel Cycle — The solutions to the problem lie beyond technology», *Bulletin of Atomic Scientists*, octobre 1974, pp. 14-23; Mason Willrich et Theodore B. Taylor, *Nuclear Theft: Risks and Safeguards*, Rapport pour le projet de politique énergétique de la Fondation Ford, Ballinger, Cambridge, Mass., 1974, 252 p.; John McPhee, *The Curve of Binding Energy: A Journey into the Awesome and Alarming World of Theodore B. Taylor*, Farrar, Straus and Giroux, New York, 1974, 232 p.; Fabien Gruhier, «Plutonium... Métal maud», *Québec Science*, octobre 1975, pp. 21-25; Sheldon Novick, *The Electric War — The Fight Over Nuclear Power*, Sierra Club Books, 1976, 376 p.; Amory B. Lovins, *Soft Energy Paths: Toward a Durable Peace*, Ballinger Publishing Company, 1977, pp. 171-218; *Nuclear Power Issues and Choices*, Rapport du Groupe d'étude sur la politique électronucléaire, établi sous les auspices de la Fondation Ford et avec la gestion de la MIRE Corporation, Ballinger Publishing Company, 1977, 418 p.; Edward Goldsmith, Peter Bunyard et Nicholas Hildegard, «Reprocessing the Truth — The Ecologist Analyses the Windscale Report», *New Ecologist*, mars-avril 1978, 8 p.

6. Ron Glen et Charles Law, *Critical Choice — Nuclear Power in Canada: the issues behind the headlines*, Corpus Information Services Limited, Toronto, 1978, 268 p.

7. J. Couture, Th. G. Hughes et P. Zuhke, «Present State and Future Trends in Nuclear Fuel Reprocessing with a View to Economic Power Generation and Reliable Waste Disposal», IX^e Conférence mondiale de l'énergie, Détroit, 1974, 9 p.; V. Meckoni, R.J. Catlin et L.L. Bennett, «Regional nuclear fuel cycle centres — IAEA Study Project», *Energy Policy*, décembre 1977, pp. 267-281; Zabel Cheghikian, «NEA Twenty years of nuclear cooperation — Results and Prospects», *The OECD Observer*, mars 1978, pp. 26-29; Walter Marshall, «Nuclear Power and the Proliferation Issue», *ATOM*, avril 1978, pp. 78-102; Sigvard Eklund, «Nuclear Power Development and Non-Proliferation», *ATOM*, avril 1978, pp. 107-109.

8. J.P. Holdren, *op. cit.*, pp. 271-279; Sigmund de Janos, «How much security for power systems?», *Energy International*, mai 1978, pp. 20-22.

9. A. Lovins, *op. cit.*; D.J. Rose et R.K. Lester, «Nuclear Power, Nuclear Weapons and International Stability», *Scientific American*, avril 1978, pp. 45-57.

10. Myron B. Kratzer, «Nuclear Power and Nonproliferation — An Optimistic View», American Power Conference, Chicago.

11. Simon Rippon, «World reaction to Carter Nuclear policy», *Nuclear Canada*, juillet-août 1977, p. 6.

12. William D. Cary, «Last Resorts», *Science*, 22 juillet 1977, p. 327; «To breed or not to breed — plutonium is the question», *The Economist*, 15 octobre 1977, pp. 22-23.

13. W. Carey, *ibid.*; *Nuclear Power Issues and Choices*, *op. cit.*

14. S. Rippon, *op. cit.*

15. Deborah Shapley, «Engineer's Memo Stirs Doubts on Clinch River Breeder», *Science*, 22 juillet 1977, pp. 350-352; White House Statement to the Senate of the United States, 5 novembre 1977.

16. Walter Marshall et Chauncey Starr, «Developed new, safer reaction say scientists — CIVEX», *The Citizen*, Ottawa, 28 février 1978; Allen L. Hammond, «U.S. Warns Britain on Reprocessing», *Science*, 17 mars 1978, p. 1186; Simon Rippon, «The Windscale Report — A Review», *ATOM*, mai 1978, pp. 131-135; Walter C. Patterson, «The Windscale Report — a nuclear apologia», *Bulletin of the Atomic Scientists*, juin 1978, pp. 44-49; Carl Friedrich von Weizacker, «Atomic stations inevitable», *Bremer Nachrichten*, 11 mars 1978; Koichi Kawakami, «The nuclear fuel cycle in Japan», *Bulletin of the Atomic Scientists*, juin 1978, pp. 17-18; «India to develop U-233 System», *Energy International*, novembre 1977, p. 55; A.D. Sakharov, «Nuclear energy and the freedom of the West», *Bulletin of the Atomic Scientist*, juin 1978, pp. 12-18; Hugh C. McIntyre, *Uranium, Nuclear Power, and Canada-U.S. Energy Relations*, Comité canado-américain, sous les auspices de l'Institut de recherche C.D. Howe et de l'Association nationale de planification, avril 1978, 72 p.

17. Harry J. Otway, Dagmar Maurer et Kerry Thomas, «Nuclear Power — The question of public acceptance», *Futures*, avril 1978, pp. 109-118.

Voir également

S.R. Hatcher, «Nuclear Power in Canada: Status and Prospects», Conférence devant l'Académie royale suédoise des sciences de l'ingénieur, Stockholm, 21 février 1978, Rapport AECL-6173, mai 1978, 30 p.

Cadre d'une politique de R, D & D sur le cycle du thorium

18. R.A. Kerr, «Carbon Dioxide and Climate: Carbon Budget Still Unbalanced», *Science*, 30 septembre 1977, pp. 1352-1353.

19. R.A. Kerr, *Ibid.*

20. E.R.Q. Stoian, Étude de documentation réalisée pour le Conseil des sciences du Canada, à paraître.

21. «Nuclear Power Issues and Choices», *Rapport du Groupe d'étude sur la politique électronucléaire*, établi sous les auspices de la Fondation Ford et avec la gestion de la MITRE Corporation, Ballinger Publishing Company, Cambridge, Mass., 1977, pp. 61, 65.

22. *Uranium Resources, Production and Demand, 1976*, Rapport de l'OCDE, et également de l'Agence internationale de l'énergie atomique, publié en 1975.

23. R.M. Williams, *World Uranium Requirements in Perspective*, Rapport ER78-4, Énergie, Mines et Ressources Canada, 1978, 14 p.

24. Les réserves calculées et estimées d'uranium du Canada, exploitables à un coût inférieur à 110 \$ par kilogramme d' UO_2 dépassent 170 000 t, *1977 Assessment of Canada's Uranium Supply and Demand*, Énergie, Mines et Ressources Canada, Rapport EP 78-3, Ottawa, juin 1978, 34 p.

Voir également

Burt Cutts et Leslie Grainger, «Communications on energy: The urgency of the fast breeder — to delay or not?», *Energy Policy*, septembre 1977, pp. 245-250.

L.G. Brookes, «Forecasting as an aid to R & D decision making in the nuclear power field», *R & D Management*, 4, 3, 1974, pp. 127-134.

L.G. Brookes, «The Plain Man's Case for Nuclear Energy», *ATOM*, avril 1976, pp. 95-105.

P.S. Heporozhny et coll., «Structural Changes in the Pattern of Fuel and Energy Balance of the USSR and the Role of Nuclear Power», X^e Conférence mondiale de l'énergie, Istanbul, 19-23 septembre 1977, 17 p.

Commission royale ontarienne d'enquête sur la planification de l'énergie électrique, Séminaire sur le nucléaire, Toronto, 26 septembre 1977. Communications de M. David Rose, Institut de technologie du Massachusetts.

Arthur Smith, «The fast breeder reactor: is it inevitable for Britain?», *Science Forum*, août 1977, pp. 16-17.

E.R. Stoian, *Energy Research, Development and Demonstration Research Strategy, Funding Priorities and Implementation Management, Part III: Energy Opportunities and Options*, Rapport interne du Conseil des sciences, novembre 1976, p. 3.

R.D. Vaughan et coll., «The Practical Issues of the Fast Breeder Reactor as an Energy Source», X^e Conférence mondiale de l'énergie, Istanbul, 19-23 septembre 1977, 22 p.

Cadre chronologique

25. E.R.Q. Stoian, Étude de documentation réalisée pour le Conseil des sciences du Canada, à paraître.

Les filières d'énergie renouvelable

1. Démonstration de faisabilité de la production de combustibles gazeux et liquides à partir de déchets forestiers et agricoles

L'ampleur de l'incertitude

Jusqu'à présent, on n'a réalisé que bien peu d'études approfondies et dignes de foi sur la faisabilité et les coûts: a) de la production de combustibles liquides ou gazeux à partir des déchets agricoles ou forestiers (apport énergétique, main-d'œuvre, ramassage, préparation, transport et stockage des déchets, installations de transformation des déchets et dispositifs d'utilisation des produits) et b) des cuves à fermentation des déjections animales pour la production d'un vecteur énergétique connu sous le nom de «biogaz». C'est pourquoi sauf dans des cas très particuliers, tant d'incertitudes entourent l'étude de l'opportunité et de la faisabilité de la production de combustibles tirés des déchets des exploitations forestières ou agricoles, soit pour utilisation sur place, ou comme carburant complémentaire pour les transports. De plus, les répercussions écologiques d'une vaste exploitation de l'organomasse (*biomass*)* suscitent bien des questions.

Aspects d'un programme pertinent de R, D & D

Les éléments suivants devraient être inclus dans un programme pertinent visant à réduire ces incertitudes:

a) Un effort de recherche scientifique, de développement technique et de démonstration fortement articulé au sujet de l'énergie renouvelable tirée de l'organomasse. Tout programme devrait inclure des travaux de R & D sur l'aménagement forestier, les techniques de sélection végétale, de récolte, de ramassage et de compactage, et sur la restitution des substances nutritives au sol, et des recherches sur les conséquences écologiques de l'utilisation envisagée de l'organomasse.

b) Il faudra soigneusement concevoir et planifier les démonstrations. Les études préliminaires semblent indiquer qu'il est inutile de dépenser d'autre argent sur des usines de démonstration périmées ou prématurées.

c) En conséquence, il faut que les démonstrations, quelle que soit leur taille, s'étayent sur des efforts préliminaires et auxiliaires de R & D. La plupart des installations de «démonstration instantanée» donneraient des résultats désastreux, et ébranleraient la crédibilité de toute l'entreprise. Il faut s'engager, à long terme, à effectuer un effort systématique de R & D dans tout le pays. Le financement doit être alloué à la réalisation des bonnes idées et aux spécialistes compétents qui effectueront le travail.

d) Il faut élaborer un programme bien équilibré de R, D & D tant sur le plan théorique qu'en se fondant sur des leçons de l'expérience. Par exemple, une démonstration concernant le méthanol ou l'éthanol (ou un autre alcool) serait d'importance particulière, parce que ce liquide est transportable, concentré et aisément utilisable, et qu'il pourrait ultérieurement remplacer le pétrole d'importation, dont l'approvisionnement est coûteux et aléatoire. Cependant, comme nous l'avons déjà indiqué, la production de combustibles transportables tirés du charbon pourrait,

*En français, on fait une distinction entre l'*organomasse*, englobant la matière vivante et ses produits d'assimilation et de désassimilation, et la *biomasse*, englobant la seule matière vivante (N. d. t.)

dans bien des circonstances, offrir des avantages, au moins pendant plusieurs décennies. En dépit de cette perspective, on doit se rendre compte que la réalisation d'un programme de R & D sur la «production des combustibles gazeux et liquides à partir des déchets forestiers et agricoles» fournirait l'occasion de s'étayer sur la diversité de l'écosystème¹. Il serait possible d'utiliser les mêmes processus chimiques fondamentaux, un traitement thermique dans ce cas, pour produire toute une gamme de matières premières, de combustibles gazeux et de carburants liquides, y compris des alcools. Cette diversité est d'importance. Les débouchés d'une démonstration future, et même l'envergure de la recherche scientifique actuelle seraient gravement limités sans nécessité, si on les restreignait aux alcools. On peut espérer qu'un programme de démonstrations réalisé au moment voulu montrera comment ménager efficacement les ressources, et fournir optimalement plus d'un seul produit.

e) Il faudra mettre sur pied un organisme de gestion en tenant compte de la nécessité d'une approche concertée dans toute la gamme des sciences et des technologies de l'organomasse. Les fabricants existants ou éventuels de matériels pertinents devront participer aux travaux dès que possible, pour assurer que ceux-ci procureront des avantages économiques satisfaisants.

f) Dès qu'on aura mis en place un cadre convenable de décisions et de supervision, il sera possible de concentrer les efforts sur des projets-pilotes et des usines-pilotes modulaires, à mesure que se manifesterait leur intérêt particulier. La nécessité de mettre sur pied ces actions modulaires deviendra évidente, et il ne sera nécessaire que d'effectuer un programme limité de recherche et d'évaluation avant de les entreprendre. Il existe ainsi d'excellentes possibilités de démonstrations, de perfectionnement, d'essais et de commercialisation d'un gazogène (*wood gasifier*) canadien, pouvant produire des combustibles sous différentes formes, ou même diverses matières premières pour l'industrie chimique.

La plupart des experts sont d'accord au sujet de l'utilisation des déchets végétaux et des déjections animales pour la production de méthane, selon eux le procédé biochimique le plus prometteur en pratique. Il faut mettre au point de nouvelles techniques d'échange de chaleur, de stockage, de sécurité et autres aspects de la technologie du biogaz, bien au-delà de la simple fermentation anaérobie, si l'on veut mettre sur pied des dispositifs de production du gaz fonctionnant dans les rigoureuses conditions climatiques du Canada. Le ministère de l'Énergie, des Mines et des Ressources* a mis sur pied une exploitation-pilote permanente d'appareils permettant de traiter les déjections de 200 à 400 bovins (ou leur équivalent)². Il serait indispensable d'effectuer un effort préliminaire de R & D, en vue de dresser les plans d'autres démonstrations modulaires, pour les réaliser de façon judicieuse. Voici quelques possibilités:

- Production efficace de chaleur et d'électricité dans l'industrie des pâtes et papiers, grâce à l'utilisation des déchets de bois.
- Production d'électricité par des génératrices diesel alimentées par gazogène.
- Production de gaz à partir de matériaux fibreux.

g) Finalement, il faudrait effectuer les démonstrations mentionnées dans le programme préliminaire dans les lieux les mieux appropriés (c'est-à-dire où se trouvent les ressources, les consommateurs ou les compétences techniques).

*On ne peut aisément adopter les méthodes d'utilisation du lisier de pores dans le cas du fumier de bovins. De plus, certaines déjections animales et déchets végétaux ont des utilisations plus nobles, sous forme d'aliments pour bestiaux, ce qui leur permet d'effectuer un circuit utile supplémentaire avant d'être utilisés comme source d'énergie et de retourner finalement au sol.

Base des ressources, procédés pertinents et éventuels

De nombreux articles traitent des ressources et de leur permanence³. Les publications mentionnées aux renvois 4 à 8 passent en revue les ressources en produits et déchets ligneux. Celle mentionnée au renvoi 9 étudie les ressources agricoles et leurs déchets. Celle indiquée au renvoi 10 contient des évaluations du rendement énergétique des déchets de cultures céréalières de l'Ouest canadien. La productivité primaire est analysée dans l'ouvrage mentionné au renvoi 11. Les publications indiquées aux renvois 12 à 19 évaluent les lignes de forces éventuelles. Le rôle de la biologie et de la chimie est décrit dans les ouvrages cités aux renvois 20 à 25. Ceux indiqués aux renvois 26 à 47 font la comparaison entre les combustibles organomassiques et les combustibles fossiles sur les plans technique, économique et d'environnement.

Observations sur les lignes de force éventuelles et les contraintes

Nous allons présenter plusieurs observations indiquant les lignes de force à suivre en pratique en vue d'étayer l'orientation générale de la démonstration proposée.

a) Le coût de la main-d'œuvre et du matériel nécessaires au ramassage des déchets ligneux, et la distance sur laquelle il faudra les transporter détermineront plus directement la rentabilité de la production de combustibles liquides et gazeux à partir des déchets ligneux et agricoles que les coûts d'immobilisation des installations de production des combustibles.

b) Bien des exploitants forestiers se rendent compte du gaspillage des matériaux ligneux, mais ils estiment qu'il n'est pas rentable de recueillir le bois combustible laissé sur le sol après l'exploitation forestière. En conséquence, des milliers de mètres cubes de bois utilisable pourrissent dans les forêts, car le coût élevé de leur transport empêche leur contribution à l'approvisionnement énergétique.

c) De nombreux problèmes de ramassage des déchets exigent de l'ingéniosité et une bonne gestion, plutôt qu'un effort de R, D & D⁴⁸. Cependant l'utilisation des abatis (*slash*) et autres déchets actuellement abandonnés dans les forêts nécessiterait de nouvelles techniques de ramassage et de manutention⁴⁹. Mais une meilleure utilisation des produits forestiers et agricoles par l'amélioration des techniques de gestion et de récolte permettrait de réduire le volume des déchets. Il serait possible de transporter plus aisément les déchets ligneux et agricoles grâce à leur compactage ou à leur transformation en gaz ou en liquide⁵⁰.

d) En raison du prix d'achat élevé des combustibles fossiles et des coûts du transport, certaines collectivités ont pris conscience de la nécessité urgente de mettre en place des installations productrices d'énergie indépendantes de l'approvisionnement en hydrocarbures, rentables et réalisables techniquement. Ainsi, dans bien des endroits favorables, mais non partout, il serait possible de réaliser économiquement l'autarcie énergétique, grâce à une gestion ingénieuse des ressources géographiques, y compris celle de main-d'œuvre.

e) Le reboisement des forêts détruites et l'utilisation des déchets agricoles dans les régions à faibles revenus procureraient d'intéressants avantages sociaux. Mais il faut comparer les avantages économiques des diverses options pour choisir celle qui offre des perspectives de viabilité réelle.

f) De plus, les espoirs de succès en ce domaine doivent se fonder sur une meilleure connaissance scientifique des possibilités de coopération avec la Nature elle-même. L'effort de R, D & D et l'étude économique des techniques appropriées permettraient de réduire les investissements nécessaires au niveau local (p. ex., pour les installations biogazières).

g) Nous accordons une importance particulière: a) à la recherche sur les processus biologiques; b) à la fermentation enzymatique et c) à l'utilisation directe des souches microbiennes pour la production de combustibles spécifiques.

h) En raison d'événements internationaux décisifs, il faut que le Canada améliore son potentiel technique d'évaluation, de sélection et de soutien technique des progrès d'importance nationale⁵¹. Il devra se tenir au courant des résultats de l'effort international de recherche, et participer activement à l'élaboration des documents de travail sur l'énergie organomassique de l'Agence internationale de l'énergie. Il lui est nécessaire de lancer un effort constant et adapté d'enseignement et de formation, pour donner à la population les connaissances et les capacités nécessaires.

i) Il est possible de concevoir des installations individuelles de production d'énergie à partir des déchets. Les écorces et autres déchets ligneux contribuent dès maintenant à la satisfaction des besoins énergétiques de l'industrie des pâtes et papiers et des exploitations forestières⁵². Pour illustrer l'ampleur de l'entreprise, citons ce que disait le *Daily News Bulletin* du 26 août 1976:

«La Société *British Columbia Forest Products Limited* de Vancouver doit consacrer 11 millions de \$ à la construction d'une grande chaudière à vapeur, utilisant des déchets de bois comme combustible, dans son usine de pâtes et papiers de Crofton, dans l'Île de Vancouver. L'installation sera réalisée en trente mois environ».

j) Les utilisations prédominantes ou finales des déchets ligneux et agricoles sont encore très incertaines. En voici deux, outre la production de combustibles liquides et gazeux: a) utilisation éventuelle à grande échelle des branches et du feuillage (p. ex., des peupliers) comme aliments complémentaires pour les animaux et b) utilisation éventuelle du bois, des écorces et du feuillage comme source de produits chimiques pour l'industrie et la pharmacie. En outre, le tarif réduit des transports des matières premières permet de vendre la plupart des déchets de sciage comme matériaux fibreux pour la fabrication des pâtes et du papier, ou pour la production locale de chaleur plutôt que de combustibles. Même un coût de transport plus élevé en général ne pourrait pas empêcher l'utilisation des déchets forestiers et agricoles comme produits chimiques pour une industrie fabriquant des produits coûteux (tel le secteur pharmaceutique). Si la production de combustibles liquides ou gazeux était couronnée de succès, il est probable qu'ils seraient utilisés dans la région de production ou dans son voisinage, tout comme les gaz à faible teneur calorifique. Même les combustibles à teneur calorifique moyenne obtenus par gazéification ne peuvent pas être transportés au loin, à cause de considérations économiques.

k) On peut utiliser les déchets forestiers et agricoles pour la production d'électricité, à cause de sa simplicité et de l'existence de débouchés⁵³. Ainsi pourrait-on utiliser les déchets de bois dans des foyers à lit fluidisé pour la production de vapeur industrielle, au lieu d'employer le pétrole ou le gaz naturel⁵⁴. Il ne faut pas non plus négliger d'autres dispositifs de combustion. De nombreux experts préféreraient qu'on mette au point et qu'on commercialise en premier lieu un dispositif canadien simple, robuste, économique et polyvalent. Il faut accorder une attention constante aux aspects pratiques et à la faisabilité économique de bien des dispositifs techniques de transformation directe de l'énergie. On peut, bien entendu, utiliser des déchets organiques pour produire à la fois de la chaleur et de l'électricité⁵⁵.

l) Le ramassage et l'utilisation des déchets forestiers pour alimenter de grandes centrales thermiques ne paraissent cependant pas intéressants, dans les conditions socio-économiques actuelles.

m) La production de combustibles liquides à partir des déchets ligneux est techniquement possible, mais elle nécessite une étude approfondie et constante de ses conditions économiques.

n) Actuellement, la production d'un carburant synthétique par pyrolyse des déchets forestiers est techniquement réalisable, mais pas du tout rentable⁵⁶.

o) Il faut qu'on ait une meilleure connaissance des répercussions écologiques d'une utilisation constante et plus complète des déchets, de même que de l'accroissement à long terme du taux de gaz carbonique dans l'atmosphère, suivant un vaste développement des cultures énergifères et de l'utilisation de l'organomasse. Les échanges de gaz carbonique entre l'atmosphère et les divers réservoirs naturels de CO₂ constituent des phénomènes très complexes, où interviennent tous les combustibles à l'exception de l'hydrogène⁵⁷.

p) Il faudrait rassembler de nombreuses connaissances et mettre sur pied un potentiel technique de réalisation au moment voulu de la filière des alcools, en cas de nécessité, comme police d'assurance contre une pénurie énergétique.

q) Comme les entreprises énergétiques déjà en place pourraient bloquer la mise au point de nouvelles filières, le gouvernement fédéral devrait encourager un effort opportun de recherche et de développement, et financer la construction d'usines-pilotes de synthèse de ces combustibles.

r) Toutes les technologies d'utilisation de l'organomasse nécessiteront la mise en œuvre d'un programme coordonné d'évaluation poussée, de recherches approfondies et de gestion orientée vers des objectifs précis. Le programme-type *Schwerpunkt*, si largement diffusé en Allemagne occidentale, pourrait servir de modèle à des programmes prioritaires de recherche. Cette action nécessiterait un financement étalé sur cinq ans et la coordination supra-régionale de l'activité de plusieurs chercheurs concernant un certain sujet ou projet.

s) Le programme de démonstrations proposé ici ne porte pas sur une vaste action sylvicole ou sur la construction de grandes usines dans le but exprès de produire de grandes quantités de carburant.

t) Cette proposition ne met pas en relief les actions à grande échelle (p. ex., la construction de grandes usines de synthèse du méthanol) utilisant l'organomasse de grandes plantations intentionnelles; comme le titre l'indique, il s'agit d'utiliser des déchets ou des résidus forestiers et agricoles (c'est-à-dire les déchets d'éclaircissage forestier provenant de forêts naturelles, les pailles agricoles et les déjections animales).

u) L'effort de R & D et les essais proposés se rangent dans deux catégories d'ampleur différente: 1° les actions à très petite échelle, conçues en fonction des matériaux, de la main-d'œuvre et des besoins énergétiques locaux (p. ex., d'une collectivité rurale et isolée) et 2° les actions à échelle moyenne, dont les résultats contribueraient à l'approvisionnement de branches industrielles énergivores, mais potentiellement autarciques, telles celles de l'exploitation forestière et du sciage.

v) Il faut mettre en œuvre toute une gamme d'activités valable, indépendamment des succès techniques obtenus, avant de passer à la phase commerciale de production des combustibles, c'est-à-dire: 1° la production de combustibles dans les entreprises agricoles, 2° la production d'énergie dans les usines de pâtes et papiers, et 3° l'autarcie énergétique de tout le secteur des produits forestiers.

Les plantations de végétaux destinés à la synthèse de carburants, qu'on envisage souvent dans les scénarios très optimistes, ne constituent pas encore une solution aux problèmes d'approvisionnement énergétique national. À mesure que le coût unitaire de l'énergie s'accroîtra, la faisabilité de la production de carburants à partir des déchets forestiers et peut-être agricoles s'améliorera, en raison de la communauté des coûts. Par exemple, on pourrait utiliser le méthanol, soit isolément, soit en mélange avec l'essence, si cette méthode s'avérait pratique au Canada.

Principales lignes de force recommandées pour l'effort de R, D & D

En résumé, nous mettons en relief les lignes de force suivantes:

- Il ne faut pas que la faible ampleur de l'approvisionnement énergétique éventuellement tiré de l'organomasse constitue une limitation; il est important par sa pérennité, car il pourrait remplacer les hydrocarbures et permettre à certaines collectivités ou secteurs industriels d'atteindre l'autarcie énergétique.
- L'énergie organomassique, particulièrement quand il est possible de mettre en œuvre une technologie appropriée, peut servir aux utilisateurs isolés, car le coût du transport interrégional des vecteurs énergétiques habituels constitue un facteur négatif, crucial sur le plan économique.
- Si l'action suit la voie généralement acceptée de «la gazéification du bois pour obtenir de l'énergie, et non du méthanol» il faudra donner la priorité à la gazéification; la production du méthanol ne suivra que de loin.
- Le choix de la pyrolyse parmi d'autres processus de transformation des déchets organiques en combustibles de qualité (p. ex., la production biogazière, la fermentation, l'hydrogazéification ou l'hydrogénation) permettra une évolution plus naturelle vers l'exploitation de l'énergie organomassique. Il s'agit en effet d'accorder la priorité à la décomposition de l'organomasse par chauffage sous atmosphère inerte, comme dans le cas de la fabrication du gaz de ville ou du charbon de bois.

Pour comparaison, donnons la liste par ordre d'importance apparente des divers aspects techniques des processus suivants, et étudions-les brièvement:

- 1° gazéification du bois, et spécialement des déchets ligneux;
- 2° essai-pilote de la filière du méthanol;
- 3° évaluation du potentiel de l'éthanol;
- 4° production de biogaz.

1. *Gazéification du bois et des déchets ligneux.* La transformation du bois en gaz est une technique déjà ancienne, qui ouvre toute une gamme de possibilités. Le développement concerté et l'essai d'une technologie de production de combustibles gazeux et de carburants liquides à partir des déchets agricoles, et plus particulièrement des déchets ligneux, exigera que les installations d'essais et les démonstrations soient étayées par des activités de R & D portant sur les divers aspects de l'aménagement forestier, les programmes de sélection et de culture, les techniques de récolte, de ramassage et de compactage, les évaluations écologiques, le retour des éléments fertilisants au sol, etc. Il faut que les travaux de recherche soient articulés sur le plan national de façon cohérente, mais les essais particuliers devront tenir compte des conditions régionales.

Comme l'utilisation des déchets ligneux permet d'alimenter les scieries en énergie, et que le prix du gaz de bois pourrait être concurrentiel localement ou régionalement face à d'autres vecteurs énergétiques, même s'il s'agit d'une production à petite échelle, il semble justifié de financer dans une dizaine d'années la mise au point et l'essai d'un gazogène dans des conditions d'utilisation réelle. Si l'évaluation exhaustive et la diffusion des résultats étaient achevées après l'horizon 1990, il serait possible de les commercialiser sans octroi de subventions notables, en fonction du prix en hausse des hydrocarbures.

2. *Essai-pilote de la filière du méthanol.* On peut synthétiser le méthanol en utilisant de l'hydrogène et du monoxyde de carbone, et à partir de plusieurs matières premières telles que le gaz naturel, le charbon, le pétrole brut, la tourbe et l'organomasse. On a déjà dressé des plans pour utiliser une partie du gaz naturel gaspillé dans les champs pétrolifères du Proche-Orient, afin de produire du méthanol qui serait transporté par voie maritime jusqu'aux pays industriels. À long terme, le méthanol pourrait constituer un vecteur énergétique reconnu pour le secteur des transports, à l'exception, bien entendu, des petits véhicules et des locomotives électriques. Sur le plan théorique, tout au moins, il est relativement facile de transformer les matières premières susdites (le gaz naturel, p. ex.) en méthanol au sortir du puits, et de commercialiser ce carburant pour utilisation dans le parc automobile actuel. De plus, comme on peut produire du méthanol à partir de toute une gamme de substances énergétiques, il serait possible de mettre sa filière graduellement en œuvre sur un large front⁵⁸. Il est possible d'alimenter les moteurs d'automobile actuels à l'aide d'un mélange d'essence et de méthanol grâce à de petites modifications. Il suffit d'apporter quelques modifications plus étendues au moteur à allumage par bougies pour qu'on puisse utiliser du méthanol pur comme carburant. Cependant, tout programme d'utilisation de méthanol devrait inclure une démonstration du caractère pratique de son utilisation dans des véhicules soumis aux rigueurs du climat canadien.

Du point de vue de la protection de l'environnement, le méthanol constitue un carburant avantageux. Son addition à l'essence permettrait de cesser d'utiliser l'antidétonant au plomb-tétraéthyle, et de réduire fortement les autres contaminants présents dans les gaz d'échappement. Ultérieurement, à très long terme, l'utilisation très propre des piles à combustible alimentées au méthanol permettrait de réduire très fortement les quantités de gaz rejetées.

De plus, le méthanol pourrait jouer un rôle dans le stockage de l'énergie et servir aux échanges entre les filières énergétiques de l'avenir. Comme le stockage de l'hydrogène produit au cours des creux de consommation d'électricité serait relativement coûteux, on pourrait utiliser l'hydrogène et l'oxygène obtenus par électrolyse de l'eau pour synthétiser du méthanol. En conséquence, il serait possible, au moins sur le plan des principes, d'articuler les filières hydroélectrique et éolienne, et peut-être solaire, au secteur énergétique par le biais du méthanol.

Les fortes pertes qui se produisent au cours de la transformation de l'énergie primaire en méthanol constituent un problème d'importance. L'utilisation directe du bois pour le chauffage est préférable dans bien des cas, justement en raison de ces pertes*.

Jusqu'à présent, on n'a produit du méthanol en quantités commerciales qu'à partir du gaz naturel et du charbon. Le rendement de transformation est de l'ordre

*Il semble que l'absence d'installations de chauffage fonctionnant par combustion directe du bois plutôt que la pénurie de gaz ou de mazout constitue le principal obstacle à un remplacement naturel de ces derniers.

de 55 et 45 pour cent respectivement. En récupérant de façon plus efficace la chaleur perdue, il serait possible pratiquement d'atteindre un rendement de 65 à 68 pour cent. On n'a pas produit de méthanol en quantités notables à partir du bois et des déchets organiques; néanmoins, il est possible de gazéifier ces matières premières, comme nous l'avons déjà souligné dans la section précédente, et on estime qu'aucun problème insurmontable ne se présenterait. En raison de la faible teneur de l'organomasse en sulfure, les catalyseurs utilisés pour la production du méthanol pourraient être plus effectifs que dans le cas du charbon. Cependant, le rendement de transformation n'atteindrait que 35 pour cent, et il dépendrait étroitement de l'envergure de l'usine de fabrication et de l'efficacité de la récupération de la chaleur perdue. Contrairement à la gazéification du bois et des déchets ligneux, qui peut rester efficace à petite échelle, la production du méthanol devrait tirer parti des avantages d'une transformation à grande échelle, laquelle à son tour nécessiterait la collecte du bois et des déchets ligneux dans une région plus étendue, et leur transport. Cette obligation irait à l'encontre des objectifs choisis, tant sur le plan du coût que sur celui du rendement énergétique net (une proposition récente d'utilisation directe de poudre de bois pour alimenter les moteurs diesel permettrait d'éviter les pertes dues à la transformation du bois en méthanol).

Dans tout le rapport, nous avons souligné la nécessité d'utiliser de nouveaux combustibles, afin de remplacer l'essence utilisée par les véhicules automobiles. Bien que le transport des matériaux organiques n'offre pas de difficultés insurmontables, son coût serait supérieur à celui du transport de pétrole, et probablement de la plupart des combustibles fossiles, et il déterminerait en grande partie l'aire de collecte de l'organomasse⁵⁹. Pendant quelque temps, on préférera l'essence tirée du pétrole habituel, des pétroles visqueux et des sables bitumineux, en raison de l'ampleur relative de leurs gisements au Canada. De plus, les grandes réserves de gaz naturel du Canada suggèrent une plus large distribution, et son utilisation sous forme liquéfiée. La synthèse de carburants à partir du charbon retarderait encore l'utilisation du méthanol. La transformation chimique du bois en liquide, par un procédé similaire à celle du charbon, constitue un processus beaucoup plus efficace, mais qui n'est pas encore commercialisable actuellement.

Cependant, dans l'avenir à long terme, plusieurs facteurs pourraient favoriser le méthanol: il s'agit d'un vecteur énergétique liquide, qui peut être introduit par étapes dans le secteur actuel des transports, et qu'on peut stocker. Il est difficile de prévoir quand et comment la filière du méthanol sera mise en œuvre au Canada. Il est toutefois très probable qu'elle y précédera, dans l'hypothèse de sa mise en œuvre, la filière de l'hydrogène, laquelle exigerait un abandon complet de la technologie existante, et ne pourrait donc remplacer graduellement et aisément les autres sources d'énergie. Cependant, l'hydrogène, qui est un carburant de haute qualité, permet de réduire les pertes de transformation par électrolyse et stockage, et de production ultérieure d'électricité ou de combustible grâce à l'utilisation de piles à combustible. C'est pourquoi il est prématuré de se désintéresser de l'avenir de la filière de l'hydrogène. Aux États-Unis, l'Office de R & D énergétique des É.-U. (ERDA) a déjà dressé les plans de démonstration d'une installation assez grande de piles à combustible de première et seconde génération avant l'horizon 2000.

Pourquoi donc ne pas mettre en œuvre immédiatement la filière du méthanol? Une étude synoptique préliminaire de l'utilisation du méthanol en Ontario a conclu que ce vecteur énergétique pourrait servir de carburant pour le secteur des transports; cependant, elle n'a pu donner de réponse aux questions d'opportunité, d'économie, d'accessibilité des matières premières, ainsi qu'au sujet des techniques particulières de fabrication; mais on a récemment, et avec quelque optimisme, signalé la possibilité d'utiliser le procédé d'hydrogénation⁶⁰.

Le Groupe consultatif pour les carburants synthétiques liquides auprès du ministère ontarien de l'Énergie a examiné les diverses options de vecteurs énergétiques liquides et, dans son rapport très complet en sept volumes, il a fait d'importantes recommandations au gouvernement ontarien, qu'on pourrait récapituler comme suit⁶¹:

- a) Les considérations économiques vont à l'encontre de l'utilisation du bois ou des ordures municipales pour la production d'un carburant liquide, et ce sera le cas pendant de nombreuses années, disons jusqu'au moment où la tonne de pétrole brut coûtera 295 \$ (45 \$ le baril)⁶².
- b) La méthode la plus efficace de production d'énergie à partir du bois ou des ordures municipales consiste à les brûler directement dans des centrales thermiques, et non pas à les transformer en carburants liquides.
- c) On ne peut pas recommander la mise en œuvre d'un important programme de R, D & D de grande envergure portant sur la production de méthanol à partir de l'organomasse, à cause de la disponibilité d'autres combustibles à plus faible prix.
- d) En raison des longs délais nécessaires au développement des techniques et à la mise en œuvre de la ressource correspondante, les combustibles liquides extraits des matières premières renouvelables ne constituent pas une filière de remplacement disponible en Ontario, dans l'éventualité d'une pénurie de pétrole brut au cours des années quatre-vingts.
- e) Il serait plus rentable d'exploiter complètement les gisements de pétrole brut ordinaire, de pétrole lourd et de sables bitumineux, plutôt que de réaliser de grands investissements pour la production d'un carburant énergétique à partir de l'organomasse.
- f) En se basant sur les coûts comparatifs de production, de distribution et d'utilisation dans les moteurs d'automobiles, ainsi que sur son efficacité, il semble que le méthanol constitue le meilleur vecteur énergétique liquide de synthèse, suivi par l'essence tirée du méthanol, par le mélange méthanol et essence ordinaire, et par l'éthanol.
- g) Les auteurs de l'Étude concluent qu'il serait actuellement prématuré de choisir le carburant synthétique qui se révélerait le plus économique dans plusieurs décennies.

Bien qu'on observe une certaine différence entre les évaluations actuelles (p. ex., entre celle du Groupe consultatif pour les carburants synthétiques de l'Ontario et celle de l'*InterGroup Consulting Economists Limited* de Winnipeg⁶³) il apparaît qu'une augmentation comparativement plus rapide du prix du pétrole que du coût du méthanol (disons de 5 à 10 pour cent) réduirait à trois ou cinq ans l'intervalle au cours duquel celui-ci deviendrait concurrentiel. Dans l'hypothèse probable d'un accroissement substantiel du prix du pétrole, la production du méthanol à partir de l'organomasse deviendrait réaliste entre 1990 et 2005, au moins sur le plan régional (c'est-à-dire dans un cadre où le coût élevé du transport de l'essence ménagerait un créneau à l'utilisation de méthanol pur).

Sans aucun doute, la question de l'utilisation de l'organomasse est très controversée, et le méthanol paraît au centre du débat.

Outre leur coût, l'ampleur des ressources constitue une question d'importance. Certains experts estiment que l'exploitation de l'organomasse donnera une

solution au moins partielle à l'approvisionnement en énergie, et en matières premières pour l'industrie chimique, alors que d'autres signalent les utilisations préférentielles de l'organomasse pour la fabrication de matériaux de construction, de textiles synthétiques, de produits chimiques et d'aliments. D'autre part, il semble qu'on mette l'accent plus sur l'utilisation du bois et des déchets forestiers que sur celle des produits et des déchets agricoles. En particulier, on estime que le potentiel de transformation énergétique de l'organomasse constituée par les plantations énergifères est limité par les superficies cultivables, et peut-être l'approvisionnement en eau, alors qu'il semble que l'exploitation forestière pourrait faire de plus grandes contributions tout comme les sous-produits agricoles. Cependant, la situation apparaît plus complexe et moins favorable quand on prend en considération le bilan énergétique de ces entreprises.

Ces observations plutôt dégrisantes incitent à considérer comme suit la démonstration de la production de carburants liquides à partir des produits forestiers:

a) Le Canada ne peut négliger les possibilités de la filière du méthanol, quelle que soit l'origine de celui-ci, et les recherches menées à l'étranger au sujet de la production et de l'utilisation de ce vecteur énergétique, ainsi que de l'éthanol. Il devrait suivre de très près toute percée technologique éventuelle ou programme de recherche technique réalisé à l'étranger, et pouvant déboucher sur une réalisation pratique. En fait, le Canada a déjà contresigné l'accord de R & D conjointe de l'Agence internationale de l'énergie en matière d'organomasse, lequel organise la concertation des programmes nationaux de recherche sur l'utilisation des cultures forestières à cycle court et des déchets ligneux pour produire des carburants non polluants, et des succédanés aux produits pétroliers ou chimiques et autres produits énergivores. La création régionale de centres spécialisés d'envergure adéquate favoriserait l'harmonisation de ces progrès internationaux et d'autres avec les nécessités intérieures.

b) La mise en œuvre d'un vaste programme de R & D multidisciplinaire se recommande, à cause du rôle à long terme d'un secteur énergétique utilisant les sources d'énergie renouvelable, et de l'incertitude au sujet des meilleures voies de progrès. Il faut d'abord réaliser une étude complète sur la faisabilité de la production de carburants liquides à partir des produits forestiers et agricoles, et de leurs déchets.

c) Il faut accomplir un effort de R & D concernant la production, le rendement, la récolte et le transport de matériaux organiques, afin de recueillir une masse de données permettant d'étayer les décisions, y compris une analyse plus détaillée des coûts. Voici quels seraient les éléments de cette phase du programme:

- 1° Évaluation des ressources forestières et agricoles.
- 2° Fixation d'une distance maximale de transport entraînant un bilan énergétique nul (c'est-à-dire le rayon maximal de la collecte éventuelle).
- 3° Tour d'horizon des techniques existantes de transformation de l'organomasse forestière et agricole en énergie.
- 4° Analyse des apports énergétiques nécessaire à la culture, au ramassage, à la récolte, et à la transformation de l'organomasse forestière et agricole et de la production éventuelle d'énergie, c'est-à-dire au rendement net de la transformation de l'organomasse en énergie utilisable.
- 5° Étude de l'envergure nécessaire des usines de transformation, et critères d'implantation.
- 6° Analyse économique des opérations concertées de production de carburants liquides utilisables.
- 7° Mise en évidence des principales opérations énergivores et coûteuses qui sont indispensables pour tirer des carburants liquides de l'organomasse.

d) Il faudrait dresser les plans de toute démonstration de production ou d'utilisation des carburants liquides en se fondant sur les données fournies par l'effort parallèle de R & D. De toute façon, mais surtout en fonction des impératifs régionaux, il ne faudrait pas entreprendre de démonstration importante au-delà de l'étape de l'usine-pilote, afin d'éviter de gros investissements dans une filière qui pourrait ne pas être commercialisée après l'achèvement des démonstrations, en raison de considérations économiques.

e) Il faudrait mettre en œuvre un programme étendu de R & D fondamentale sur les carburants liquides tirés de l'organomasse, afin d'étayer un effort imaginatif en matière de transformation de l'énergie, et ultérieurement de fournir des données indispensables à la mise en œuvre d'une démonstration commerciale d'extraction du méthanol de l'organomasse au cours de la période 1990-2005. Cette phase inclurait les actions suivantes:

- 1° Un effort de R & D débouchant sur la conception de projets améliorés d'usines-pilotes répondant aux impératifs régionaux, accompagné d'une nouvelle évaluation des progrès accomplis et de recommandations, avant la fin de 1983.
- 2° L'essai des composants, et le parachèvement des activités indispensables pour étayer la mise en œuvre d'un programme-pilote dès 1985.

Le programme proposé ne serait pas complet sans une évaluation économique exhaustive et une analyse des possibilités commerciales après l'horizon 1990. Cette évaluation, cependant, doit prendre en considération les mesures applicables d'exploitation des ressources intérieures, la sécurité des approvisionnements et l'ouverture de la panoplie énergétique du Canada, et les possibilités d'emploi et de développement régional.

3. *Évaluation du potentiel de l'éthanol.* À long terme l'alcool éthylique pourrait constituer une alternative crédible au méthanol. Depuis quelque temps déjà, des pays tels que le Brésil produisent de l'éthanol-carburant à partir de la canne à sucre, du manioc, des palmiers Orbignya (*babaçu*), du sorgho et d'autres matières premières. L'éthanol a un rendement supérieur au méthanol et, bien entendu, son pouvoir énergétique est plus élevé. Les moteurs d'autos et de camions tournent rondement, sans modification notable, quand on les alimente avec un mélange contenant 20 pour cent d'alcool éthylique et 80 pour cent d'essence, ou moitié-moitié dans le cas des moteurs diesel. De plus, il semble que l'éthanol cause moins de difficultés quand on l'utilise dans un moteur diesel modifié. L'éthanol est produit par la fermentation du sucre tiré directement de la canne à sucre et des mélasses, ou indirectement des amidons et de la cellulose par hydrolyse, ce qui est plus intéressant pour le Canada. Il faudrait faire des évaluations soigneuses des diverses cultures énergifères possibles au Canada afin d'établir leur pertinence technique et leur valeur économique comme source de matières premières. Il nous faut établir les priorités en matière: a) de mise au point des techniques de récolte et b) d'adaptation d'un procédé de fermentation continu aux conditions physiques régnant au Canada. Même si ce vecteur énergétique était concurrentiel, on estime qu'il pourrait satisfaire qu'une partie des besoins. Les études, les évaluations, et peut-être les essais-pilotes exigeront plusieurs années d'effort concerté par le secteur public et l'industrie.

4. *Production de biogaz.* La démonstration de longue durée pertinente doit porter sur la mise au point en temps voulu d'une cuve à fermentation des déjections animales et des déchets végétaux, innovatrice, d'utilisation souple, à l'échelle normale, et utilisable dans un pays septentrional. Il faudrait effectuer un tour d'horizon des progrès réalisés dans la production de biogaz, afin de mettre en relief les paramètres de production pertinents dans un climat froid, et diffuser parmi les utilisateurs potentiels les dossiers couronnés de succès, en décrivant leurs avantages, leurs problèmes et leurs solutions. On note parmi les paramètres

principaux: la dilution indispensable des matériaux, le taux de chargement et la durée de fermentation et donc le volume de la cuve de fermentation. Il faudrait, avant de faire la démonstration du matériel, concentrer les efforts dans les divers domaines d'étude fondamentale préparatoires, y compris: a) la détermination du bilan thermique des réactions biologiques, et particulièrement des phénomènes anaérobies, qui sont thermosensibles; b) des travaux de microbiologie, afin de sélectionner des variétés de bactéries à fort potentiel biochimique et c) des études systémiques sur l'économie thermique par récupération de la chaleur résiduelle pour favoriser la fermentation de l'organomasse. Il faudrait réorienter et étendre les travaux de recherche sur les lisiers de porc, actuellement accomplis à l'Université du Manitoba.

Ampleur de l'effort

1. Repères

a) Documentation utile

L'organomasse en général

- E.E. Robertson, «The Role of Non-Conventional Energy Resources: Biomass», Compte rendu du Forum canadien sur l'énergie, Halifax, Nouvelle-Écosse, 4-5 avril 1977, pp. 143-148.
- Allen L. Hammond, «Photosynthetic Solar Energy: Rediscovering Biomass Fuels», *Science*, 19 août 1977, pp. 745-746.
- Programme du Symposium on Clean Fuels from Biomass Sewage, Urban Refuse and Agricultural Wastes, 27-30 janvier 1976, Orlando, Floride, 4 p.
- E.E. Robertson, *Bioconversion — Fuels from Biomass*, Franklin Institute Press, Philadelphie, 1977, 72 p.
- M. Alastair Gillespie, ministre de l'Énergie, des Mines et des Ressources, «Development of Renewable Energy — Forest», Texte d'une déclaration faite à Toronto le 4 juillet 1978, 3 p.; également: New Program to Harness Energy from Forests, Farms, 6 p.
- W. Lee, Usine Volkswagen, Société Wolfsburg, Allemagne occidentale, «Economic Aspects in Use of Alcohol Fuels in Automobiles», *Erdoel & Kohle, Erdgas, Petrochemie*, vol. 31, n° 4, 1978, pp. 169-170.
- Paul R. Blankenhorn et coll., *Evaluation procedure for consideration of forest biomass as a fuel source for a 100 MW electric generating facility*, Université de l'État de Pennsylvanie, Collège d'agriculture, Station d'agronomie, Parc universitaire, Pennsylvanie 16802, septembre 1978, 16 p.

Déchets forestiers

- D.E. Earl, *Forest energy and economic development*, Clarendon Press, Oxford, 1975, 128 p.
- J.H. Fernandes, «Wood Energy Systems: State-of-the-Art and Developing Technologies», Conférence on the Future of Wood as an Energy Source, Gorham, Maine, 20-22 juin 1976, 8 p.
- Programme de la Conférence sur l'utilisation des déchets ligneux, Université Lakehead, Thunder Bay, Ontario, 14 janvier 1976, sous les auspices du ministère ontarien de l'Industrie et du Tourisme.

- E.C. Jahn et S.B. Preston, «Timber's More Effective Utilization», *Science*, 20 février 1976, pp. 757-761.
 - P.N. Cheremisinoff et A.C. Morresi, «Energy from Wood Wastes», *Environment*, mai 1977, pp. 25-31.
 - *Combustion Technology for the Disposal and Utilization of Wood Residue*, Service de protection de l'environnement, Pêches et Environnement Canada, octobre 1975, 92 p.
 - J.E. Marshall, G. Petrick et H. Chan, *A Look at the Economic Feasibility of Converting Wood into Liquid Fuel*, Service canadien des forêts, Pêches et Environnement Canada, février 1975, 47 p.
 - *Energy from wood waste*, ACRES Report, juin 1977, p. 3.
 - E.P. & F.L. Hughes, «The perpetual energy source Canada ignores is waiting to be exploited», *Science Forum*, décembre 1977, pp. 8-10.
 - Albert Sigurdson, «B.C. forest industry utilizing its waste as energy», *The Globe and Mail*, 22 avril 1978.
 - «Poor forest management blamed ... Canada said facing timber shortage», *The Citizen*, Ottawa, 11 mai 1978.
 - «Energy Report — Study Recommends Waste Wood Use», *Oilweek*, 25 septembre 1978, p. 43.
 - John Helliwell et Alan Cox, *Wood waste as an energy source*, UBC reports, Services d'information, Université de la Colombie-Britannique, Vancouver, automne 1978, pp. 5-6.
 - Peter Love et Ralph Overend, *Tree Power — An Assessment of the Energy Potential of Forest Biomass in Canada*, Énergie, Mines et Ressources Canada, Rapport ER78-1, 1978, 35 p.
- Déchets agricoles et déjections animales*
- G.A. MacEachern, «Biomass Energy and Agriculture», Conférence internationale sur l'énergie biomassique, Winnipeg, 13-15 mai 1973, 11 p.
 - C.G. Downing, «Energy and Agricultural Biomass Production and Utilization in Canada», communication à la Conférence sur l'énergie et l'agriculture et la gestion des déchets, Syracuse, N.Y., 16-18 avril 1975, 9 p.
 - François Séguin, «Énergie: on cherche des hommes de paille», *La Recherche*, juillet-août 1976, pp. 672-674.
 - Joris J.C. Voorhoeve, «Treasure in the dust bin — a sound utilization of wastes can boost agricultural production, create energy, preserve the environment and save foreign exchange», *Ceres*, mars-avril 1976, pp. 48-50.
 - «Kelp farm to grow biomass for conversion to methane», *Energy Research Reports*, 5 septembre 1977, p. 4.

- Edmond Missiaen, «Brazilian Agriculture to Help Meet Fuel Needs», *Foreign Agriculture*, 2 mai 1977, pp. 9-10.
 - André Delisle, «Les faibles lueurs du méthane — La filière biologique de production d'énergie: alternative limitée, mais envisageable dans un contexte de pénurie», *Québec Science*, juin 1976, pp. 31-35, 37-38.
 - G.F. Reynolds, «The Generation of Methane from Waste Materials», *Appropriate Technology*, août 1975, pp. 11-13.
 - «FPC confirms decision for sale of synthetic methane», *Oilweek*, 7 juin 1976.
 - W.L. Crentz, «Oil from Agricultural Wastes», Compte rendu de la Conférence internationale sur l'énergie biomassique, Winnipeg, 13-15 mai 1973.
 - H.M. Lapp, Dennis Schulte et M.A. Stevens, *Biomass Production from Animal Manure*, Biomass Energy Institute Inc., 304-870 Cambridge Street, Winnipeg, mars 1978, 21 p.
- b) Allen L. Hammond, «Alcohol: A Brazilian Answer to the Energy Crisis», *Science*, 11 février 1977, pp. 564-566:
 «Le montant des crédits (plus de 400 millions de \$) que le gouvernement du Brésil a consacrés au programme de recherches sur l'alcool énergétique, depuis son lancement en novembre 1975, montre l'importance qu'il attache à la réduction de la dépendance du Brésil à l'égard des importations qui atteignent 95 000 tonnes de pétrole par jour».
- c) *Inventory of Energy R & D*, EMR, février 1977:
 «L'enveloppe fédérale de R & D sur la transformation énergétique des déchets agricoles et forestiers a atteint 145 000 dollars en 1977».
- d) *Canada's Renewable Energy Resources*, Middleton Associates, avril 1976, p. 316:
 «L'Institut de recherche sur les pâtes et papiers du Canada a effectué une analyse détaillée des coûts de production en masse du méthanol à partir du bois et des écorces, dans divers lieux du Canada. Les coûts de production estimés (y compris les matières premières, la commercialisation, les transports et les droits de douane) allaient de 127 \$ par tonne (métrique) dans une usine ayant coûté 65 millions de \$ et produisant 911 t [de méthanol] par jour, à 160 \$ par tonne dans une usine ayant coûté 35 millions de \$ et produisant 361 t [de méthanol] par jour dans la région de Kamloops».

2. Calculs préliminaires

a) Évaluation des ressources et études de faisabilité

Utilisation des déchets forestiers	
8 études coûtant chacune 245 000 \$, soit:	1 960 000 \$
Utilisation des déchets agricoles	
8 études coûtant chacune 185 000 \$, soit:	1 480 000 \$
Total:	3 440 000 \$

b) Essais-pilotes ou perfectionnement des installations et du matériel existant

Utilisation des déchets forestiers

4 programmes coûtant chacun 265 000 \$, soit:	1 060 000 \$
Utilisation des déchets agricoles:	
4 programmes coûtant chacun 105 000 \$, soit:	420 000 \$
Total	1 480 000 \$
c) Démonstrations	
Utilisation des déchets forestiers	
2 démonstrations coûtant 50 000 000 \$ chacune, soit:	100 000 000 \$
Dans l'hypothèse où la part à ventiler au compte de «démonstration» atteindrait	
35 pour cent, le coût effectif serait de:	35 000 000 \$
Utilisation des déchets agricoles	
8 démonstrations coûtant 300 000 \$ chacune, soit:	2 400 000 \$
Dans l'hypothèse où la part à ventiler au compte «démonstration» atteindrait 50 pour cent, le coût effectif serait de:	1 200 000 \$
Total	36 200 000 \$
d) Développement des utilisations et commercialisation	
	1 225 000 \$
Total général	37 425 000 \$

Cadre chronologique

Voici pour illustration l'échéancier du financement éventuel de l'étude de faisabilité et de l'évaluation des avantages et des désavantages de la production de combustibles gazeux, et ultérieurement liquides, à partir des déchets forestiers et agricoles:

1979	615 000 \$	- Évaluation constante des ressources
1980	850 000 \$	et large étude de faisabilité
1981	1 250 000 \$	accompagnée de R & D
1982	735 000 \$	- Poursuite de l'effort de R & D,
1983	500 000 \$	modification des installations existantes,
1984	1 650 000 \$	essai des nouveaux éléments et
1985	4 000 000 \$	conception des essais-pilotes
1986	7 450 000 \$	- Programme d'essais-pilotes, y compris
1987	8 500 000 \$	l'évaluation de plusieurs procédés de
1988	6 800 000 \$	transformation énergétique
1989	3 225 000 \$	
1990	1 400 000 \$	- Évaluation des essais-pilotes et diffusion
1991	450 000 \$	des résultats vers l'industrie.

Total: 37 425 000 \$

Notes et bibliographie

Aspects d'un programme pertinent de R & D

1. Lutz Veith, «Les leçons de la nature La bionique, une science qui en est à ses débuts», Frankfurter Neue Presse, 23 juillet 1977.

2. Communication de M.H. Swain, conseiller principal, Bureau des énergies renouvelables, Énergie, Mines et Ressources Canada.

Les ressources énergétiques et l'orientation de la recherche

3. W.G. Pollard, «The Long-Range Prospects for Solar-Derived Fuels». Quelles sont les possibilités de remplacer le pétrole et le gaz naturel par des combustibles tirés des déjections animales et des déchets agricoles, de l'organomasse forestière, des déchets de sciage et des linters d'égrenage du coton?, *American Scientist*, septembre-octobre 1976, pp. 509-513.
4. Ian Haysom, «Dead wood could cure energy woes». *The Ottawa Journal*, 17 septembre 1975.
5. R.M. Dillon, «Intermediate Technology and Mission for Mankind», Réunion annuelle de l'Association professionnelle des ingénieurs de l'Ontario, Toronto, 1^{er} mai 1976, p. 13.
6. T.B. Reed, «Potential Impact of Widespread Use of Wood and Alcohol: Questions and Issues», *Colloque sur les alcools, combustibles de remplacement pour l'Ontario*, Toronto, 19 novembre 1976, 20 p.
7. N.V. Schwarz, «Alcohols as Alternative Fuels for Ontario», *Chemistry in Canada*, février 1977, pp. 27-28.
8. R.J. Hall, «Resource Availability and Utilization of Forests for Energy», *Colloque sur les alcools, combustibles de remplacement pour l'Ontario*, Toronto, 19 novembre 1976, 24 p.
9. G.E. Timbers, «Alcohols from Cellulose», *Colloque sur les ressources énergétiques agricoles: Les alcools, combustibles de remplacement pour l'Ontario*, Toronto, 19 novembre 1976, 16 p.
10. R.C. McGinnis, «Potential Biomass Energy Crops», *Compte rendu de la Conférence internationale sur l'énergie de la biomasse*, Winnipeg, 13-15 mai 1973.
11. Helmut Leith et Robert H. Whittaker, dir. de publ., *Primary Productivity of the Biosphere*, Springer-Verlag, New York, 1975, 340 p.
12. G.S. Trick, «Forest and Field Fuels», *Récapitulation de clôture du Colloque sur les combustibles tirés des déchets forestiers et agricoles*, réuni sous le parrainage du Biomass Energy Institute, Winnipeg, 11-13 octobre 1977, 4 p.
13. Récapitulation du Colloque sur «Les combustibles tirés des déchets forestiers et agricoles», *The Biomass Energy Institute Newsletter*, juillet-octobre 1977, p. 2.
14. G.S. Trick, «Biomass Energy», *Communication du 18 janvier 1977*, 8 p.
15. Peter Middleton, «Forest Biomass», *Communication du 17 janvier 1977*, 1 p.
16. Donald Mackay et Russell Sutherland, *Methanol in Ontario*, Rapport préliminaire adressé au ministère ontarien de l'Énergie, novembre 1976, 87 p.
17. D. Mackay et R. Sutherland, «Methanol: a potential Canadian energy commodity», *Engineering Digest*, juillet-août 1977, pp. 19-21.
18. A. Carlisle, *The Utilization of forest biomass and forest industry wastes for the production and conservation of energy*, Service canadien des forêts, Pêches et Environnement Canada, Ottawa, 1976, 54 p.
19. H.M. Lapp, *Biomass — A Renewable Energy Resource*, Comité parlementaire et scientifique des sources énergétiques de remplacement, Ottawa, 15 février 1977, 8 p.
20. Fabien Gruhier, «L'énergie verte: l'urgence de revenir aux sources biologiques de l'énergie», *Québec Science*, octobre 1977, pp. 12-16.
21. Morris Wayman, *New Possibilities for Fuel from Biological Processes*, Exposé aux cadres scientifiques du Conseil des sciences du Canada, 9 mai 1977, 18 p.
22. «A Fungus That Can Make Fuel or Food», *Business Week*, 8 juin 1974, p. 23.
23. Andrew Moriarity, «Industrial fermentation: microbiology's solution to the world's problems», *Canadian Research*, septembre-octobre 1975, pp. 46-49.
24. I. Staicu, *Biological Energy*, Comité consultatif des Nations Unies pour l'application des sciences et de la technologie au développement, 20 mai 1974, 4 p.
25. David Hall et Malcolm Slessor, «Self-sufficiency through biology», *New Scientist*, 15 juillet 1976, pp. 136-137.
26. «CET Weighs Potential of Fuels from Biomass», *Chemical & Engineering News*, 23 février 1976, pp. 24-26.
27. *Comparison of Fossil and Wood Fuels*, Rapport présenté par les Laboratoires Battelle-Columbus à l'Environmental Protection Agency, mars 1976, 238 p.
28. J.A.S. Adams, L.L. Lundell et M.S.M. Mantovani, «Wood versus Fossil Fuel as a Source of Excess Carbon Dioxide in the Atmosphere: A Preliminary Report», *Science*, 1^{er} avril 1977, pp. 54-56.
29. B. Boulter, «Woodlot Strategies & Tactics», *Hurrowsmith*, septembre-octobre 1976, pp. 14-16.
30. E.E. Robertson, *Feasibility of Generating Liquid and Gaseous Fuels from Wood and Agricultural Wastes*, Communication du 6 juillet 1977, 3 p.
31. Bruce Nannon, «Modern Agrarianism», *Science*, 26 août 1977, p. 821.
32. «Fluid-bed combustion of wood», *Energy Research Reports*, 17 octobre 1977, p. 4.

33. «Steam Boiler Fires Wood Wastes», *Engineering Digest*, août 1975, p. 50.
34. *Hearst Wood Wastes Energy Study — A Preliminary Feasibility Study*, présentée par SCN Consultants Limited, Toronto, décembre 1976, 83 p.
35. L. Gardner, *Production of a Hydrocarbon-Type Synthetic Fuel from Wood*, Division de génie mécanique, CNRC, Ottawa, septembre 1976, pages diverses.
36. G.S. Trick, *Energy R, D & D Priorities*, Communication du 9 décembre 1977, 11 p.
37. «Big Push for Biomass Bonanza — Researchers Seek Economical Ways of Turning Cellulose Wastes into Fuels and Chemical Feedstocks to Stave off Shortages», *Chemical Week*, 5 avril 1978, pp. 40-42.
38. «Guidelines to Industrial Progress — Gasification», *B.C. Research*, avril 1978, 1 p.
39. Andrew Moriarity, «Industrial fermentation: Canadian necessity/Saskatchewan opportunity», *Canadian Research*, avril 1978, pp. 23-24.
40. Donald Mackay et Russell Sutherland, *Methanol in Ontario — A Preliminary Overview Report*, présenté au ministère de l'Énergie par le département de génie chimique et de chimie appliquée de l'Université de Toronto, novembre 1976 et juin 1978, 87 p.
41. *Liquid Fuels in Ontario's Future — Findings and Recommendations*, 1^{er} Rapport du Groupe consultatif des carburants liquides synthétiques auprès du ministère de l'Énergie, sous la présidence d'Arthur C. Johnson, mai-juin 1978, pages diverses; de même. *A Summary*, mai 1978, 10 p.
42. *Economic Analysis of Synthetic Liquid Fuels*, 2^e Rapport au Groupe consultatif des carburants liquides synthétiques auprès du ministère de l'Énergie, présenté par Canadian Resourcecon Limited, Service des publications du gouvernement de l'Ontario, Toronto, mai 1978, pages diverses.
43. *Candidate Raw Materials for the Production of Synthetic Fuels in Ontario*, 3^e Rapport au Groupe consultatif des carburants liquides synthétiques auprès du ministère de l'Énergie, présenté par le Groupe de travail sur les matières premières, sous la présidence de D.P. Drysdale, ministère ontarien de l'Énergie, mai 1978, 32 p.
44. *The Production of Synthetic Liquid Fuels for Ontario*, 4^e Rapport au Groupe consultatif des carburants liquides synthétiques auprès du ministère de l'Énergie, présenté par Chemical Engineering Research Consultants Limited et le département de génie chimique et de chimie appliquée de l'Université de Toronto, ministère de l'Énergie, mai 1978, 174 p.
45. A.C.S. Hayden, *Utilization of Methanol-Based Fuels in Transportation*, 5^e Rapport au Groupe consultatif des carburants liquides synthétiques auprès du ministère de l'Énergie, présenté par le ministère des Transports et des Communications; Coordonnateur: D.W. Farren, ministère ontarien des Transports et des Communications, avril 1978, 79 p.
46. *Utilization of Methanol in Stationary Source Combustion*, 6^e Rapport au Groupe consultatif des carburants liquides synthétiques auprès du ministère de l'Énergie, présenté par les laboratoires canadiens de recherche sur la combustion, Énergie, Mines et Ressources Canada, ministère ontarien de l'Énergie, mai 1978, pages diverses.
47. B.R. Seckington et R.E. Waters, *Utilization of Synthetic Liquid Fuels for Electric Generation*, 7^e Rapport au Groupe consultatif des carburants liquides synthétiques auprès du ministère de l'Énergie, présenté par l'Ontario Hydro, ministère ontarien de l'Énergie, mai 1978, 27 p.

Voir également

Mart Kirik, «Alcohol as an Alternative Fuel», *The Ontario and Engineering Digest*, septembre 1977, pp. 29-31.

Orientations possibles et contraintes éventuelles

48. J.A.S. Adams, L.L. Lundell et M.S.M. Mantovani, «Wood versus Fossil Fuel as a Source of Excess Carbon Dioxide in the Atmosphere: A Preliminary Report», *Science*, 1^{er} avril 1977, pp. 54-56.
49. H.M. Lapp, *op. cit.*
50. Le programme de la Sixième réunion annuelle du *Biomass Energy Institute*, Winnipeg, 11-13 octobre 1977.
51. G.S. Trick, Communication du 24 mai 1977, 2 p.
52. «Carbon Black Plant from Lumber Waste for British Columbia», *Oilweek*, 20 mars 1972.
53. Bruce Hannon, «Modern Agrarianism», *Science*, 26 août 1977, p. 821.
54. «Fluid-bed combustion of wood», *Energy Research Reports*, 17 octobre 1977, p. 4.
55. «Steam Boiler Fires Wood Wastes», *Engineering Digest*, août 1975, p. 50; *Hearst Wood Wastes Energy Study — A Preliminary Feasibility Study*, présentée par SCN Consultants Limited, Toronto, décembre 1976, 83 p.

56. L. Gardner, *Production of a Hydrocarbon-Type Synthetic Fuel from Wood*, Division de génie mécanique, CNRC, Ottawa, septembre 1976, pages diverses.

57. «GT Weighs Potential of Fuels from Biomass», *Chemical & Engineering News*, 23 février 1976, pp. 24-26.

Orientations recommandées pour l'effort de R, D & D

58. *An Outline to a Renewable Energy System*, Secrétariat des études prospectives, Stockholm, 1978, 109 p. plus annexe.

59. *Ibid.*

60. Donald Mackay et Russell Sutherland, *Methanol in Ontario*, Rapport préliminaire adressé au ministère ontarien de l'Énergie, novembre 1976, 87 p.

61. *Liquid Fuels in Ontario's Future — Findings and Recommendations*, 1^{er} Rapport au Groupe consultatif des carburants liquides synthétiques auprès du ministère de l'Énergie, sous la présidence d'Arthur C. Johnson, mai-juin 1978, pages diverses; de même, *A Summary*, mai 1978, 10 p; *Economic Analysis of Synthetic Liquid Fuels*, 2^e Rapport au Groupe consultatif des carburants liquides synthétiques auprès du ministère de l'Énergie, présenté par Canadian Resourcecon Limited, Service des publications du gouvernement de l'Ontario, Toronto, mai 1978, pages diverses; *Candidate Raw Materials for the Production of Synthetic Fuels in Ontario*, 3^e Rapport au Groupe consultatif des carburants liquides synthétiques auprès du ministère de l'Énergie, présenté par le Groupe de travail sur les matières premières, sous la présidence de D.P. Drysdale, ministère ontarien de l'Énergie, mai 1978, 32 p.

62. L. Gardner, *Production of a Hydrocarbon-Type Synthetic Fuel from Wood*, Division de génie mécanique, CNRC, Ottawa, septembre 1976, pages diverses.

63. Étude préliminaire de faisabilité économique: *Large Scale Methanol Fuel Production from Surplus Canadian Forest Biomass*, rédigée par *InterGroup Consulting Economists Limited*, Winnipeg, septembre 1976, 107 p., plus divers documents de travail.

Voir également

Earl V. Anderson, «Gasohol: energy mountain or molehill?», *C & EN*, 31 juillet 1978, pp. 8-12, 15.

Andrew Barnett, Leo Pyle et S.K. Subramanian, *Biogas Technology in the Third World: A Multidisciplinary Review*, The International Development Research Centre, Ottawa, 1978, 122 p. plus 3 annexes et bibliographie.

«Aspen Poplar May Provide Substitute for Bunker C Oil», *The Citizen*, Ottawa, 26 juin 1978.

«Cars on Corn», *The Economist*, 5 août 1978, p. 63.

Geoff Newell, «Energy Report — Biomass Proposed Energy Source», *Oilweek*, 25 septembre 1978, pp. 23-24, 30, 32-33, 34 et 36.

Davis Pimentel et coll., «Biological solar energy conversion and U.S. energy policy», *BioScience*, juin 1978, pp. 376-382.

G.S. Trick, «Main Directions of R, D & D», Communication verbale du 7 juillet 1978.

2. Démonstration des chauffe-eau solaires et des installations solaires de chauffage des locaux

Il reste bien des problèmes non résolus et des questions sans réponse au sujet de la faisabilité de ces dispositifs sur les plans industriel, économique, juridique et social, et des conséquences de la mise en œuvre à grande échelle d'une filière du chauffage solaire par captage. Nous proposons une démonstration de chauffage de l'eau sanitaire (*domestic water*) et de chauffage des locaux (*space heating*). La climatisation n'est pas envisagée spécialement, mais n'est pas non plus oubliée. L'accent que nous donnons au chauffage solaire par captage (*active solar heating*) ne va nullement à l'encontre de toute forme de chauffage par exposition (*passive solar heating*) et des technologies correspondantes. Tout au contraire, les concepts de chauffage par exposition complétés par des mesures efficaces d'économie de l'énergie précédent et complètent l'utilisation de dispositif de captage de l'énergie solaire et améliorent leur rendement*.

Caractéristiques des démonstrations

Seules les démonstrations réalisées dans des conditions réelles, et d'une envergure suffisante, pourront véritablement dissiper les incertitudes nombreuses entourant le chauffage solaire. Il est nécessaire de prouver comment les théories et les expériences peuvent être concrétisées sous forme d'édifices chauffés par le soleil. Il faut qu'une démonstration réaliste porte au moins sur un quartier d'habitations équipées de chauffage solaire des locaux et de l'eau sanitaire, et d'un calostockeur (*heat storage*) (p. ex., plusieurs immeubles locatifs comprenant des logements habituels et des tours; un quartier mixte; un quartier à zonage).

Il est donc proposé, dans le cadre d'une démonstration effective: a) que les actions-pilotes portent sur des centaines, sinon des milliers de logements et de bâtiments; b) qu'on réalise successivement jusqu'à trois programmes de démonstrations cohérents, à l'échelle normale, dans des cadres de vie divers et le milieu urbain. Il faudrait réaliser ces démonstrations parallèlement à l'implantation de nouveaux districts urbains ou communes, ou à la reconstruction des centres-villes, et mettre sur pied des essais préliminaires pour évaluer les concepts de chauffage central collectif et d'installation collective fournissant de l'eau chaude et de la chaleur à cinquante ou cent ménages ou domiciles. Il faudrait également étudier et évaluer l'utilisation de l'énergie solaire dans les petites agglomérations et les municipalités isolées.

L'orientation définitive de la filière solaire de chauffage et de climatisation n'est nullement déterminée à l'heure actuelle. Il faut échelonner judicieusement les démonstrations pour qu'elles tiennent compte des résultats obtenus précédemment, et que s'améliore le processus d'acquisition du savoir-faire technique. Il faudra très probablement apporter des modifications notables, tant à l'envergure des démonstrations qu'à leur nature. Ainsi, le chauffage d'une unité englobant de 50 à 100 ménages pourrait s'avérer peu économique, alors que celui d'un groupe de 500 à 1 000 ménages apparaîtrait économique dans le contexte des années quatre-vingts. Il est même possible que l'approche globale soit entièrement changée.

*Mentionnons les excellents exposés du Séminaire de la Commission économique pour l'Europe auprès des N.U., au sujet des incidences des considérations énergétiques sur l'aménagement et le développement des agglomérations humaines, Ottawa, 3-4 octobre 1977; par exemple: 1° C.I. Jackson, *Canada Human Settlements and Energy*, 62 p., 2° *Habitat and Energy in Canada*, monographie nationale présentée par la Délégation canadienne, 101 p.

La réglementation de l'utilisation du sol devient d'une importance capitale pour la mise en œuvre du chauffage solaire dans le cadre urbain*. Il faudrait que certains aspects des démonstrations portent sur la modernisation de maisons et d'autres bâtiments anciens en vue du chauffage solaire, pour obtenir des données précises sur cette question controversée.

Le chauffage solaire à l'échelle que nous proposons ici fournirait la possibilité de comparer les méthodes rivales. Ultérieurement, on pourrait comparer le chauffage solaire d'un district urbain avec le chauffage électrique par résistances et pompes à chaleur, et avec le chauffage au gaz naturel et, si cela est possible à l'avenir, avec le chauffage par centrales mixtes chaleur-électricité. Il serait également possible d'essayer le chauffage solaire de groupes de bâtiments dispersés presque au hasard dans une ville alimentée par des réseaux en damier de distribution du chauffage au mazout, au gaz ou à l'électricité.

De même, la planification des démonstrations devrait permettre l'essai des pompes à chaleur** pour la climatisation, parallèlement à celui des installations solaires.

Il est indispensable que ces actions aient une grande envergure, pour permettre une évaluation convenable de l'apport de la filière solaire à l'approvisionnement énergétique du pays. Comme le chauffage est absolument indispensable à des populations vivant dans un climat continental comme celui du Canada, il faut évaluer le comportement du chauffage solaire des locaux dans les conditions les plus rigoureuses. De plus, parallèlement à ce comportement technique, il faut évaluer le fonctionnement des réseaux complexes de services indispensables, les politiques collectives (en matière d'octroi des hypothèques, d'imposition et de zonage), p. ex. les lignes de conduite juridiques et sociales et les problèmes qu'elles soulèvent.

Il faudra que la planification à long terme des démonstrations successives soit établie de concert entre de nombreux intéressés, et grâce à leur coopération étroite. Les chercheurs universitaires devront œuvrer dans un cadre multidisciplinaire, avec des architectes spécialisés, des ingénieurs mécaniciens, des énergéticiens et des promoteurs. Les administrateurs municipaux et les urbanistes devront collaborer efficacement avec les spécialistes du bâtiment et de la fabrication industrielle, et avec les juristes spécialisés. Il faudrait inviter des représentants de tous les corps de métiers intéressés à apporter leur contribution et à s'informer. Cette action donnerait la possibilité de mettre sur pied un modèle canadien de coopération technologique et gestionnaire***.

Les contributions attendues des démonstrations

Voici en bref les justifications d'un tel programme exhaustif des démonstrations successives:

- a) Elles permettraient d'accroître la masse des connaissances sur la mise en œuvre de la filière du chauffage solaire, et d'en mieux appréhender les nécessités techniques et économiques.

*École d'urbanisme et d'aménagement régional, Université de Waterloo, Programme de recherches sur l'énergie solaire pour 1977, *Preliminary Statement of Research Intentions*.

**On n'a guère évalué le rôle des pompes à chaleur sur la scène canadienne, bien que leur technologie soit suffisamment connue.

***John G. Douglas, *Strategy for the Development of a Canadian Solar Energy Industry*, Étude réalisée pour le Conseil des sciences du Canada, octobre 1977, 47 p.

- b) Elles mettraient en évidence les conditions indispensables et astreignantes d'une évaluation valable de la durabilité et de la fiabilité des matériels en longue période.
- c) Elles permettraient d'évaluer le niveau de la demande thermique de pointe, et le coût de l'équipement de remplacement indispensable.
- d) Elles aideraient à évaluer les économies réelles permises par le chauffage solaire.
- e) Elles permettraient de fixer le niveau des subventions nécessaires au développement du chauffage solaire, au rythme voulu pour maintenir la validité de cette option énergétique.
- f) Elles permettraient d'essayer divers composants modulaires et dispositifs auxiliaires dans des conditions réglées, et de recommander des normes améliorées de comportement.

Il faudrait accorder une attention spéciale à l'élaboration du programme proposé, car les démonstrations fourniraient la possibilité de mettre au point des normes utiles. Il en faut tant pour le matériel et les matériaux que pour les services, afin de fixer le rendement minimal des dispositifs solaires commerciaux, vendus ou loués pour le chauffage de l'eau sanitaire ou des locaux. Il faut fixer ces normes à des niveaux que les utilisateurs éventuels considèrent acceptables et qui encouragent l'acquisition des installations solaires. Il faut établir et confirmer ces normes par des mesures effectives. Le public devrait avoir la possibilité d'examiner et de critiquer tant le matériel que les normes. Les entrepreneurs choisis par le ministère de l'Énergie, des Mines et des Ressources pourraient peut-être rassembler les connaissances techniques nécessaires à l'élaboration des normes, de concert avec les organismes de l'État. Les normes initiales devraient être utilisées et essayées au cours de toutes les actions-pilotes financées par l'État. Mais il faudrait les mettre à jour à de fréquents intervalles au cours de ce programme de démonstrations à projets successifs. Après son achèvement, les normes de comportement pourraient constituer les lignes de force des stipulations combinées de l'industrie et de l'État pour les installations solaires standardisées.

Il faut élaborer soigneusement les conditions d'essai et les méthodes, de même que les réglementations sécuritaires, pour toutes les catégories de projets avant la réalisation de chaque phase du programme, et les réviser périodiquement au cours de celle-ci. Comme les normes fixent seulement des niveaux minimaux de rendement, elles ne constituent pas les seuls critères d'homologation d'une technologie du chauffage solaire. Il serait donc possible de mettre en relief les différentes priorités d'accroissement des rendements, et d'introduire d'autres considérations en vue d'ouvrir le large éventail des matériels solaires. Les critères d'évaluation du rendement pourraient tenir compte des besoins et des préférences des utilisateurs, de la fiabilité, de la facilité d'entretien, de la sécurité et de la capacité des appareils, et des garanties, des coûts et autres considérations qualitatives qui déterminent le succès des démonstrations et qui, en outre, devraient être pratiques.

Sur le plan technologique, on espère que les démonstrations permettront: 1° d'améliorer la conception des appareils solaires; 2° d'évaluer le comportement des matériaux et leur vieillissement effectif dans les dispositifs solaires; 3° de mettre en relief les technologies convenant aux conditions du Canada, ou même particulières à celui-ci; 4° d'évaluer le potentiel d'adaptation actuel des branches des matériaux et du matériel solaires; 5° d'évaluer le potentiel industriel complémentaire et l'infrastructure indispensables; 6° de mettre en évidence et à l'essai des normes initiales, parallèlement aux inspections sur place prévues et 7° d'élaborer des normes de fabrication et d'installation des dispositifs solaires, et des normes de matériaux et de composants.

En outre, les démonstrations devraient permettre de réduire fortement les incertitudes entachant les diverses évaluations de coûts, les analyses économiques et les «formules de financement».

On estime généralement que l'énergie solaire n'a pas d'incidence sur l'environnement. Néanmoins, les démonstrations permettraient aussi de découvrir des solutions à toute répercussion fâcheuse éventuelle. La technologie du chauffage solaire, telle qu'on la conçoit actuellement, pose de sérieuses questions sur les plans du bilan énergétique, des matériaux, et des risques encourus. Le chauffage par captage de l'énergie solaire, tel qu'il se distingue du chauffage solaire par exposition, paraît être un développement parasitaire et se fonder sur la technologie en déclin des combustibles fossiles; il exige de grandes quantités de matériaux, tant pour le captage que pour le stockage de l'énergie, dont la fabrication nécessite de fortes quantités d'énergie à haute température, et il paraît utiliser un matériel et des installations d'une vie utile relativement courte. En outre, les avis sont partagés au sujet de l'esthétique ou de la commodité de la filière solaire.

Une démonstration bien conçue devrait permettre d'identifier et d'évaluer les avantages sociaux nets du chauffage solaire de l'eau sanitaire et des locaux, et en même temps d'évaluer sa viabilité et sa pérennité sur les plans technique, économique et d'environnement.

En matière d'organisation collective, les démonstrations permettront de cerner et d'étudier les obstacles, et de clarifier le rôle des différents réseaux et organismes du secteur énergétique (p. ex., les installations auxiliaires de distribution d'électricité et de gaz, les limites des compétences des administrations fédérale, provinciales et municipales; et le rôle des organismes responsables, telles les compagnies de distribution d'énergie).

Enfin, ce qui est très important, les démonstrations devraient, non seulement contribuer à délimiter l'approvisionnement énergétique possible, mais aussi permettre de prévoir quels seront les débouchés pour l'énergie solaire et la concurrence que celle-ci devra affronter.

Il faut que les *projets-pilotes expérimentaux* et les *démonstrations en grandeur normale* prévoient une expansion des activités de R & D étayant l'utilisation pratique de l'énergie solaire. Bien que la technologie pertinente soit déjà bien développée, il y a encore beaucoup de progrès à faire. La fabrication d'équipement solaire à l'échelle industrielle pose des défis et ouvre des possibilités aux firmes canadiennes, et à leur savoir-faire technique. Ainsi donc:

- a) Les projets de démonstration expérimentaux doivent être choisis judicieusement, en fonction de leur mérite individuel, et permettre de déterminer la faisabilité du chauffage solaire dans les diverses conditions rencontrées au Canada, qui ne sont pas trop défavorables.
- b) Les programmes de démonstrations à échelle normale devraient permettre d'évaluer les possibilités du chauffage solaire pour notre pays, dans des conditions réelles, et de déterminer les effets de son utilisation étendue sur la situation financière des compagnies existantes de distribution d'énergie (p. ex., d'électricité).

Enfin, il faut souligner que les démonstrations n'atteindront pleinement leur objectif que grâce à une entière participation des chefs d'entreprise intéressés.

Rôle des autorités publiques

Il faut que les autorités publiques et les administrations s'efforcent de coopérer à chaque niveau, qu'il soit fédéral, provincial ou municipal.

Le gouvernement fédéral doit mettre en place une nouvelle législation, des réglementations et des normes créant les conditions favorables à la *mise en œuvre opportune* de la technologie solaire. Plus particulièrement, les divers paliers d'autorité doivent choisir leurs priorités en matière d'apport souhaitable de la filière solaire, adopter un rythme convenable de mise en œuvre, et utiliser les moyens, les mécanismes et les processus disponibles pour encourager les firmes canadiennes, qu'elles soient découvertes ou choisies, mais préférablement petites, dynamiques, animées par l'esprit d'entreprise, à développer une technologie solaire utilisable dans les régions septentrionales. Il faut que le Canada dispose d'une industrie pouvant fabriquer des collecteurs solaires et des calorifères sans aucune subvention, et les commercialiser à des prix acceptables.

De plus, il faut également réduire les prix d'autres composants des dispositifs de chauffage solaire. Il faut probablement que dès l'abord, le gouvernement s'engage à soutenir le développement de la filière solaire au moment voulu. Cet engagement, s'il est pris opportunément et si on le fait connaître, devrait inciter l'industrie et les sphères financières à prendre des engagements comparables, et à consacrer le temps et l'argent nécessaire à l'entreprise.

Ampleur de l'effort

I. Repères

a) Documentation utile

- K.G.T. Hollands et J.F. Orgill, *Potential for Solar Heating in Canada*, Rapport n° 77-1, Université de Waterloo, Ont., février 1977, 102 p.; cette source a été utilisée pour l'évaluation du coût du chauffage solaire des locaux.
- K.G.T. Hollands et J.F. Orgill, *Continuation Study of the Potential for Solar Heating of Buildings in Canada*, Rapport n° 77-2, Institut de recherche de l'Université de Waterloo, Waterloo, Ont., août 1977, 41 p.
- Roger M.R. Higgin, *Solar Heating for Buildings in Ontario*, ministère ontarien de l'Énergie, août 1976, 16 p.
- Thomas E. Lencheck, «Energy Expenditures in a Solar Heating System», *Alternative Sources of Energy*, juin 1976, pp. 13-18.
- *Catalogue on Solar Energy Heating and Cooling Products*, Division de l'énergie solaire, Office de R & D énergétique des États-Unis (ERDA), en collaboration avec le Secrétariat au logement et à l'urbanisme, Oak Ridge, Tennessee, octobre 1975, pages diverses.
- Robert Argue, *Catalogue of Solar Heating Products and Services in Canada*, Rapport de recherche n° 12, Bureau de la conservation de l'énergie, Direction des ressources énergétiques renouvelables, Énergie, Mines et Ressources Canada, Ottawa, février 1977, 112 p.
- F.C. Hooper, Communication du 28 novembre 1977, 2 p.; cette source a été utilisée pour évaluer le coût du chauffage solaire de l'eau sanitaire, et connaître la répartition des actions-pilotes selon le genre de logements et les niveaux de financement.

b) *Inventory of Energy R & D*, Énergie, Mines et Ressources Canada, février 1977:

Enveloppe fédérale de la R & D sur l'énergie solaire, 1976-1977:

1 641 000 \$

c) Enveloppe fédérale de la R & D énergétique, 1976-1978

Énergies renouvelables 1976-1977	Énergies renouvelables 1977-1978
4,7 M\$ (3,5%)	9,1 M\$ (6,6%)

d) Comité parlementaire permanent des ressources naturelles

Au cours d'une séance du Comité permanent des ressources naturelles (30-3-1977: p. 15:23), on a déclaré que, dans le cadre du programme fédéral de R & D énergétique de 1978, le Conseil national de recherches consacrerait environ 1 million de \$ à la mise en œuvre d'un programme d'aide à la mise au point des matériels de chauffage solaire par l'industrie canadienne.

e) Rapports annuels récents du CNRC et *Research News*

Le CNRC a accordé 14 contrats, au montant total de 229 000 \$, pour la conception et l'installation de dispositifs de chauffage solaire.

2. Calculs préliminaires

a) *Recherches sur les techniques existantes et évaluation*

Il faudrait effectuer plusieurs études préparatoires avant de mettre en œuvre des démonstrations à plus grande échelle, comme suit:

- Une étude multidisciplinaire sur la possibilité d'utiliser le chauffage solaire dans les centres-villes. Un des volets importants de cette étude porterait sur la possibilité d'équiper les maisons existantes en dispositifs de chauffage solaire.
- Une étude de tous les paramètres intervenant dans le rapport coût/efficacité du stockage semestriel de chaleur dans les maisons unifamiliales. Cette technologie de calostockage¹ (*heat storage*) et le genre d'habitation constituent d'importantes données de comparaisons au Canada.
- Une étude du calostockage semestriel en matériau liquide et des procédés préférés au Canada (p. ex., l'utilisation d'antigel et de dispositifs de vidange du collecteur).
- Une étude de l'influence du climat canadien (telles les températures extrêmes ou la forte humidité) sur la durabilité des collecteurs.
- Une étude continue pour l'amélioration des méthodes de conception dans tous les cas, mais portant particulièrement sur le calostockage semestriel dans les conditions favorables.
- Une étude des répercussions d'environnement de l'extraction et du traitement des métaux divers et des autres matériaux utilisés pour la fabrication des collecteurs solaires.
- Un bilan énergétique de la fabrication des matériaux et de la construction des usines et des matériels nécessaires à la mise en œuvre de la filière solaire. Il permettrait d'évaluer la dépendance nette de la filière solaire à l'égard des filières nucléaires et des combustibles fossiles².

De six à douze études approfondies, accompagnées de recherches en laboratoire et d'essais-pilotes pertinents, dont chacune coûterait environ 300 000 \$, soit un total de: 3 000 000 \$

b) *Projets de démonstration de chauffage solaire*

Les projets de démonstration individuels de chauffage solaire proposés

se rangent sous les deux rubriques suivantes:

1° chauffage solaire d'eau sanitaire et 2° chauffage solaire des locaux.

Soulignons encore ici qu'il s'agit, grâce à des projets de démonstration individuels largement dispersés dans le pays, d'évaluer les possibilités générales de la filière solaire, d'en déterminer les conditions favorables, et de mettre en relief, de circonscrire et d'évaluer les paramètres géographiques, saisonniers et climatiques qui interviennent dans une évaluation valable.

Projets de démonstration de chauffage d'eau sanitaire: On estime que la fourniture d'eau chaude sanitaire constitue l'une des applications de l'énergie solaire les plus prometteuses à mettre en œuvre très tôt, à grande échelle, au Canada. Il faudra envisager le chauffage tant direct qu'indirect de l'eau. Les chauffe-eau solaires conviennent pour les maisons neuves et pour la modernisation de maisons anciennes. Leur facteur de charge est élevé et ils sont économiques, surtout parce qu'on les utilise toute l'année.

Voici en conséquence quel est le programme proposé:

1. 1 200 chauffe-eau solaires en maison unifamiliale
à 1 500 \$ chacun: 1 800 000 \$
(part du coût: 40 pour cent)
2. 2 300 chauffe-eau solaires multifamiliaux et commerciaux
à 800 \$ par installation: 1 840 000 \$
(40 pour cent)
3. 8 installations de chauffage d'eau industrielle
à 115 000 \$ chacune: 920 000 \$
(20 pour cent)

Récapitulation:

Nombre des projets de démonstration de chauffage solaire de l'eau:
3 500 unités*

Coût total des installations solaires de chauffage de l'eau:
4 560 000 \$

Coût unitaire: 1 300 \$

Dans l'hypothèse où la part à ventiler au compte «démonstration» atteindrait 33 pour cent, l'installation de ces chauffe-eau solaires exigerait un financement de:

$0,33 \times 4\,560\,000 \$ = 1\,504\,800 \$$
soit un montant arrondi de 1 500 000 \$

Projets de démonstration de chauffage solaire des locaux: Comme de nombreux paramètres de la réalisation des dispositifs de chauffage solaire des locaux sont encore incertains, il faut poursuivre le programme actuel des projets de démonstration individuels choisis séparément. Il semble, par exemple, qu'une série de 200 à 300 projets constituerait un minimum, dans l'hypothèse où elles couvriraient six genres de bâtiments, trois types d'installations de chauffage, deux modèles de collecteurs de trois fabrications différentes, et incluraient quelques doubles emplois en vue d'un meilleur contrôle. Si, en outre, on estimait que le dispositif moyen de chauffage solaire coûte 40 000 \$, y compris le suivi nécessaire, et que la

*Chiffre arrondi

part au titre de la démonstration n'est que de 33 pour cent (car la plupart des logements sont habités), il s'ensuivrait que le niveau minimum de financement pour les actions-pilotes de chauffage solaire des locaux atteindrait environ 4 000 000 de \$.

Nous proposons la répartition suivante des divers dispositifs de chauffage solaire, en indiquant les coûts totaux y compris ceux d'entretien et de suivi, ainsi que le financement:

1. 50 installations de chauffage solaire de maison unifamiliale, avec calostockage semestriel en matériau liquide, coûtant chacune 31 500 \$: 1 575 000 \$
(part du coût: 6 pour cent)
2. 300 installations de chauffage solaire de maison unifamiliale, avec calostockage court, coûtant chacune 13 500 \$: 4 050 000 \$
(16 pour cent)
3. 295 installations de chauffage solaire à l'air de maison unifamiliale, avec calostockage en blocs rocheux, coûtant chacune 12 000 \$: 3 580 000 \$
(14 pour cent)
4. 120 installations de chauffage solaire multifamilial en appartements ou maisons en rangées, coûtant chacune 38 000 \$: 4 560 000 \$
(17* pour cent)
5. 25 installations de chauffage solaire pour hôpitaux, écoles et édifices publics, coûtant chacune 245 000 \$: 6 125 000 \$
(24 pour cent)
6. 20 installations de chauffage solaire pour commerces, bureaux, magasins, entrepôts, usines et bâtiments agricoles, coûtant chacune 300 000 \$: 6 000 000 \$
(23 pour cent)

Récapitulation:

Nombre des projets de démonstration de chauffage solaire des locaux:
810 installations

Coût total des installations de chauffage solaire des locaux:
25 890 000 \$

Coût unitaire: 31 963 \$ ou,
en chiffres arrondis: 32 000 \$

Dans l'hypothèse où la part au titre de la démonstration serait de 33 pour cent, le financement nécessaire atteindrait:

$0,33 \times 25\,890\,000 \$ = 8\,543\,700 \$$
soit, en chiffres arrondis: 8 500 000 \$

*Chiffre arrondi

La récapitulation des projets de démonstration proposés de chauffage solaire des eaux sanitaires et des locaux fournit les données caractéristiques suivantes:

- | | |
|--|---------------|
| 1° Nombre arrondi d'installations: | 4 320 unités |
| 2° Coût total: | 30 450 000 \$ |
| 3° Financement total: | 10 000 000 \$ |
| 4° Pourcentage du financement réservé aux projets de démonstration de chauffage solaire d'eau sanitaire: | 15 pour cent |
| 5° Pourcentage du financement réservé aux projets de démonstration de chauffage des locaux: | 85 pour cent |

Enfin, nous proposons qu'une part notable du financement de ce programme y soit consacrée dès 1980 ou 1981.

c) *Démonstration poussée de chauffage solaire*

On envisage d'effectuer un programme de démonstrations de chauffage de l'eau sanitaire et des locaux en trois étapes, englobant finalement 1 800 installations, dont il faut analyser les problèmes d'approvisionnement et de consommation. En raison du coût très élevé des actions-pilotes d'une part, et des avantages substantiels d'un processus d'acquisition progressive du savoir-faire technique d'autre part, il faudrait que le programme se déroule en trois phases tenant compte des résultats obtenus au cours de la phase précédente. C'est pourquoi nous ne décrivons actuellement que la première d'entre elles.

Voici la répartition illustrative des installations et des coûts, y compris ceux d'entretien et de suivi pour la première phase du programme poussé de démonstration:

- | | |
|---|-----------------|
| 1° Équipement d'un centre d'achat avec un chauffe-eau coûtant 100 000 \$ et une installation de chauffage des locaux coûtant 1 600 000 \$ | 1 700 000 \$ |
| (part du coût: | 3,5 pour cent)* |
| 2° Fourniture à 4 hôpitaux, écoles avec logements ou édifices publics d'un service de chauffe-eau solaire coûtant 40 000 \$ et de chauffage solaire des locaux coûtant 420 000 \$ | 460 000 \$ |
| | (1 pour cent) |
| 3° Trois installations industrielles de production d'eau chaude coûtant chacune 230 000 \$ | 690 000 \$ |
| | (1,5 pour cent) |
| 4° Équipement de 10 entrepôts avec un chauffe-eau coûtant 20 000 \$ et une installation de chauffage des locaux coûtant 38 000 \$ | 580 000 \$ |
| | (1 pour cent) |
| 5° Équipement de 35 maisons unifamiliales, chacune avec un chauffe-eau solaire coûtant 1 500 \$ et une installation solaire de chauffage des locaux à collecteurs et caloporteur liquide, coûtant 12 900 \$ | 504 000 \$ |
| | (1 pour cent) |
| 6° Équipement de 50 logements unifamiliaux, chacun avec un chauffe-eau solaire coûtant 1 500 \$ et une installation | |

*Chiffre arrondi

solaire de chauffage à collecteurs et caloporteur gazeux,
 coûtant 11 000 \$ 630 000 \$
 (1,5 pour cent)

7° Équipement de 100 logements unifamiliaux, chacun
 avec un chauffe-eau solaire coûtant 1 500 \$ et une installation
 de chauffage des locaux avec calostockage à court terme,
 coûtant 13 500 \$ 1 500 000 \$
 (3 pour cent)

8° Équipement de 150 logements unifamiliaux, chacun
 avec un chauffe-eau solaire coûtant 1 500 \$ et un chauffage
 solaire des locaux avec calostockage semestriel,
 coûtant 31 500 \$ 4 950 000 \$
 (10,5 pour cent)

9° Équipement de 250 immeubles locatifs avec accès privé
 et magasins individuels, chacun avec un chauffe-eau solaire
 coûtant 6 400 \$ et une installation solaire de chauffage des
 locaux, coûtant 140 000 \$ 36 600 000 \$
 (77 pour cent)

Récapitulation:

Nombre d'installations faites au cours de la première phase du pro-
 gramme poussé de démonstration du chauffage solaire: 603 ou, en
 arrondissant: 600

Coût total des installations de chauffage solaire et de leur suivi:
 47 614 000 \$

Coût unitaire: 78 962 \$*

On doit se rendre compte que cet effort de développement technique et de
 démonstration servira largement à étayer l'élaboration de l'importante
 politique énergétique de l'avenir. Dans l'hypothèse où la part au titre de la
 démonstration à échelle normale constitue 50 pour cent du coût total des
 installations de chauffage, nous obtenons les chiffres suivants:

$0,50 \times 47\,614\,000\ \$ = 23\,807\,000\ \$$
 soit en arrondissant: 24 000 000 \$

d) *Évaluation et diffusion des résultats, et commercialisation.*

Dans l'hypothèse où l'évaluation et la diffusion des résultats de la
 démonstration coûteraient 5 pour cent du total, nous obtenons les montants
 suivants:

$0,05 \times 47\,614\,000 = 2\,380\,700\ \$$
 soit en arrondissant: 2 400 000 \$

Il faudrait également affecter un montant de 1 000 000 \$ au financement
 des premières étapes de la commercialisation des techniques de chauffage
 solaire et du matériel de valeur prouvée:

Total: 3 400 000 \$
 Total général: 40 400 000 \$

*Comme nous l'avons indiqué précédemment, le chauffage solaire constitue une méthode
 avantageuse de chauffage des grands édifices, mais le coût de ces installations est plus élevé
 que celui des installations de chauffage à combustible fossile, même si on les amortit
 complètement au cours de leur durée utile, ce qui est peut-être généreux.

Cadre chronologique

Voici la répartition illustrative du financement éventuel de la *première phase* d'un programme de démonstration par étapes des installations de chauffage solaire:

1979	1 000 000 \$	- Études critiques et évaluation des techniques existantes
1980	3 250 000 \$	- Projets de démonstration
1981	4 485 000 \$	
1982	4 265 000 \$	
1983	2 150 000 \$	- Démonstrations poussées
1984	2 650 000 \$	- Première phase
1985	3 850 000 \$	
1986	7 670 000 \$	
1987	5 760 000 \$	
1988	1 920 000 \$	
1989	900 000 \$	- Évaluation
1990	1 000 000 \$	- Diffusion des résultats et commercialisation
1991	1 000 000 \$	
1992	500 000 \$	
Total:	40 400 000 \$	

Notes et bibliographie

Lignes de force

Ron Argue et Bruce McCallum, «Environmentally Appropriate Housing», *Alternatives*, 12 août 1976, pp. 6-17.

M.K. Berkowitz, *Implementing Solar Energy Technology in Canada — The Costs, Benefits and Role of Government*, Direction des ressources énergétiques renouvelables, Énergie, Mines et Ressources Canada, Rapport E177-7, 1977, 239 p.

John O.M. Bockris, «The Coming Energy Crisis and Solar Sources», *Environmental Conservation*, hiver 1964, pp. 241-249.

Norman L. Brown et James W. Howe, «Solar Energy for Village Development», *Science*, 10 février 1978, pp. 651-657.

Nicholas Georgescu-Roegen, «The Role of Matter in the Substitution of Energies», Troisième Colloque international d'économie pétrolière, Université Laval, Québec, 3-5 novembre 1977, 10 p.

John B. Goodenough, «The Options for Using the Sun», *Technology Review*, octobre-novembre 1976, pp. 63-71.

Jim Harding, «Art for Energy's Sake, Not Man Apart», mai-juin 1978, pp. 10 et 14.

Denis Hayes, «The Solar Energy Timetable», *Worldwatch Paper 19*, avril 1978, 40 p.

Alan S. Hirschberg, «Public policy for solar heating and cooling», *Bulletin of the Atomic Scientists*, octobre 1976, pp. 37-45.

«Is the sun being oversold?», *Nature*, 20 mai 1976, p. 177.

Legislative and Governmental Actions Bearing on the Development of the Solar Heating Alternative, Rapport à la Commission royale d'enquête sur la planification de l'énergie électrique en Ontario, Hooper and Angus Associates Ltd., Consulting Professional Engineers, Toronto, janvier 1978, 117 p. plus annexes.

William A. Shurchiff, «Active-type solar heating systems for houses: a technology in ferment», *Bulletin of the Atomic Scientists*, février 1976, pp. 30-40.

«Swedish plan for solar village», *Energy International*, février 1978, p. 36.

«Which route to solar energy?», *Energy International*, septembre 1976, p. 5.

Technologiques

James R. Bolton, «Solar Energy — An Important Energy Resource for Canada», *Chemistry in Canada*, septembre 1975, pp. 29-32.

R.E. Chant, président, Solar Energy Society of Canada Inc., «The Role of Solar Energy», Troisième Forum canadien national sur l'énergie, Halifax, N.-É., 4-5 avril 1977, 13 p.

E.P. Cockshut, *Solar Energy, NRC Energy Project, SCITEC*, Exposé sur les ressources en énergie renouvelable, 15 février 1977, 14 p.

William C. Dickinson, «Solar Energy for Industrial Process Heat», *Solar Age*, août 1977.

Arthur D. Ezra, «Technology Utilization: Incentives and Solar Energy», *Science*, 28 février 1975, pp. 707-713.

Harold D. Foster et W.R. Derrick Dewell, *Solar Home Heating in Canada: Problems and Prospects*, Bureau des conseillers scientifiques, Pêches et Environnement Canada, Ottawa, 1977, 226 p.

F.C. Hooper, «The Possibility of Complete Solar Heating of Canadian Buildings», *The Engineering Journal*, novembre 1955, pp. 1501-1506.

F.C. Hooper, Large Scale Thermal Energy Storage, Compte rendu de la Conférence sur le potentiel de l'énergie solaire au Canada, Solar Energy Society of Canada, Inc., Winnipeg, 1975, IV, pp. 23-28.

F.C. Hooper, Communication du 28 novembre 1977, 2 p.

Neal A. Irwin, *Solar Heating — An Estimate of Market Penetration*, Rapport présenté à la Commission royale d'enquête sur la planification de l'énergie électrique en Ontario par le Groupe IBI, Toronto, 22 mars 1977, 48 p. etc.

H. Kobayashi, «Technical Development of Solar Energy Utilization in Japan», X^e Conférence mondiale de l'énergie, Istanbul, 19-23 septembre 1977, 22 p.

Jan F. Kreider et Frank Kreith, *Solar Heating and Cooling: Engineering, Practical Design and Economics*, Hemisphere Publishing Corporation, Washington, D.C., 1975, 342 p.

T.A. Lawand, Statement Made to United States Senate Committee on Interior and Insular Affairs, 27 juin 1974, Institut de recherche Brace, Collège Macdonald, Université McGill, 23 p.

R.N. Morse, «Solar Heating as a Major Source of Energy for Australia», X^e Conférence mondiale de l'énergie, Istanbul, 19-23 septembre 1977, 22 p.

«Ottawa Conference 1975. Numéro spécial», *SOL J*, Solar Energy Society of Canada, Inc.

Compte rendu de la Conférence conjointe de la section américaine de la Société internationale de l'énergie solaire et de la Solar Energy Society of Canada Inc., «Sharing the Sun 76», Winnipeg, 15-20 août 1976.

L.F. Skoda et L.W. Masters, *Solar Energy Systems — Survey of Materials Performance*, Rapport présenté à l'Office de R & D énergétique des États-Unis (ERDA), Center for Building Technology, Institute for Applied Technology, National Bureau of Standards, Washington, octobre 1977, 110 p.

Robert K. Swatman, «Solar Energy: A Priority in Energy Development in Canada», XIII^e réunion de la Fédération panaméricaine des sociétés, et LXXXVIII^e réunion annuelle de l'Institut du génie du Canada, Toronto, 6-12 octobre 1974, 8 p.

Calculs préliminaires

1. Les dispositifs de calostockage semestriel conviennent mieux pour les grandes installations que pour les maisons unifamiliales; Voir Frank Hooper, *op. cit.*

2. *Ibid.*

3. Démonstration de la production d'énergie à partir des déchets ménagers

Ce programme porterait sur la récupération de l'énergie contenue dans les ordures ménagères (*municipal solid waste*). Le projet «Watts from waste» de l'Administration ontarienne en constitue une illustration valable*. Comme il s'agit de production d'électricité, les méthodes suivies sont différentes de celles qui conviendraient pour la production de combustibles. On qualifie de «combustibles tirés des déchets» les produits de la transformation des ordures en un combustible pouvant être utilisé avec quelque souplesse par l'industrie, les centrales thermiques ou les ensembles domiciliaires et commerciaux.

Stratégies de production économique de l'énergie

L'information nécessaire à l'élaboration des démonstrations de production d'énergie à partir des déchets est tirée de la série suivante d'observations et d'hypothèses:

Orientations économiques et difficultés

1° À mesure que s'élève le coût de l'énergie et de l'élimination des ordures, l'intérêt de l'utilisation de ces dernières pour produire de l'énergie s'accroît. Les connaissances acquises récemment paraissent confirmer que la contribution des ordures à l'approvisionnement énergétique ne serait pas considérable, mais leur traitement dans ce but permettrait de réduire la difficulté principale, qui est leur élimination.

2° Comme d'autres projets de production d'énergie à l'aide de matériaux récupérés, celui de production d'électricité à partir des ordures ménagères rencontre divers obstacles tels que:

- la nécessité de construire de vastes installations pour tirer avantage des économies de dimension (p. ex., une installation d'une capacité de 1 000 tonnes par jour d'ordures produites par une population dépassant 500 000 âmes);
- l'écartèlement des compétences en matière de financement et d'exploitation des installations communes;
- la commercialisation des produits énergétiques (p. ex., la vapeur, les combustibles), en raison des difficultés a) d'utilisation de la chaleur tirée des ordures ménagères dans des installations centrales de chauffage et de climatisation soumises à de fortes fluctuations de charge saisonnières, ou de b) reproduction des caractéristiques de qualité et d'approvisionnement des combustibles liquides ou gazeux utilisés actuellement dans les équipements industriels de combustion.

3° Il semble que la décentralisation du traitement des ordures ménagères pourrait apporter des avantages substantiels (à partir d'un seuil de 500 tonnes par jour, cependant) et qu'elle serait préférable à la construction de grandes usines régionales pour la production d'électricité à partir des ordures ménagères.

4° Mais il apparaît que les usines décentralisées sont soumises à des limitations importantes, à cause du coût unitaire des installations de combustion, soit générateurs de vapeur, soit installations de gazéification par pyrolyse: il dépasse 30 000 \$ par tonne de capacité de traitement journalier.

*Tiré de la brochure de propagande élaborée par Case Associates Limited de Toronto pour le ministère ontarien de l'Environnement.

5° La technologie de production de vapeur par combustion des ordures est bien développée (usines de Montréal, de Québec et de Hamilton). L'effort de R, D & D en ce domaine devrait surtout viser à la réduction des frais d'immobilisation, par une optimisation des éléments constitutifs (p. ex., une bonne répartition géographique des installations de transformation et de stockage).

6° La technologie de production directe de combustibles pour le chauffage industriel à partir des déchets exige un équipement plus complexe. Les installations de stockage, de manutention et de combustion ne sont pas très différentes de celles qui sont utilisées pour le charbon. Les caractéristiques des ordures ménagères varient de ville en ville, et même de jour en jour, ce qui cause des difficultés plus gênantes que dans le cas des déchets forestiers ou de certaines qualités de charbon. Le triage à la source, les traitements préliminaires et les procédés de valorisation permettent d'améliorer les caractéristiques physiques et énergétiques des ordures ménagères. L'amélioration de la technologie de gazéification par pyrolyse et des méthodes de manutention des ordures procurerait des avantages sérieux, tant dans les installations nouvelles que pour la production des combustibles et l'adaptation des chaudières à vapeur alimentées au pétrole ou au gaz.

Lignes de force technologiques et solutions pratiques.

Voici les lignes de force que devrait suivre l'effort de R, D & D en ce domaine:

- 1° Étroite surveillance des efforts actuels de R & D accomplis aux États-Unis et en Europe.
- 2° Amélioration des services de tri, de ramassage, de transport et de stockage grâce à la technologie des systèmes.
- 3° Recherche sur les possibilités de réduire l'utilisation des articles en plastique; le chlore qu'ils contiennent a un effet très corrosif sur les surfaces exposées à des gaz de combustion très chauds.
- 4° Lutte contre le dépôt de solides sur les surfaces où s'effectue l'échange de chaleur: il s'agit là d'une question importante.
- 5° Recherche sur les méthodes de séparation des particules solides et des flux de gaz.

À plus grande échelle, il est nécessaire d'effectuer des recherches opérationnelles et des études de faisabilité pour évaluer les besoins et les débouchés particuliers (telle l'évaluation de la quantité d'ordures que les municipalités régionales peuvent fournir). À court terme, l'incinération* et la récupération de la chaleur semblent constituer la méthode d'élimination la plus judicieuse. Par un effort soutenu de R, D & D, il est possible de rendre cette utilisation économique, en dépit de variations notables. Le gouvernement fédéral devrait encourager les provinces et les municipalités grandes et petites à construire des installations de démonstrations pouvant utiliser ces méthodes avec fruit, et y sensibiliser le public. Cet encouragement serait étayé par la fourniture de savoir-faire technique et d'un financement partiel. Plutôt que de concentrer les efforts dès l'abord sur des démonstrations de grande envergure, on pourrait essayer divers procédés et techniques à l'échelle appropriée, c'est-à-dire à celle des essais-pilotes.

Ampleur de l'effort

1. Repères

a) Bibliographie utile:

- Environmental Protection Agency, *Using Solid Waste to Conserve Resources and to Create Energy*, Rapport présenté au Congrès par le

*Parmi les méthodes rivales, citons: l'incinération sur grille, en suspension, sur lits fluidisés et les gazogènes à pyrolyse en air confiné, à pyrolyse sous oxygène et à pyrolyse par arc électrique.

Vérificateur général des États-Unis, 27 février 1975, Washington, D.C., 69 p.

- *Pyrolysis (Urban Wastes) in Canada's Renewable Energy Resources, An Assessment of Potential*, Middleton Associates, Toronto, avril 1976, pp. 113-117; également *Municipal Wastes*, pp. 165-166.
- «Fires burn brighter for solid wastes», *Chemical Week*, 26 janvier 1977, p. 44.
- «Garbage Power», *Forbes*, 1^{er} mai 1977, pp. 29-30.

b) Évaluation, conception et construction des installations
(Renvoi NSF-RANN, Program Announcement May 1977)

Effort de recherche:	100 000 \$
Gestion et coordination:	34 000
Suivi:	21 000
	155 000 \$

- c) Middleton Associates, *op. cit.* *Lifetime Cost of Plant and Operations — Fuel Gas by Pyrolysis of Solid Waste*; disons 43 000 000 \$; Coût annuel 2 200 000 \$.

Une usine pour fabriquer du méthanol à partir des ordures ménagères de Seattle coûtera 50 000 000 \$, ou 3 300 000 \$ par an.

2. Calculs préliminaires

a) Évaluation des ressources

Les recherches devront porter sur:

- les sources, les quantités, les genres, la composition et les caractéristiques des déchets, et
- leur contribution effective à l'approvisionnement énergétique futur.

La coordination par trois spécialistes et leur personnel au cours d'une période de trois ans coûtera

$$3 \times 3 \times 3 \times 37\,000 = 999\,000 \$$$

b) Rentabilité économique

Il faudra effectuer des recherches et recueillir des statistiques économiques pour cerner les paramètres des solutions économiques dans des situations particulières.

Coût de la synthèse effectuée par trois spécialistes au cours d'une période de deux années:

$$3 \times 2 \times 37\,000 = 222\,000 \$$$

c) Recherches opérationnelles

Il faudra effectuer un effort rigoureux d'analyse décisionnelle pour optimiser les activités dans certains cas économiques particuliers.

2 années d'un programme coûtant annuellement 65 000 \$:

$$2 \times 65\,000 = 130\,000 \$$$

d) Programme de R & D

Ce programme permettra d'évaluer l'état d'adaptation des technologies utilisables au climat socio-politique et aux conditions géographiques du Canada. On évaluera les répercussions des techniques envisagées sur

l'environnement, la concertation des activités et les retombées économiques:

- Recherches sur les matériaux.
- Recherches sur la combustion.
- Réduction des effluents gazeux.
- Gestion des déchets.

Coût total au cours d'une période de trois ans: 450 000 \$

e) *Démonstrations*

Développement technique et mise en œuvre, au cours d'une période de cinq ans, d'un programme comprenant trois démonstrations coûtant 75 000 000 de \$ chacune. Dans l'hypothèse où les subventions de l'État atteindraient 25 pour cent, leur montant serait de: 56 250 000 \$

f) *Diffusion des techniques fructueuses*

Budget publicitaire pour la diffusion des technologies appropriées, y compris des recommandations de soutien d'un développement technologique continu, de la part de l'État et des collectivités:

430 000 \$*

Total général

58 481 000 \$

Cadre chronologique

Voici l'échéancier illustratif du financement nécessaire pour le programme de démonstration proposé de production d'énergie à partir des déchets ménagers:

1979	350 000 \$	- Début de l'évaluation de la ressource
1980	350 000	
1981	450 000	- Début des études économiques
1982	175 000	- Début des recherches opérationnelles
1983	185 000	- Mise en route des travaux de R & D
1984	185 000	particuliers
1985	10 100 000	- Mise en route des installations de démonstration
1986	12 500 000	
1987	13 756 000	
1988	12 500 000	
1989	7 500 000	
1990	245 000	- Commencement de la diffusion des résultats obtenus
1991	185 000	- Le programme de démonstration est achevé
Total	58 481 000 \$	

Notes et bibliographie

La stratégie de production économique d'énergie

Lignes de force générales

Harvey Alter, «Energy Conservation and Fuel Production by Processing Solid Wastes», *Environmental Conservation*, printemps 1977, pp. 11-20.

Le Canada, société de conservation — Les aléas des ressources Conseil des sciences du Canada, Rapport n° 27, septembre 1977, 116 p.

W. Davis Conn, «Waste reduction ... Issues and Policies», *Resource Policy*, mars 1977, pp. 23-38.

*Le lancement du programme «Watts from waste» à Toronto a coûté approximativement 390 000 \$, valeur de 1978.

«Energy — Moving to Garbage Power: The use of trash as fuel is spreading fast», *Time*, 9 janvier 1978, p. 32.

J. Papamarcos, «Power from Solid Waste», *Power Engineering*, septembre 1974, pp. 44-55.

R.E. Raffray, *Energy from Solid Waste in Human Settlements*, Séminaire de la Commission économique pour l'Europe auprès des Nations Unies, au sujet de l'incidence des considérations énergétiques sur la planification et l'aménagement des agglomérations, Ottawa, 3-14 octobre 1977, 17 p.

Steven Ratiner, «Pollution Control Has Become a Large American Business: Energy from Garbage», *New York Times*, 17 avril 1977.

«Sniffing out methane from rubbish dumps», *New Scientist*, 5 janvier 1978, p. 28.

«Towards the Effective Management of Waste», *OCDE Observer*, octobre-novembre 1974, pp. 35-37.

«Waste burned in district heating plants helps control pollution», *Eco/Log Week*, 24 mars 1978, p. 3.

Aspects économiques

A.J.G. Alter et J.F. Bernheisel, «The Economics of Resource Recovery from Municipal Solid Waste», *Science*, 183, 1974, pp. 1052-1058.

S.L. Blum, «Tapping Resources in Municipal Solid Waste», *Science*, 20 février 1976, pp. 669-675.

R.M. Brenner et coll., «Parameters determining desirability of refuse fired steam generators for central heating and cooling in Canada», *Engineering Digest*, avril 1976, pp. 21-24.

S. Erlandsson, «Pure power from solid waste — an economic solution», *Engineering Digest*, août 1973, pp. 34-36.

Peter Kemper et coll., *The economics of refuse collection*, Lippincott-Ballinger, Cambridge, Mass., 1976, 181 p.

H.J. McQueen, «Energy Recovery from Wastes in Canada», *Conversion of Refuse to Energy*, Montreux, Suisse, 3-5 novembre 1975, 7 p.

Andrew Porteous, «An assessment of energy recovery methods applicable to domestic refuse disposal», *Resources Policy*, septembre 1975, pp. 284-294.

H.W. Schultz, «Cost/benefit of solid waste reuse», *Environmental Science and Technology*, mai 1975, pp. 423-427.

Aspects technologiques

G.A. Aldworth et R.V. Honsberger, «Recovering Energy from Solid Wastes», Conférence nationale sur la transformation de l'énergie industrielle, 5-7 mai 1976, Toronto, pages diverses.

T.G. Barton, «Solid waste quantity and frequency analysis», *Engineering Digest*, novembre-décembre 1978, pp. 41, 44-45.

Société centrale d'hypothèques et de logements, *CANWEL, A Canadian Waste Management System*, pages diverses.

«Energy from Garbage . . . Solid Fuel from Wastes», *Access to Energy*, 1^{er} février 1978, pp. 1-31.

«Energy from Solid Waste», Colloque organisé par l'Institut canadien de l'énergie, Rexdale, Ont., 4 mai 1977.

«Environment Canada to compile directory of solid waste research projects», *Canadian Research*, septembre-octobre 1975, p. 5.

Edward J. Farkas, «Research Directions in Solid Waste Management», *Industrial and Engineering Chemistry Fundamentals*, 16, 1, 1977, pp. 40-43.

W.C. Kasper, «Power from Trash», *Environment*, mars 1974, pp. 34-38.

J.L. Kuester et L. Lutes, «Fuel and feedstock from refuse», *Environmental Science and Technology*, avril 1976, pp. 339-344.

J.C. Liebman, «Mathematical Models of Solid Waste Collection and Disposal», XXXVIII^e Réunion annuelle de l'ORSA, Détroit, 29 octobre 1970, 10 p.

R.A. Livingston, «Energy from Solid Waste, in Waste Conversion», *Transactions of the American Nuclear Society*, 1976, pp. 28-30.

J.E. Marshall, «Waste utilization project energy», *Engineering Digest*, mai 1976, pp. 31-32.

D.E. Sexton, «Pneumatic transport of refuse», *Engineering Digest*, janvier 1978, pp. 22-24.

N.J. Weinstein et R.F. Toro, *Thermal Processing of Municipal Solid Waste for Resource and Energy Recovery*, Ann Arbor Science Publishers Inc., Ann Arbor, Michigan, 197 p.

Les technologies de transformation de l'énergie

1. Démonstration de la production conjuguée d'électricité et de chaleur

Les usines et les centrales peuvent produire de l'électricité et de la vapeur en même temps, en accroissant la température et la pression de la vapeur «dissipée» au cours du cycle thermodynamique jusqu'à un niveau approprié, afin qu'on puisse l'utiliser pour la fabrication industrielle ou pour le chauffage commercial et domiciliaire.

Certains technologues croient que, comme des centaines d'unités de production conjuguée d'électricité et de vapeur ont été vendues et installées sans bruit au cours des vingt dernières années, cette technologie est stagnante. Ils ne peuvent comprendre qu'on puisse s'enthousiasmer au sujet de la démonstration correspondante et estiment que, comme l'un d'eux l'a déclaré: «Si quelqu'un a besoin d'une installation de production d'électricité et de vapeur, il n'a qu'à la commander chez le fabricant». Selon nous, il s'agit là d'une excessive simplification par des spécialistes atteints de myopie. C'est pourquoi nous recommandons les actions suivantes pour en éclaircir les aspects d'économie, d'entreprise, de gestion et d'organisation collective: C'est par la mise en œuvre d'un programme concerté sur le plan national que les Canadiens tireraient les avantages maximaux éventuels de la production conjuguée d'électricité et de vapeur. Les deux volets importants de ce programme seraient les suivants: 1^o Utilisation industrielle de la vapeur produite en conjugaison avec l'électricité. 2^o Utilisation domiciliaire et commerciale de la vapeur récupérée au cours du cycle thermodynamique.

1. Utilisation industrielle de la vapeur issue du cycle thermodynamique

Le premier volet du programme proposé porte sur les applications industrielles. La méthode de production conjuguée d'électricité et de vapeur se fonde sur une combinaison judicieuse des techniques existantes, plutôt que sur un effort de R & D; elle doit concilier des intérêts opposés grâce à la conjonction d'une technologie complexe et d'une économie industrielle perfectionnée. Il faut non seulement que l'apport de chaleur et d'électricité, et que les sources de cette énergie conviennent aux nécessités immédiates, mais aussi que l'unité de production conjuguée d'électricité et de vapeur soit équipée de façon à s'adapter à l'évolution des circonstances.

Il faut prendre en considération l'évolution rapide de la panoplie énergétique, et la comparer aux besoins industriels prévus (c'est-à-dire déterminer la proportion entre chaleur et électricité, et la répartition géographique à long terme des centres de charge du réseau). Les décisions concernant la production conjuguée de chaleur et d'électricité doivent suivre une voie étroite entre l'intérêt public et les intérêts des diverses industries et compagnies d'électricité.

Les problèmes sont complexes, de grande envergure et mal circonscrits. Nous ne les sous-estimons pas, mais les industries intéressées doivent trouver des marchés stables et durables pour leurs différents produits. Le concepteur doit envisager toute la gamme des procédés utilisés par les industries, à articuler ensemble. Les premiers investissements sont énormes, car il faut implanter des ensembles industriels. Des retards accumulés de la réglementation pourraient être désastreux. Il faut que la coordination et la gestion technique de la construction et des travaux écartent toute dépense inutile (tels les intérêts résultant des retards de la construction d'une usine). Il faut étudier et planifier très en détail ce financement, l'acquisition des droits de propriété, la mise en place des structures administratives et les problèmes d'exploitation des usines et des équipements de production conjuguée de chaleur et d'électricité, et leurs relations avec les quartiers d'habitation et usines existant ou en projet. Les avantages de la production conjuguée de chaleur et d'électricité devront être comparés à ceux de toute autre forme d'approvisionne-

ment (p. ex., l'achat d'électricité auprès de compagnies énergétiques, ou sa production interne). En effet, les délais de réalisation pourront être différents.

Pour évaluer de façon réaliste tous les aspects de la production industrielle conjuguée de chaleur et d'électricité, il faudra aménager dès que possible des complexes énergétiques spécialement conçus*. Mais il ne faut pas négliger non plus l'autre extrémité de la gamme, soit la production à petite échelle d'électricité et de vapeur dans des unités individuelles, grâce à des procédés particuliers (p. ex., dans les usines à pâtes et papiers).

2. Utilisation domiciliaire et commerciale

C'est le chauffage des quartiers domiciliaires qui constitue l'utilisation classique de la production conjuguée d'électricité et de vapeur.

Le chauffage collectif a été mis en œuvre avec succès dans différents pays européens aux structures sociales diverses, mais cette technologie ne pourrait être appliquée au Canada que dans la mesure où les villes canadiennes offrent les mêmes caractéristiques climatiques et structurelles. Bien entendu, de nombreuses lignes de conduite administratives nouvelles pourraient infléchir cette utilisation, y compris celles qui visent le développement futur des installations à charbon et des centrales électronucléaires au Canada. Il faudra résoudre les problèmes d'une politique du chauffage collectif, et surmonter les obstacles organiques avant qu'on puisse mettre en œuvre une technologie du chauffage collectif au Canada. Le chauffage collectif n'est guère utilisé dans les villes canadiennes, en raison des obstacles posés par l'organisation sociale, même dans les centres-villes constitués en grande partie d'immeubles locatifs. Il est donc improbable que nous assistions à un développement très rapide du chauffage collectif au Canada. Mais les enjeux sont élevés. La limitation des ressources en hydrocarbures du Canada, et sa dépendance croissante à l'égard d'importations coûteuses et aléatoires l'obligeront à réduire sa consommation de pétrole et de gaz. La mise en œuvre du chauffage collectif constituerait un pas dans la bonne direction, même s'il ne produisait d'avantages notables qu'après un certain temps.

Lignes de force de la production conjuguée d'électricité et de vapeur

a) On recommande d'utiliser le concept d'énergie disponible (exergie) pour mettre en évidence les pertes thermodynamiques et optimiser les processus énergétiques complexes sur un plan rationnel¹. L'ouvrage mentionné au renvoi 2 fait une analyse illustrative des processus énergétiques, et des évaluations de la valeur du concept de disponibilité pour la résolution des problèmes d'utilisation de l'énergie. L'ouvrage mentionné au renvoi 3 étudie la démonstration de l'utilisation de la chaleur dissipée à basse température. Une analyse systématique de la dégradation de l'énergie dans un réacteur CANDU est présentée dans l'ouvrage mentionné au renvoi 4.

b) La production conjuguée d'électricité et de vapeur cause certaines difficultés aux compagnies de distribution d'électricité². Les producteurs, et plus particulièrement les distributeurs d'énergie électrique, se montrent traditionnellement prudents au sujet de cette méthode, en raison des gros investissements nécessaires et des fluctuations de la consommation (presque aucun chauffage n'est nécessaire en été)³. Cependant, les difficultés de la mise en œuvre du réacteur CANDU à utilisation

*CEC — *Preliminary Study of the Planning, Technology and Design for a Combined Energy Centre for the Province of Ontario*. Étude SD261, Faculté du génie, Université de Waterloo, hiver 1978; voir également J.J. Roger et M.C. Swinton, *Application of CANDU Reactors in Combined Purpose Power-Plants*, *op. cit.*

bivalente (c'est-à-dire la production d'électricité et le chauffage collectif) pourraient ne pas être insurmontables, en raison de la souplesse d'utilisation des turbines à condensation et soutirage de vapeur, qui permettront d'accroître la contribution secondaire de la filière électronucléaire à l'optimum économique⁷.

c) Aux États-Unis, apparemment, bien que l'industrie s'électrifie de plus en plus, surtout en vue de remplacer le gaz naturel, elle a tendance à abandonner la production interne d'électricité⁸. On estime généralement que l'ensemble de cette production a diminué de 15 à 5 pour cent de la production totale d'électricité au cours de la période envisagée.

d) En Allemagne occidentale, l'industrie produit elle-même 29 pour cent de la consommation totale d'électricité. Cette situation multiplie les possibilités de production conjuguée d'électricité et de vapeur dans les usines.

e) Les spécialistes soviétiques ont acquis une expérience considérable en production conjuguée d'électricité et de vapeur⁹. En U.R.S.S., 20 pour cent de l'électricité produite et 30 pour cent de la chaleur utilisée en proviennent¹⁰.

f) En Roumanie, le tiers de la chaleur industrielle et domiciliaire, et le tiers de l'électricité sont produites en conjugaison. Dans ce but, on utilise de plus en plus les lignites, ressource marginale qui a permis récemment d'ouvrir l'éventail des options énergétiques du pays¹¹.

g) La mise en œuvre progressive de la production conjuguée de chaleur et d'électricité serait facilitée par l'utilisation de plus en plus répandue des installations de calostockage¹².

h) Les économies énergétiques découlant de la production conjuguée d'électricité et de vapeur au cours de vingt ans d'actions bien planifiées pourraient atteindre de 25 à 27 pour cent des besoins en chauffage d'un pays, et 10 pour cent de ses besoins totaux en électricité¹³.

i) En général, l'industrie devrait s'efforcer de produire parallèlement de l'électricité et de la vapeur qui se substitueront aux hydrocarbures, et moderniser son équipement.

j) Cette production conjuguée à beaucoup plus petite échelle pourrait être également avantageuse dans les régions rurales¹⁴. Comme application possible, signalons les séchoirs à grains et à bois, et le chauffage des poulaillers et des serres.

k) Nous recommandons d'utiliser des chaudières à vapeur peu coûteuses pour faire face à 50 pour cent des charges de pointe en chauffage. Cette disposition permettrait d'utiliser la vapeur des turbines pour couvrir de 80 à 90 pour cent de la consommation annuelle de chaleur¹⁵. On pourrait également alimenter les chaudières de secours avec les rejets liquides des raffineries de pétrole. Selon d'autres technologues, l'utilisation de chaudières électriques ou de calostockeurs à eau chaude permettrait aussi de faire face aux charges de pointe en chauffage¹⁶. Une autre solution aux fluctuations de charges consisterait dans l'utilisation normale d'unités génératrices auxiliaires pour faire face aux charges de pointe de la consommation électrique¹⁷.

l) Il semble exister un fréquent besoin d'alimentation minimale en chauffage collectif et en vapeur industrielle d'ampleur assez vaste (c'est-à-dire de 50 à 150 MW). Il serait possible d'utiliser des combustibles asphaltiques marginaux pour alimenter des unités génératrices locales à production conjuguée (tels le charbon, le schiste, les sables bitumineux).

m) On considère actuellement que les centrales électronucléaires ne peuvent alimenter que de gros utilisateurs¹⁸. De plus, on estime généralement que les centrales électronucléaires devraient approvisionner les utilisateurs de vapeur dont les besoins sont assez constants, et assurer la charge minimale du chauffage collectif¹⁹. À cause de la souplesse d'utilisation des turbines à soutirage de vapeur, il leur est possible de fournir une contribution thermique variable, tout en restant économiques²⁰.

n) Seul un petit nombre d'agglomérations canadiennes disposent d'une centrale électrique alimentant également un réseau de chauffage collectif (p. ex. Inuvik).

o) L'utilisation avantageuse de l'eau chaude à température relativement basse provenant des centrales électronucléaires CANDU dépendra de la mise au point de techniques permettant de réduire le coût: 1° des réseaux de canalisations de grande taille et 2° des grandes installations de calostockage à eau²¹.

p) La production conjuguée d'électricité et de vapeur se heurte actuellement à de sérieux obstacles dans la structure sociale, et les possibilités d'amélioration rapide sont limitées²². Les perspectives sont plus encourageantes si l'on considère l'évolution à long terme. De nombreux organismes s'occupent déjà systématiquement d'étudier les obstacles suscités par l'organisation sociale²³.

Ampleur de l'effort

Il faut entreprendre une analyse des aspects techniques, économiques, sociaux et juridiques des installations modèles de chauffage collectif pour un certain nombre de villes canadiennes. Ses résultats devraient préciser les conditions y attirant les utilisateurs domiciliaires et commerciaux. La ventilation des coûts entre utilisateurs de l'électricité et utilisateurs de la chaleur en est un facteur important, sur les plans tant économique que réglementaire. On doit souligner qu'il s'agit là d'un problème complexe, dont les solutions ont souvent été arbitraires. Il serait nécessaire de mettre en œuvre deux ou trois démonstrations appropriées pour éveiller la confiance des utilisateurs éventuels. Ces démonstrations devraient porter sur plusieurs aspects capitaux:

a) La réalisation d'un équipement modulaire pour la mise en place progressive d'un réseau de chauffage urbain; la conception, l'essai et l'utilisation d'installations satellites dans les nouveaux quartiers.

b) L'utilisation initiale de petites unités transportables d'une puissance atteignant 10 MW.

c) L'utilisation au mieux, sur le plan économique de la souplesse des turbines à vapeur et des unités de production conjuguée construites dès le début ou, dans des conditions particulières, la construction de centrales de production conjuguée de chaleur et d'électricité dans des endroits bien placés, quand le réseau de distribution sera assez étendu.

d) L'expansion rationnelle d'un réseau de production conjuguée (c'est-à-dire le raccordement des nouveaux clients et le développement du potentiel de production).

Les démonstrations seraient fort utiles en mettant en relief les obstacles organiques et en permettant d'évaluer les différentes possibilités d'approvisionnement en énergie primaire: par incinération des ordures, utilisation de procédés industriels exothermiques, centrales électronucléaires et charbon, ou à partir de ressources peu abondantes telles que pétrole et gaz naturel. Comme les immobilisations nécessitées par l'implantation de réseaux de caloducs (*heat distribution systems*) sont plutôt élevées il faut concevoir les démonstrations en vue de la réduction des coûts.

Deux domaines de R, D & D en matière de chauffage urbain nécessiteraient une attention spéciale:

- 1° La recherche sur la transformation des chaudières à vapeur actuelles en chaudières à eau.
- 2° La fusion et la rationalisation des réseaux disparates actuels (il existe actuellement sept réseaux de chauffage collectif dans le centre de Toronto).

1. Repères

a) Bibliographie utile

- Ian H. Rowe, R.E. Waters, D.W. Anderson et R.L. Gudgeon, «Nuclear-Based District Heating for a New Town Development», Congrès international sur la production conjuguée d'électricité et de vapeur, Copenhague, 4-8 octobre 1976, Compte rendu, pp. 355-380.
- Geza S. Farkas, «District Heating and Cooling in Canada», Conférence internationale sur la production conjuguée d'électricité et de vapeur, Copenhague, 4-8 octobre 1976, 30 p.; «Halifax eyes district heating system», *Modern Power Engineering*, août 1976, p. 6.
- James L. Haydock, «Combined Power and Heat Systems for Industry», Conférence internationale sur la production conjuguée d'électricité et de vapeur, Copenhague, 4-8 octobre 1976, 39 p.
- R.F.S. Robertson, «Nuclear waste heat may save fossil fuels», *Modern Power Engineering*, juillet 1976, pp. 3-5; également: R.F.S. Robertson, dir. de publ., *The Application of Nuclear Energy to the Canadian Chemical Process Industry*, Énergie atomique du Canada ltée, Rapport AECL-5232, mars 1976, 19 p.

2. Calculs préliminaires

a) Relevé et évaluation

Nous proposons de partir de la base pour classer les débouchés par genre, taille et emplacement géographique, pour les articuler et en évaluer les possibilités globales, pour mener à bien des analyses coût-avantages et imposer les priorités, pour mettre en évidence les bénéficiaires, et pour proposer des organismes de choc et recommander des niveaux de subventions par l'État:

Disons 10 spécialistes et employés œuvrant pendant trois ans:

$$3 \times 3^* \times 10 \times 45\,000 = 4\,050\,000 \$$$

b) Stratégie de mise en œuvre

Il faut effectuer des études sur les moyens de mettre en œuvre la production conjuguée d'électricité et de vapeur, par exemple:

- 1° l'analyse des besoins énergétiques et des charges de pointe dans les cadres industriel et domiciliaire;
- 2° l'analyse des barrières organiques et la recherche sur l'efficacité des solutions proposées:

Personnel:	1 250 000 \$
Ordinateurs:	190 000
Consultants:	760 000
Total:	2 200 000

*Il s'agit d'un multiplicateur permettant de tenir compte du personnel auxiliaire des consultants, et de leurs dépenses administratives.

c) *Applications industrielles de la production conjuguée d'électricité et de vapeur*

1° Disons 2 unités de production conjuguée, avec leur équipement:
 $2 \times 150\,000\,000 = 300\,000\,000 \$$

Si la part à ventiler au compte «démonstration» atteint 20 pour cent, son montant atteindra:

$$0,2 \times 300\,000\,000 = 60\,000\,000 \$$$

2° Disons 1 parc industriel comme première phase d'implantation englobant 2 ou 3 unités intégrées:

Coût total: 750 000 000 \$

Part à ventiler au compte «démonstration»

$$0,25 \times 750\,000\,000 = 187\,500\,000 \$$$

Total pour les démonstrations industrielles: 247 500 000 \$

d) *Application de la production conjuguée d'électricité et de vapeur pour le chauffage collectif*

Disons, 2 réseaux du chauffage urbain dont la part à ventiler au compte «démonstration» atteindrait 33 pour cent:

$$0,33 \times 66\,300\,000 = 21\,879\,000 \$$$

e) *Information des utilisateurs éventuels, et soutien de la production conjuguée*

Il faudrait diffuser les nouvelles concernant les applications réussies et fournir une aide technique, et des incitations, par la fixation des prix et l'établissement des coûts:

625 000 \$

Total général*

270 000 000 \$

3. Observations au sujet du financement nécessaire

En vue de comparer l'ampleur du financement aux avantages envisagés, nous avons admis les hypothèses a), b), c) suivantes pour l'année 1985:

a) *Contribution de la filière électrique:*

L'électricité fournira 18,5 pour cent de la consommation secondaire d'énergie au Canada**.

b) *Besoins d'énergie secondaire*

Les besoins en énergie secondaire du Canada atteindront 9,3 exajoules***.

c) *Prix unitaire du pétrole brute et de l'électricité*

L'électricité coûtera environ 2,3 fois plus cher que le pétrole brut. Le prix de celui-ci au Canada atteindra le prix international, soit 175 \$ la tonne (25 \$ le baril).

d) *Électricité secondaire en équivalents-pétrole*

Les taux de conversion pour 1985 indiquent:

$$0,185 \times 9,23 = 1,72 \text{ EJ d'électricité}$$

$$\text{soit } 24\,596\,000 \text{ tonnes} \times 1,72 = 40\,043\,000 \text{ tonnes d'équivalents-pétrole}$$

(280 016 000 barils)

*Montant arrondi

**E.R. Stoian, *Energy, R. D & D: In Search of Strategy*, Étude de documentation rédigée pour le Conseil des sciences du Canada, à paraître.

***Quantité approximative: 1EJ = 0,948 quad

e) *Coût de l'électricité secondaire*

En 1985, le coût de l'électricité secondaire nécessaire, s'il est fonction du prix unitaire du pétrole brut (en tenant compte des pertes de raffinerie pour être uniforme) atteindra

$$2,3 \times 25 \times 280\,016\,000 = 16\,100\,920\,000 \$; \text{ disons } 16 \text{ milliards de } \$.$$

- f) En supposant, en première approximation, que la contribution de la filière hydroélectrique atteindra 50 pour cent; que deux tiers de l'énergie primaire sont perdus sous forme de chaleur dans les centrales thermiques (c'est-à-dire qu'on perd deux fois plus d'énergie qu'on n'en utilise); que la production conjuguée d'électricité et de vapeur permettra de récupérer 10 pour cent de ces deux tiers d'énergie perdue; et qu'en 1985 l'économie annuelle représentera la moyenne obtenue au cours de la période 1979-1989, la production conjuguée d'électricité et de vapeur apportera des avantages équivalents à:

$$0,50 \times 0,10 \times 2 \times 16\,000\,000\,000 \times 10 = 16\,000\,000\,000 \text{ de } \$$$

- g) En consacrant à la R, D & D 2 pour cent des bénéfices de la production conjuguée d'électricité et de vapeur même au cours d'une période limitée, nous obtenons un montant qui dépasse de beaucoup l'ampleur du financement proposé:

$$0,02 \times 16\,000\,000\,000 = 320\,000\,000 \$*$$

Cadre chronologique

La répartition illustrative des fonds nécessités par une démonstration relativement accélérée de la production conjuguée d'électricité et de chaleur pourrait prendre la forme suivante:

<u>Années</u>	<u>Dépenses courantes</u>	<u>Dépenses cumulatives</u>
1979	900 000 \$	900 000 \$
1980	1 700 000	2 600 000
1981	1 950 000	4 550 000
1982	1 250 000	5 800 000
1983	300 000	6 100 000
1984	87 500 000	93 600 000
1985	130 000 000	223 600 000
1986	45 800 000	269 400 000
1987	300 000	269 700 000
1988	180 000	269 800 000
1989	120 000	270 000 000
Total	270 000 000 \$	

Notes et bibliographie

Aspects généraux

1. J.T. Rogers, *Industrial Use of Low-Grade Heat in Canada*, Groupe de recherche sur l'énergie, Université Carleton, septembre 1975, 75 p.

2. J.T. Rogers, «The Thermodynamic Basis for Effective Energy Utilization», Troisième Conférence sur l'énergie de Nouvelle-Zélande, Université de Wellington, Victoria, 12-14 mai 1975; Rapport ERG 77, Groupe de recherche sur l'énergie, Université Carleton, juillet 1977, 26 p.

*Montant arrondi

3. R.F.S. Robertson, Projets-pilotes, «Low-Grade Heat: A Resource in Cold Climates», B. Gay, M.J.B. Lacroix et I.L. Ophel, dir. de publ., AFCL-2322/1, vol. 2, pp. 470-486, Compte rendu d'une Conférence internationale, Chalk River, 6-10 octobre 1975.

4. T. Currie, *Analysis of a Pickering Reactor Unit on an Availability Basis*, Groupe de recherche sur l'énergie, Université Carleton, avril 1977, 47 p.

5. S. Andrzejewski et coll., «The Problem of Incorporating Nuclear Heat and Power Plants into the Electrical Power System», X^e Conférence mondiale de l'énergie, Istanbul, 19-23 septembre 1977, 18 p.

6. *Electricity's Contribution Towards a Solution of the Energy Problem*, Mémoire de l'Union internationale des producteurs et des distributeurs d'énergie électrique, X^e Conférence mondiale de l'énergie, Istanbul, 19-23 septembre 1977, 15 p.

7. J.T. Rogers, A.E. Abdelkerim et M.C. Swinton, *CANDU Reactor Operation for Electricity Production and District Heating*, Groupe de recherche sur l'énergie, Université Carleton, Ottawa, octobre 1977, 14 p.

8. Bruce C. Netschert, «The Conservation of Energy in United States Industry», X^e Conférence mondiale de l'énergie, Istanbul, 19-23 septembre 1977, 22 p.

9. Ye., Ya Socolov et coll., «The Progress in Combined Heat and Power Generation by Large Thermal Power Stations», X^e Conférence mondiale de l'énergie, Istanbul, 19-23 septembre 1977, 12 p.; A.N. Grigoryants et coll., «Experience in Construction, Start-Up and Operation of the Bilbino Nuclear Heat-and-Power Plant», X^e Conférence mondiale de l'énergie, Istanbul, 19-23 septembre 1977, 25 p.

10. M. A. Styrikovich et A.E. Sheindlin, «Conversion of Primary Energy», Exposé des faits pour la 3^e Division, Conférence mondiale de l'énergie, Istanbul, 19-23 septembre 1977, 21 p.

11. N. Manescu, N. Armencoiu, C. Dinculescu, N. Vasilescu et D. Rentea, «Achievements and Prospects of Combined Heat and Power Production in Romania», X^e Conférence mondiale de l'énergie, Istanbul, 19-23 septembre 1977, 21 p.

12. K.P. Eichner et coll., «Application of Heat Power Coupling for the Supply of Cities and Large Urban Built-Up Areas with District Heat under Consideration of Maneuverability Requirements for the Generation of Electric Energy», X^e Conférence mondiale de l'énergie, Istanbul, 19-23 septembre 1977, 18 p.

13. N. Vasilescu et D. Rentea, *op. cit.*

14. Walter Barney, *Co-generation of heat and electricity: Why Europe is far ahead of the U.S.*, Rapports de recherche sur l'énergie, 7 février 1977, pp. 1-2; B.C. Netschert, *op. cit.*

15. M.A. Styrikovich et A.E. Sheindlin, *op. cit.*

16. N. Vasilescu et D. Rentea, *op. cit.*

17. S. Andrzejewski, *op. cit.*

18. Heinz Schulte, «The Combined Generation of Heat and Electricity», X^e Conférence mondiale de l'énergie, Istanbul, 19-23 septembre 1977, 21 p.

19. Kaarlo Kirvela et coll., «A Nuclear Power Plant Combined with the Supply of District Heat and Process Steam», X^e Conférence mondiale de l'énergie, Istanbul, 19-23 septembre 1977, 21 p.

20. J.T. Rogers, A.E. Abdelkerimand et M.C. Swinton, *op. cit.*

21. *District versus Decentralized Heating Systems: The Nuclear District Heating Option — An Ontario Perspective*, Ministère ontarien de l'énergie, Commission économique pour l'Europe auprès des Nations Unies, Comité du logement, de la construction et de la planification, Séminaire des répercussions des facteurs énergétiques sur la planification et le développement des agglomérations humaines, Ottawa, 3-14 octobre 1977, 56 p.

22. *Electricity's Contribution Toward a Solution of the Energy Problem*, *op. cit.*

23. Secrétariat de la Commission économique pour l'Europe auprès des N.U., «Recovery of Residual Heat from Conventional and Nuclear Thermal Power Stations and its Use in Industry and for Space Heating», X^e Conférence mondiale de l'énergie, Istanbul, 19-23 septembre 1977, 18 p.

Voir également

Per Almquist et coll., «Nuclear Power Plants for Combined Production of Electricity», X^e Conférence mondiale de l'énergie, Istanbul, 19-23 septembre 1977, 20 p.

Peter Byrne, «Combined cycle package boosts Saarbrücken's district heating supply», *Energy International*, mars 1976, pp. 18-20.

«District Heating — Avenue to Energy Conservation: Swedish Experience and Technology», The District Heating Symposia in *Canada Week*, 1976, plusieurs centaines de pages.

E.L. Morofsky, *District versus Decentralized Heating Systems; District Energy Options and Urban Impacts*, Travaux publics Canada, Commission économique pour l'Europe

auprès des Nations Unies, Comité du logement, de la construction et de la planification, Séminaire des répercussions des facteurs énergétiques sur la planification et le développement des agglomérations humaines, Ottawa, 3-14 octobre 1977, 14 p.

New Programs to Harness Energy from Forests, Farms, Programmes mis en œuvre par Énergie, Mines et Ressources Canada, avec l'aide d'un Comité consultatif interministériel, Ottawa, 1978, 5 p.

J.T. Rogers et M.C. Swinton, *Application of CANDU Reactors in Combined-Purpose Power Plants*, Groupe de recherche sur l'énergie, Université Carleton, Ottawa, septembre 1977, 47 p.

J.T. Rogers et M.C. Swinton, *Optimization of CANDU Reactors for Industrial Energy Supply*, Groupe de recherche sur l'énergie, Université Carleton, Ottawa, mars 1977, 66 p.

Comité de la politique scientifique de l'énergie auprès du Conseil des sciences du Canada

Président du Comité:

M. A.A. Bruneau*
Vice-président aux écoles
spécialisées et services
communautaires,
Université Mémorial,
Saint-Jean de Terre-Neuve

en congé à la
présidence de
Bruneau Resources Management
Limited,
Saint-Jean de Terre-Neuve

Membres:

M. E. Alan Ballantyne
Vice-président,
Q & M Pipelines Limited,
Calgary, Alberta

M. Jean-Charles de Groot
Directeur à la
recherche économique,
Hydro-Québec,
Montréal, Québec

M. Yvon de Guise†
Conseiller principal pour
l'énergie,
Groupe d'experts-conseils
Lavalin,
Montréal, Québec

M. N.R. Gore
Directeur,
Direction des études stratégiques,
Office de développement des
transports,
Montréal, Québec

M. Frank Hooper
Département de génie mécanique,
Université de Toronto,
Toronto, Ontario

M. Arthur C. Johnson
Coordonnateur administratif à la
technologie énergétique,
Ministère ontarien de l'Énergie,
Toronto, Ontario

M. Peter Middleton,
Peter Middleton and Associates,
Toronto, Ontario

M. A.J. Mooradian‡
Vice-président à la recherche
et au développement,
Énergie atomique du Canada
limitée,
Ottawa, Ontario

M. J.E. Morris
Premier vice-président,
Luscar Ltd.,
Edmonton, Alberta

M. Garnet T. Page
Président,
The Coal Association of
Canada,
Calgary, Alberta

*Ancien membre du Conseil des sciences du Canada

†Membre du Conseil des sciences du Canada

‡Membre associé du Conseil des sciences du Canada, 1972-1973

M. A.E. Pallister*
Président,
Pallister Resource Management
Limited,
Calgary, Alberta

M. J.T. Rogers
Professeur de génie mécanique
et aéronautique,
Groupe de recherche sur l'énergie,
Université Carleton,
Ottawa, Ontario

M. Ian Rowe
Coordonnateur administratif,
Groupe de l'économie d'énergie et
des énergies renouvelables,
Ministère ontarien de l'énergie
Toronto, Ontario

M. Lloyd Secord*
Président,
DSMA ATCON Ltd.,
Ingénieurs et consultants en
technologie de pointe,
Toronto, Ontario

M. H.A. Smith
Vice-président aux entreprises
spéciales,
Ontario Hydro,
Toronto, Ontario

M. R.B. Toombs
Conseiller principal en énergie,
Secteur de la politique
énergétique,
Ministère de l'Énergie, des
Mines et des Ressources,
Ottawa, Ontario

M. G.S. Trick
Directeur administratif,
Conseil des recherches du
Manitoba,
Winnipeg, Manitoba

M. J. Walsh,
Conseiller principal en
technologie de l'énergie,
Ministère de l'Énergie, des Mines
et des Ressources,
Ottawa, Ontario

Chargé du programme:

M. E.R.Q. Stoian
Conseiller scientifique,
Conseil des sciences du Canada

*Ancien membre du Conseil des sciences du Canada

Membres du Conseil des sciences du Canada

Président

le D^r Claude Fortier
Directeur,
Département de physiologie,
Faculté de médecine,
Université Laval,
Québec, Québec

Vice-président

M. John J. Shepherd
Président,
L'Institut canadien de politique
économique
Ottawa, Ontario

Membres

le D^r David V. Bates
Département d'hygiène et
d'épidémiologie,
Université de la
Colombie-Britannique,
Vancouver,
Colombie-Britannique

M. Roger A. Blais
Directeur de la recherche,
École Polytechnique,
Campus de l'Université de
Montréal,
Montréal, Québec

M. Lionel Boulet
Directeur général,
Institut des recherches,
Hydro-Québec,
Varenes, Québec

M^{me} V. Elizabeth Candlish
Spécialiste en recherche,
Winnipeg, Manitoba

M. Donald A. Chisholm
Président du conseil
d'administration,
Bell-Northern Research Ltd.,
Ottawa, Ontario

M. J.V. Raymond Cyr
Vice-président administratif pour
la région du Québec,
Bell Canada,
Montréal, Québec

M. Yvon De Guise
Conseiller principal pour
l'énergie,
Groupe d'experts-conseils
Lavalin,
Montréal, Québec

M. Léon Dion
Département des sciences
politiques,
Faculté des sciences sociales,
Université Laval,
Ste-Foy, Québec

M. E. Lawson Drake
Professeur agrégé de biologie,
Université de l'Île-du-
Prince-Édouard,
Charlottetown,
Île-du-Prince-Édouard

M. David J.I. Evans
Vice-président adjoint à la
recherche technologique,
Sherritt Gordon Mines Limited,
North Edmonton, Alberta

M. John P. Gallagher
Président et directeur général,
Dome Petroleum,
Calgary, Alberta

M. Jean-Paul Gourdeau,
Président et chef de l'exploitation,
SNC Entreprises Ltd.,
Montréal, Québec

M. T.R. Ide
Président,
Ontario Educational
Communications Authority,
Toronto, Ontario

M. W.O. Kupsch
Professeur de géologie,
Département des sciences
géologiques,
Université de la Saskatchewan,
Saskatoon, Saskatchewan

M. Donald A.S. Lanskaill
Président,
Conseil des industries forestières
de la Colombie-Britannique,
Vancouver,
Colombie-Britannique

M. J.J. MacDonald
Vice-président à l'enseignement,
Université St-François-Xavier,
Antigonish, Nouvelle-Écosse

M. Arthur J. O'Connor
Directeur général,
New Brunswick Electric Power
Commission,
Frédéricton, Nouveau-Brunswick

M. R. Donald Pollock
Président et chef de
l'exploitation,
Canada Wire and Cable
Company Ltd.,
Toronto, Ontario

M. B.E. Robertson
Professeur de physique,
Université de Régina,
Régina, Saskatchewan

le D' H. Rocke Robertson
Mountain, Ontario

M. Michael Shaw
Vice-président à l'expansion de
l'Université,
Université de la
Colombie-Britannique,
Vancouver,
Colombie-Britannique

le D' Louis Siminovitch
Directeur et professeur,
Département de génétique
médicale,
Université de Toronto,
Toronto, Ontario

M. Harold L. Snyder
Directeur du Centre d'ingénierie
pour l'exploitation des
ressources océaniques,
Université Mémorial de
Terre-Neuve,
Saint-Jean de Terre-Neuve

M. David Suzuki
Professeur de zoologie,
Université de la
Colombie-Britannique,
Créateur d'émissions télévisées
à la CBC,
Toronto, Ontario

M. Clayton M. Switzer
Doyen du Collège d'agriculture
de l'Ontario,
Université de Guelph,
Guelph, Ontario

M^{me} M. Vogel-Sprott
Professeur,
Département de psychologie,
Université de Waterloo,
Waterloo, Ontario

M^{me} Blossom T. Wigdor
Directrice du programme de
gérontologie et Professeur
agrégé de psychologie,
Université de Toronto,
Toronto, Ontario

M. J. Tuzo Wilson
Directeur général,
Centre des sciences de l'Ontario,
Toronto, Ontario

Publications du Conseil des sciences du Canada

Rapports annuels

- Premier rapport annuel, 1966-1967 (SSI-1967F)
- Deuxième rapport annuel, 1967-1968 (SSI-1968F)
- Troisième rapport annuel, 1968-1969 (SSI-1969F)
- Quatrième rapport annuel, 1969-1970 (SSI-1970F)
- Cinquième rapport annuel, 1970-1971 (SSI-1971F)
- Sixième rapport annuel, 1971-1972 (SSI-1972F)
- Septième rapport annuel, 1972-1973 (SSI-1973F)
- Huitième rapport annuel, 1973-1974 (SSI-1974F)
- Neuvième rapport annuel, 1974-1975 (SSI-1975F)
- Dixième rapport annuel, 1975-1976 (SSI-1976F)
- Onzième rapport annuel, 1976-1977 (SSI-1977F)
- Douzième rapport annuel, 1977-1978 (SSI-1978F)
- Treizième rapport annuel, 1978-1979 (SSI-1979F)

Rapports

- Rapport n° 1.* Un programme spatial pour le Canada, juillet 1967 (SS22-1967/1F, \$0.75)
- Rapport n° 2.* La proposition d'un générateur de flux neutroniques intenses — Première évaluation et recommandations, décembre 1967 (SS22-1967/2F, \$0.25)
- Rapport n° 3.* Un programme majeur de recherches sur les ressources en eau du Canada, septembre 1968 (SS22-1968/3F, \$0.75)
- Rapport n° 4.* Vers une politique nationale des sciences au Canada, octobre 1968 (SS22-1968/4F, \$0.75)
- Rapport n° 5.* Le soutien de la recherche universitaire par le gouvernement fédéral, septembre 1969 (SS22-1969/5F, \$0.75)
- Rapport n° 6.* Une politique pour la diffusion de l'information scientifique et technique, septembre 1969 (SS22-1969/6F, \$0.75)
- Rapport n° 7.* Les sciences de la Terre au service du pays — Recommandations, avril 1970 (SS22-1970/7F, \$0.75)
- Rapport n° 8.* Les arbres . . . et surtout la forêt, 1970 (SS22-1970/8F, \$0.75)
- Rapport n° 9.* Le Canada . . . leur pays, 1970 (SS22-1970/9F, \$0.75)
- Rapport n° 10.* Le Canada, la science et la mer, 1970 (SS22-1970/10F, \$0.75)
- Rapport n° 11.* Le transport par ADAC: Un programme majeur pour le Canada, décembre 1970 (SS22-1970/11F, \$0.75)
- Rapport n° 12.* Les deux épis, ou l'avenir de l'agriculture, mars 1971 (SS22-1970/12F, \$0.75)
- Rapport n° 13.* Un réseau transcanadien de téléinformatique; 1^{ère} phase d'un programme majeur en informatique, août 1971 (SS22-1971/13F, \$0.75)
- Rapport n° 14.* Les villes de l'avenir — Les sciences et les techniques au service de l'aménagement urbain, septembre 1971 (SS22-1971/14F, \$0.75)
- Rapport n° 15.* L'innovation en difficulté: Le dilemme de l'industrie manufacturière au Canada, octobre 1971 (SS22-1971/15F, \$0.75)
- Rapport n° 16.* « . . . mais tous étaient frappés » — Analyse de certaines inquiétudes pour l'environnement et dangers de pollution de la nature canadienne, juin 1972 (SS22-1972/16F, \$1.00)
- Rapport n° 17.* In vivo — Quelques lignes directrices pour la biologie fondamentale au Canada, août 1972 (SS22-1972/17F, \$1.00)
- Rapport n° 18.* Objectifs d'une politique canadienne de la recherche fondamentale, septembre 1972 (SS22-1972/18F, \$1.00)
- Rapport n° 19.* Problèmes d'une politique internationale, avril 1973 (SS22-1973/19F, \$1.25)
- Rapport n° 20.* Le Canada, les sciences et la politique internationale, avril 1973 (SS22-1973/20F, \$1.25)
- Rapport n° 21.* Stratégies pour le développement de l'industrie canadienne de l'informatique, septembre 1973 (SS22-1973/21F, \$1.50)

- Rapport n° 22.* **Les services de santé et la science**, octobre 1974 (SS22-1974/22F, \$2.00)
- Rapport n° 23.* **Les options énergétiques du Canada**, mars 1975 (SS22-1975/23F, Canada: \$2.75; autres pays: \$3.30)
- Rapport n° 24.* **La diffusion des progrès techniques des laboratoires de l'État dans le secteur secondaire**, décembre 1975 (SS22-1975/24F, Canada: \$1.00; autres pays: \$1.20)
- Rapport n° 25.* **Démographie, technologie et richesses naturelles**, juillet 1976 (SS22-1976/25F, Canada: \$2.00; autres \$2.40)
- Rapport n° 26.* **Perspective boréale — Une stratégie et une politique scientifique pour l'essor du Nord canadien**, août 1977 (SS22-1977/26F, Canada: \$2.50; autres pays: \$3.00)
- Rapport n° 27.* **Le Canada, société de conservation — Les aléas des ressources et la nécessité de technologies inédites**, septembre 1977 (SS22-1977/27F, Canada: \$2.25; autres pays: \$2.70)
- Rapport n° 28.* **L'ambiance et ses contaminants — Une politique de lutte contre les agents toxiques à retardement de l'ambiance professionnelle et de l'environnement**, octobre 1977 (SS22-1977/28F, Canada \$2.00; autres pays: \$2.40)
- Rapport n° 29.* **Le maillon consolidé — Une politique canadienne de la technologie**, février 1979 (SS22-1979/29F, Canada: \$2.25; autres pays: \$2.70)
- Rapport n° 30.* **Les voies de l'autosuffisance énergétique — Les démonstrations nécessaires sur le plan national**, juin 1979 (SS22-1979/30F, Canada: \$4.50; autres pays: \$5.40)

Études de documentation

Les cinq premières études de la série ont été publiées sous les auspices du Secrétariat des sciences.

- Special Study No. 1.* **Upper Atmosphere and Space Programs in Canada**, by J.H. Chapman, P.A. Forsyth, P.A. Lapp, G.N. Patterson, February 1967 (SS21-1/1, \$2.50)
- Special Study No. 2.* **Physics in Canada: Survey and Outlook**, by a Study Group of the Canadian Association of Physicists headed by D. C. Rose, May 1967 (SS21-1/2, \$2.50)
- Étude n° 3.* **La psychologie au Canada**, par M. H. Appley et Jean Rickwood, Association canadienne des psychologues, septembre 1967 (SS21-1/3F, \$2.50)
- Étude n° 4.* **La proposition d'un générateur de flux neutroniques intenses — Évaluation scientifique et économique**, par un Comité du Conseil des sciences du Canada, décembre 1967 (SS21-1/4F, \$2.00)
- Étude n° 5.* **La recherche dans le domaine de l'eau au Canada**, par J.P. Bruce et D.E.L. Maasland, juillet 1968 (SS21-1/5F, \$2.50)
- Étude n° 6.* **Études de base relatives à la politique scientifique — Projections des effectifs et des dépenses R & D**, par R.W. Jackson, D.W. Henderson et B. Leung, 1969 (SS21-1/6F, \$1.25)
- Étude n° 7.* **Le gouvernement fédéral et l'aide à la recherche dans les universités canadiennes**, par John B. Macdonald, L.P. Dugal, J.S. Dupré, J.B. Marshall, J.G. Parr, E. Sirluck, E. Vogt, 1969 (SS21-1/7F, \$3.00)
- Étude n° 8.* **L'information scientifique et technique au Canada, Première partie**, par J.P.I. Tyas, 1969 (SS21-1/8F, \$1.00)
II partie, Premier chapitre: Les ministères et organismes publics (SS21-1/8-2-1F, \$1.75)
II partie, Chapitre 2: L'industrie (SS21-1/8-2-2F, \$1.25)
II partie, Chapitre 3: Les universités (SS21-1/8-2-3F, \$1.75)
II partie, Chapitre 4: Organismes internationaux et étrangers (SS21-1/8-2-4F, \$1.00)
II partie, Chapitre 5: Les techniques et les sources (SS21-1/8-2-5F, \$1.25)
II partie, Chapitre 6: Les bibliothèques (SS21-1/8-2-6F, \$1.00)
II partie, Chapitre 7: Questions économiques (SS21-1/8-2-7F, \$1.00)

- Étude n° 9,* **La chimie et le génie chimique au Canada: Étude sur la recherche et le développement technique**, par un groupe d'étude de l'Institut de Chimie du Canada, 1969 (SS21-1/9F, \$2.50)
- Étude n° 10,* **Les sciences agricoles au Canada**, par B.N. Smallman, D.A. Chant, D.M. Connor, J.C. Gilson, A.F. Hannah, D.N. Huntley, E. Mercier, M. Shaw, 1970 (SS21-1/10F, \$2.00)
- Étude n° 11,* **L'invention dans le contexte actuel**, par Andrew H. Wilson, 1970 (SS21-1/11F, \$1.50)
- Étude n° 12,* **L'aéronautique débouche sur l'avenir**, par J.J. Green, 1970 (SS21-1/12F, \$2.50)
- Étude n° 13,* **Les sciences de la Terre au service du pays**, par Roger A. Blais, Charles H. Smith, J.E. Blanchard, J.T. Cawley, D.R. Derry, Y.O. Fortier, G.G.L. Henderson, J.R. Mackay, J.S. Scott, H.O. Seigel, R.B. Toombs, H.D.B. Wilson, 1971 (SS21-1/13F, \$4.50)
- Étude n° 14,* **La recherche forestière au Canada**, par J. Harry G. Smith et Gilles Lessard, mai 1971 (SS21-1/14F, \$3.50)
- Étude n° 15,* **La recherche piscicole et faunique**, par D.H. Pimlott, C.J. Kerswill et J.R. Bider, juin 1971 (SS21-1/15F, \$3.50)
- Étude n° 16,* **Le Canada se tourne vers l'océan — Étude sur les sciences et la technologie de la mer**, par R.W. Stewart et L.M. Dickie, septembre 1971 (SS21-1/16F, \$2.50)
- Étude n° 17,* **Étude sur les travaux canadiens de R & D en matière de transport**, par C.B. Lewis, mai 1971 (SS21-1/17F, \$0.75)
- Étude n° 18,* **Du formol au Fortran — La biologie au Canada**, par P.A. Larkin et W.J.D. Stephen, août 1971 (SS21-1/18F, \$2.50)
- Étude n° 19,* **Les conseils de recherches dans les provinces au service du Canada**, par Andrew H. Wilson, juin 1971 (SS21-1/19F, \$1.50)
- Étude n° 20,* **Perspective d'emploi pour les scientifiques et les ingénieurs au Canada**, par Frank Kelly, mars 1971 (SS21-1/20F, \$1.00)
- Étude n° 21,* **La recherche fondamentale**, par P. Kruus, décembre 1971 (SS21-1/21F, \$1.50)
- Étude n° 22,* **Sociétés multinationales, investissement direct de l'étranger et politique des sciences du Canada**, par Arthur J. Cordell, décembre 1971 (SS21-1/22F, \$1.50)
- Étude n° 23,* **L'innovation et la structure de l'industrie canadienne**, par Pierre L. Bourgault, mai 1973 (SS21-1/23F, \$2.50)
- Étude n° 24,* **Aspects locaux, régionaux et mondiaux des problèmes de qualité de l'air**, par R.E. Munn, janvier 1973 (SS21-1/24F, \$0.75)
- Étude n° 25,* **Les associations nationales d'ingénieurs, de scientifiques et de technologues du Canada**, par le Comité de direction de SCITEC et le Professeur Allen S. West, juin 1973 (SS21-1/25F, \$2.50)
- Étude n° 26,* **Les pouvoirs publics et l'innovation industrielle**, par Andrew H. Wilson, décembre 1973 (SS21-1/26F, \$3.75)
- Étude n° 27,* **Études sur certains aspects de la politique des richesses naturelles**, par W.D. Bennett, A.D. Chambers, A.R. Thompson, H.R. Eddy et A.J. Cordell, septembre 1973 (SS21-1/27F, \$2.50)
- Étude n° 28,* **Formation et emploi des scientifiques — Caractéristiques des carrières de certains diplômés canadiens et étrangers**, par A.D. Boyd et A.C. Gross, février 1974 (SS21-1/28F, \$2.25)
- Étude n° 29,* **Considérations sur les soins de santé au Canada**, par H. Locke Robertson, décembre 1973 (SS21-1/29F, \$2.75)
- Étude n° 30,* **Un mécanisme de prospective technologique — Le cas de la recherche du pétrole sous-marin sur le littoral atlantique**, par M. Gibbons et R. Voyer, mars 1974 (SS21-1/30F, \$2.00)
- Étude n° 31,* **Savoir, Pouvoir et Politique générale**, par Peter Aucoin et Richard French, novembre 1974 (SS21-1/31F, \$2.00)
- Étude n° 32,* **La diffusion des nouvelles techniques dans le secteur de la construction**, par A.D. Boyd et A.H. Wilson, janvier 1975 (SS21-1/32F, \$3.50)
- Étude n° 33,* **L'économie d'énergie**, par F.H. Knelman, juillet 1975 (SS21-1/33F, Canada: \$1.75; autres pays: \$2.10)
- Étude n° 34,* **Développement économique du Nord canadien et mécanismes de prospective technologique: Étude de la mise en valeur des hydrocarbures dans le delta du Mackenzie et la mer de Beaufort et dans**

- l'Archipel arctique**, par Robert F. Keith, David W. Fisher, Colin E. De'Ath, Edward J. Farkas, George R. Francis et Sally C. Lerner, mai 1976 (SS21-1/34F, Canada: \$3.75; autres pays: \$4.50)
- Étude n° 35.* **Rôles et fonctions des laboratoires de l'État en matière de diffusion des nouvelles techniques vers le secteur secondaire**, par A.J. Cordell et J.M. Gilmour, 1977 (SS21-1/35F, Canada: \$6.50; autres pays: \$7.80)
- Étude n° 36.* **Économie de l'essor du Nord**, par K.J. Rea, novembre 1976 (SS21-1/36F, Canada: \$4.00; autres pays: \$4.80)
- Étude n° 37.* **Les sciences mathématiques au Canada**, par Klaus P. Beltzner, A. John Coleman et Gordon D. Edwards, mars 1977 (SS21-1/37F, Canada: \$6.50; autres pays: \$7.80)
- Étude n° 38.* **Politique scientifique et objectifs de la société**, par R.W. Jackson, août 1977 (SS21-1/38F, Canada: \$4.00; autres pays: \$4.80)
- Étude n° 39.* **La législation canadienne et la réduction de l'exposition aux contaminants**, par Robert T. Franson, Alastair R. Lucas, Lorne Giroux et Patrick Kenniff, août 1978 (SS21-1/39F, Canada: \$4.00; autres pays: \$4.80)
- Étude n° 40.* **Réglementation de la salubrité de l'environnement et de l'ambiance professionnelle au Royaume-Uni, aux États-Unis et en Suède**, par Roger Williams, 1978 (SS21-1/40F, Canada: \$5.00; autres pays: \$6.00)
- Étude n° 41.* **Le mécanisme réglementaire et la répartition des compétences en matière de réglementation des agents toxiques au Canada**, par G. Bruce Doern, 1978 (SS21-1/41F, Canada: \$5.50; autres pays: \$6.00)
- Étude n° 42.* **L'exploitation du gisement du fiord Strathcona — Une étude de cas en matière de décision**, par Robert B. Gibson, 1978 (SS21-1/42F, Canada: \$8.00; autres pays: \$9.60)
- Étude n° 43.* **Le maillon le plus faible — l'aspect technologique du sous-développement industriel au Canada**, par John N.H. Britton et James M. Gilmour, avec l'aide de Mark G. Murphy, 1979 (SS21-1/43F, Canada: \$5.00; autres pays: \$6.00) sous presse
- Étude n° 44.* **La participation de l'Administration canadienne à l'activité scientifique et technique internationale**, par Jocelyn Maynard Ghent, 1979 (SS21-1/44F, Canada: \$4.50; autres pays: \$5.40) sous presse

INDEX

- Accord canado-américain 50
Actions-pilotes 19, 48
 chauffage solaire 42
Administration
 albertaine 74
 fédérale 69
 provinciale 42, 69
 publique 69
Agence internationale de l'énergie 28
Alberta Oil Sands Technology and
 Research Authority (AOSTRA) 74
Alcool méthylique (méthanol) 58
Aménagement du territoire 51
 énergétique 20, 30
 hydroélectrique 35
 surnuméraire 21
Annual heat storage tanks voir
 calostockeurs semestriels
AOSTRA 73, 74
Approvisionnement charbonnier,
 utilisation 21
 en électricité 54, 63
 énergétique 38, 43, 51, 52, 53
 planification 21
 pétrolier 18, 44, 54
 en uranium 53
Archipel arctique 45
Asphalte 44
Association canadienne de
 l'électricité 50
Autarcie énergétique 32
 politique 22, 23, 24
 pétrolière 19
 politique 19
Autonomie technologique 36, 74
Autosuffisance énergétique 19
 voir aussi autarcie énergétique
- Balance des paiements 19, 20
 déficit de la 18
Besoins énergétiques 28, 29, 30, 32,
 43, 51
 cruciaux 36
 envisagés 20
 régionaux 36
Biomass, voir organomasse
Bombements 47
Boue pétrole-charbon 50
Branches industrielles 20
Brise-glaces à propulsion nucléaire 46
Brûleurs spéciaux 50
- Caloporteur 63
Calostockeurs (*Heat storage units*) 59
 semestriels 60
 solaires 60
Canada, filières énergétiques 21
 éventail des options énergétiques 19
 expansion économique 23
 panoplie énergétique 20
 ressources en hydrocarbures 44
*Canadian Offshore Petroleum
 Technology Research
 Authority* 73
Capital-risque 68
CANDU, 51, 52, 54, 55
Capacité électronucléaire 52
Caractéristiques géographiques
 boréales 47
Centrale du Cap Breton 50
 de Chatham 50
 de Pickering 52
Centrales électronucléaires 51, 62
 hydroélectriques 62
 thermiques 48, 62, 63
Charbon 21, 22, 35, 47, 48
 en suspension dans le pétrole 50
 extraction à ciel ouvert (*Strip
 mining*) 48, 50
 gazéification du, 43
 méthodes d'extraction du 51
 soufre contenu dans le 54
 transformation 48
Chauffage solaire
 installations-pilotes 59
 perspectives 60
Chauffage de secours
 au gaz naturel 60
 au mazout 60
 magnétohydrodynamique 62
Chauffage urbain à Toronto, études
 sur le 63, 69
Chauffe-eau solaire
 démonstrations 59
 mise au point 37
Climatisation 59
Co-generation, voir production
 conjuguée d'électricité et de
 chaleur
Cold Lake
 exploitation des sables
 bitumineux 70
Collecteurs solaires 59
Combustibles commerciaux 57, 62, 65
 fossiles 23
 gazeux 57
 perspectives 58
 irradiés 52
 liquides 57
 nucléaires 36
 recyclés 52, 53

- Combustion du charbon, 48, 50
 - des ordures ménagères 61
- Commercialisation de techniques inappropriées 20
- Confinement des déchets radioactifs 52, 53, 74
- Compagnies d'électricité, actions de recherche 42
 - hydroélectrique de la Saskatchewan 50
- Conditions de l'emploi 36
- Conférences fédérales-provinciales, février 1978, 68
 - de Noranda 37
- Conflits politiques 19
- Conseil des recherches de la Saskatchewan 50
- Consommation énergétique individuelle 30
- Coût de l'énergie
 - impact sur l'économie canadienne 22
- Couverture glacielle 45
- Crise énergétique 19
- Croissance économique 54
- Cycle du thorium 55
- Déchets, agricoles 58
 - forestiers 42
 - municipaux 61
 - radioactifs 52
- Dépendance à l'égard du pétrole étranger 23, 44
- Développement technique, 37
 - de Syncrude 70
- Diesel fuel*, voir gazole
- Dilemme financier 30
- Droit à l'énergie 23
 - à l'ensoleillement 60
- ÉACL, voir Énergie atomique du Canada limitée 53, 55, 73, 74
- Eau, lourde 54
 - océanique 56
 - profonde, exploration 45
- Économie d'énergie 18, 23, 24, 28, 35, 42, 62
 - mondiale, rôle du Canada 28
 - primaire 63, 69
- Effort pécuniaire 20
- Électricité, besoins 51
 - exportation 55
 - production 50
 - rôle 24, 54
- Électrification des transports ferroviaires 54
- Embargo pétrolier 18, 28
- Émissions sulfureuses 49
- Énergie, coût 22
 - exportation 22
 - impact sur l'économie canadienne 22
 - nouvelles sources d'énergie 21
 - planification prévisionnelle 19
 - situation actuelle 43
 - transport 23
 - utilisation 35, 37
- Énergie, acquise 42
 - disponible 42
 - épuisable 26
 - hydraulique 62
 - politique à court terme 35
 - politique à long terme 36
 - renouvelable 19, 26, 42
 - solaire 56, 59
 - tendances 18
 - utile 42
- Énergie atomique du Canada limitée (ÉACL) 53, 55, 73, 74
- Énergie, Mines et Ressources Canada 47, 50
- Enveloppe fédérale de R, D & D 42
- Environnement glacial maritime 45
- Épurateurs (*Scrubbers*) 49
- État, contribution de l' 38
 - intervention de l' 21
 - soutien de l' 51
- État d'avancement de certaines entreprises énergétiques 70
- Exajoule 32
- Exploitation des sables bitumineux 70
 - minière 51
- Faisabilité de la production de combustibles liquides et gazeux 57
 - du cycle du thorium 53, 54, 55, 56
- Filière biochimique 24, 42
- CANDU 58
 - charbonnière 48
 - combustibles fossiles 24, 26, 28, 31, 51, 52, 65
 - électronucléaire 43, 54
 - développement 52, 54
 - énergie renouvelable 56, 57, 65
 - énergétique interne 18, 19, 30, 38
 - éolienne 56
 - géothermique 56
 - marémotrice 56
 - solaire 24, 42
 - équipement 59
 - matériel 42
- FIRE, voir *Forest Industry Renewable Energy*

- Fixation des prix 20
- Flotte boréale soviétique 46
- Fluides caloporteurs 59
- Fondements techniques 22
- Forage à partir d'îles artificielles 43
 - en eaux profondes 43
 - navires de 43
- Forest Industry Renewable Energy (FIRE)* 42
- Formation de la main-d'œuvre 42
- Fusion nucléaire 43
- Gaspillage de l'énergie 23, 68
- Gaz de bois 58
 - naturel, consommation 28
 - fixation des prix, conséquences 20, 35
 - gisements 46
 - exploitation 44
 - transport 46
 - naturel liquéfié (GNL) 46
 - transport maritime 70
- Gazéification du charbon 43
- Gazogènes modulaires 58
- Gazole (*diesel fuel*) 58, 62
- Gestion, méthodes acceptables de, combustibles irradiés 53
 - processus 61
- Gigawatt (GW) 51
- Gisements charbonniers 47
 - de gaz naturel 45
 - de pétrole 23, 45
- Glace de mer, fusion 45
 - propriétés mécaniques 45
- GNL, voir gaz naturel liquéfié
- Heat storage units*, voir calostockeurs
- Humanité, besoins alimentaires et énergiques 51
- Hydrocarbures 21, 28, 35, 36
 - extraction 45, 47, 74
 - réserves 44
 - gazeux 21
 - liquides 21
- Icebergs errants 45
- Immeubles en bande (*low rise apartments*) 59
- Industrie canadienne du pétrole 44
 - rôle futur 73
 - charbonnière 51
 - chimique 47
 - forestière 42, 57
 - nucléaire 54
 - sidérurgique 48
- Infrastructure industrielle 53
- Institut de récupération du pétrole de Calgary 44
- Labrador, gisements pétroliers au large du, 45
- Land reclamation*, voir reconstitution des sols
- Lit fluidisé 48, 49, 50
- Low rise apartments*, voir immeubles locatifs en bande
- Luscar 51
- Marchés étrangers 53
- Mazout, propriétés du, 50
- Mer de Baffin 45
 - de Beaufort 45
- Méthaniers 18, 46
 - brise-glace, construction 47
- Méthanol (alcool méthylique) 46, 58
 - transport 46
- Méthodes de combustion du charbon 50
 - de ramassage des ordures 61
- Moteur à explosion 58
- Nord canadien 45
- Océanotechnique 46
- Ontario Hydro 55, 63
- OPEP, voir Organisation des pays exportateurs de pétrole
- Options énergétiques 19, 21, 22, 25, 30
 - classification 20, 38
 - électronucléaires 55
- Ordures ménagères, source d'énergie 56
 - municipales, répercussions écologiques 61
- Organismes publics 20
- Organisation des pays exportateurs de pétrole (OPEP) 18, 28
- Organomasse, 21, 48, 49, 56, 57
 - utilisation 58
- Ouest canadien 44
 - extraction du charbon 50
- Panarctic 74
- Panoplie énergétique 21, 23, 30, 48, 56
 - modifications structurelles 21
- Participation des protagonistes 69
- PASEM, voir *Plan of Assistance to Solar Energy Manufacturers*
- Pays arabes 28
- Pénurie énergétique, conséquences 24
- Pétrocan 74
- Pétrole 22
 - consommation 28
 - transport 46
 - brut 20
 - étranger, approvisionnement 18

- dépendance à l'égard du 23, 44
- importation 48
- léger 44
- lourd 21, 44
- semi-fluide 44
- visqueux, voir pétrole lourd
- Photochimiques, réactions 56
- Piscines de stockage (*Water-filled bays*) 52
- Pièges pétroliers 47
- Piles à combustibles 54
- Pipelines 18
- Plan géographique 18
- Plan of Assistance to Solar Energy Manufacturers* (PASEM) 42
- Plutonium 52, 53
- Ports, charbonniers 18
- pétroliers 48
- Potentiel de production forestière 58
- de gestion 42
- technique d'exploitation des ressources énergétiques 23, 27, 30, 32
- Précipitateurs électrostatiques (*scrubbers*) 49
- Priorités énergétiques 19, 20, 43
- Production d'énergie à partir de déchets municipaux 61
- de vapeur et d'électricité 63
- Production conjuguée d'électricité et de chaleur, démonstration 62, 63
- Programme énergétique national 20
- d'exploration d'Eastcan 70
- recommandé de démonstrations 25, 41, 42, 43
- Prospection des hydrocarbures 47
- régions occidentales du Canada 44
- sous-marine 73
- Protection de l'environnement 51
- Purchase of Solar Heating* (PUSH) 42
- Radioactivité 52
- Rayonnement solaire, utilisation 56
- Réacteurs à fission nucléaire 35, 74
- CANDU 52, 53, 55
- Recherche et développement
- technique (R & D) 37, 39, 43, 51, 59
- financement 38
- industrielle 74
- objectifs 19
- de sources d'énergie additionnelles 20
- Reconstitution des sols (*land reclamation*) 50
- Récupération de la chaleur perdue 63
- de l'énergie 61
- Recyclage des combustibles irradiés 52
- R, D. & D 19, 20, 21, 22, 23, 24, 30, 32, 36, 42, 43, 44, 45, 46, 48, 51, 54, 56, 57, 61, 68
- crédits à la 42
- démonstration 38
- développement technique 37
- financement 67, 71, 72
- gestion 67
- stratégie énergétique 33, 34
- Remplacement des sources d'énergie 35
- Réserves charbonnières 47
- Résidus, agricoles 57
- forestiers 57
- Ressources boréales, exploitation 46
- énergétiques 22
- pétrole brut 44
- répartition 21, 42, 43
- Sables bitumineux 21, 22, 35
- exploitation des 44
- Schistes pétrolières, combustion 50
- Schlamms (*Washery rejects*) 50
- Scrubbers*, voir épurateurs
- Secteur agricole 57, 58
- canadien du pétrole 46
- charbonnier 48
- combustibles fossiles 73
- électronucléaire 52
- développement 54
- énergétique 20, 30, 69
- hydroélectrique 56
- comportement 21
- industriel 42
- privé 72
- public canadien, participation 72
- Sociétés gazières 44, 47
- pétrolières 44, 47
- Soufre, oxydes de 49
- Sources d'approvisionnement énergétique 36
- d'énergie renouvelable 31, 42
- Steel Company of Canada* 50
- Stockage de l'énergie 37, 62
- semestriel d'eau chaude 60
- temporaire des déchets combustibles irradiés 52
- Strip-mining*, voir extraction de charbon à ciel ouvert
- Talus continental 47
- Techniques de forage en eaux profondes, encombrées de glaces 73
- de transformation énergétique 26,

- 31, 44, 65
- du transport de l'énergie 26, 31
- du stockage de l'énergie 26, 31
- Technologie de combustion de charbon en lit fluidisé 48, 49, 50
- électronucléaire 51
- en milieu glacial 45
- de retraitement du thorium 55
- de transformation énergétique 62
- Thorium, cycle du 55
- Trains électriques 54
- Transformation de l'énergie primaire en électricité 54
- de l'organomasse en biogaz 56
- Transition énergétique, coûts 22
- Transport du gaz polaire 70
- des hydrocarbures 18
- Turbines 58
- à gaz 62
- Uranium naturel 52
- 233, 52
- 238, potentialités 54
- Utilisation des charbons sulfurés 50
- énergétique des résidus de culture et des déjections animales 58
- de l'ensoleillement pour le chauffage 56
- Véhicules électriques urbains 54
- Viscosité des suspensions charbon-mazout 50
- Washery rejects*, voir Schlamms
- Water-filled bays*, voir piscines de stockage