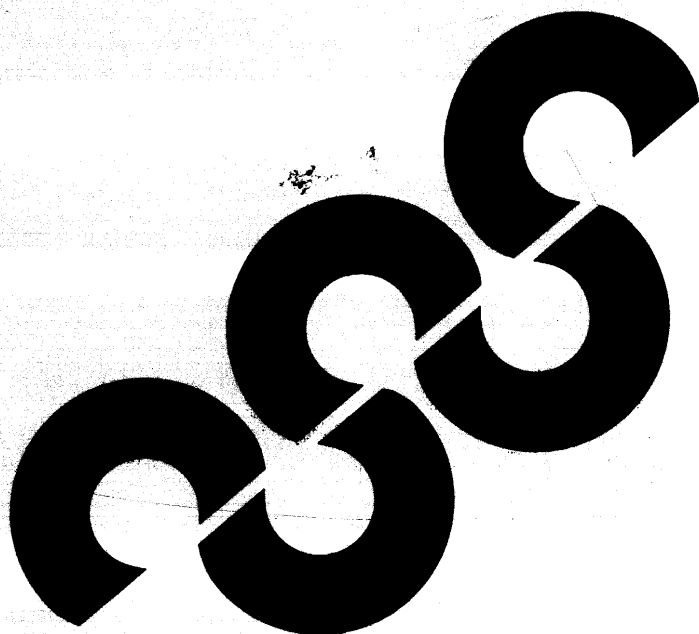


Ser
Q1
C212s1
no.33

Revue de documentation
pour le Conseil
des sciences
du Canada
Juillet 1975

L'économie d'énergie
par F. H. Knelman



Sec
E1
2-12-71
140-1-10

L'économie d'énergie

par F.H. Knelman

ANALYZED
CANADA INSTITUTE FOR S.T.I.
JUL 30 1975
OTTAWA
INSTITUT CANADIEN DE L'I.S.T.

Conseil des sciences du Canada.
7^e étage,
150, rue Kent,
Ottawa, Ont.
K1P 5P4

© Droits de la Couronne réservés

En vente chez Information Canada à Ottawa,
et dans les librairies d'Information Canada:

Halifax – 1683, rue Barrington

Montréal – 640 ouest, rue S^{te}-Catherine

Ottawa – 171, rue Slater

Toronto – 221, rue Yonge

Winnipeg – 393, avenue Portage

Vancouver – 800, rue Granville

ou chez votre libraire

Prix Canada: \$1.75 autres pays: \$2.10

N° de catalogue SS21-1/33F

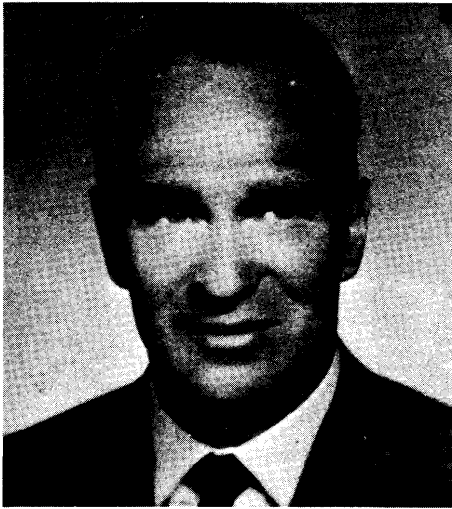
Prix sujet à changement sans avis préalable

Information Canada

Ottawa, 1975

Impression: Mercury Press, Montréal

0H025-74-3



F. H. Knelman

B.A.Sc., Université de Toronto, 1943; M. Eng., Université McGill, 1950; Ph.D. (Chemical Eng.), Université de Londres, 1953; D.I.C., Collège impérial de science et de technologie, 1953.

Carrière: M. Knelman a été professeur à l'Université McGill et à l'Université d'York. Il a été membre honoraire étranger de l'Institut mexicain de génie chimique en 1971, professeur invité de rationalisation de l'environnement à l'Institut californien des arts de Valencia en 1973, et professeur invité pour les Conférences «Technologie et Société» de l'Université de la Colombie-Britannique, à l'automne de 1973. Il achève des recherches sur les divergences administratives en matière de protection de la santé et de sécurité des mineurs d'uranium, pour le compte de la *United Steel Workers Association*. M. Knelman est actuellement professeur de sciences et affaires humaines à l'Université Concordia de Montréal.

Publications et articles:

M. Knelman a publié de nombreux ouvrages et articles, y compris: «1984 and All That» (Wadsworth, Californie, 1971), et «The Mechanism of Bubble Burst» (*Nature*, 1954, vol. 173, p. 261). En 1974, il a présenté les communications suivantes:

«The State of Oregon and the State of the World» au Centre d'études des institutions démocratiques, «The Growth of Limits» lors des Conférences «Westwater» à l'Université de la Colombie-Britannique, et «Food and Population» à la Conférence nationale de l'Association canadienne d'agriculture et de chimie.

Distinctions:

Citons, parmi les distinctions conférées à M. Knelman: le *White Owl Conservation Award*, à titre de Spécialiste canadien de l'environnement pour 1972.

Table des matières



| | |
|---|----|
| Préface | 7 |
| I Introduction | 9 |
| La politique d'économie d'énergie | 13 |
| Comparaison générale coûts/avantages des mesures d'économie | 14 |
| II Méthodologie des mesures d'économie d'énergie et d'accroissement du rendement | 23 |
| Modalités d'application des mesures d'économie énergétique | 30 |
| Techniques de mise en œuvre et critères d'évaluation de l'efficacité des mesures d'économie | 34 |
| Analyse détaillée des économies énergétiques par secteur et par période | 37 |
| III Incidence de l'effort de conception sur l'économie énergétique | 55 |
| IV Autres observations sur l'économie d'énergie | 59 |
| Utilisation des ordures comme combustible | 60 |
| La mise au point d'une suspension charbon-pétrole combustible | 61 |
| Production de méthane à partir de déchets organiques | 61 |
| V Examen des résultats | 63 |
| VI Conclusions | 69 |
| Annexes | 73 |
| A. Modèle mathématique des économies cumulées | 74 |
| B. Analyse des économies | 77 |
| C. Tableaux prévisionnels | 85 |
| D. Étude comparative des mesures d'économie énergétique | 88 |
| Publications du Conseil des sciences du Canada | 91 |

Préface

Voici la première de trois études de documentation destinées à étayer le Rapport n° 23 du Conseil des sciences intitulé: « Les options énergétiques du Canada ». La deuxième étude: *Energy Scenarios for the Future* a été rédigée par M. Hedlin Menzies, à la suite de travaux exécutés sous contrat du Conseil. La troisième, en deux volumes, porte le titre: *Canada's Energy Corridors to the Future*, et constitue le rapport de l'équipe qui a travaillé sous la direction de M. G.N. Patterson. Ces études complémentaires seront publiées dès l'achèvement des travaux de traduction et de préparation.

L'auteur a rédigé la présente étude sur l'économie d'énergie, tout d'abord lors de son détachement auprès du Conseil des sciences, puis à l'Université Concordia (Sir George Williams), et enfin au cours d'un congé sabbatique sur le littoral pacifique des États-Unis. Elle bénéficie du talent de M. Knelman, ainsi que de l'expérience exceptionnelle acquise pendant les nombreuses années qu'il a consacrées au domaine concerné.

Il est indispensable de reconsidérer notre consommation énergétique sans cesse croissante. Certes, il nous faut satisfaire les besoins essentiels, mais que dire de l'accessoire, et comment les distinguer? Comment devons-nous épargner l'énergie, et quels en seraient les avantages? C'est là le thème de la présente étude. L'économie d'énergie est une entreprise difficile, car elle touche à la technique, à l'économique, à la protection de l'environnement et à l'organisation administrative. D'aucuns soutiendront que de nombreuses mesures d'économie proposées dans l'étude sont évidentes et simplistes; mais si tel est le cas, pourquoi avons-nous attendu si longtemps pour les adopter?

Certains lecteurs mettront probablement en doute l'exactitude de certains chiffres mentionnés, ou souligneront l'insuffisance des statistiques. Signalons que l'auteur s'attendait à des reproches de ce genre. Il est persuadé qu'il faudra accomplir de nombreuses recherches complémentaires, mais que son étude offre une base de départ utile, et encouragera d'autres chercheurs à explorer des voies nouvelles, ou à approfondir les questions déjà étudiées.

Nous espérons que cette étude déclenchera une vaste évaluation quantitative des mesures d'économie de l'énergie, et que des progrès appréciables en résulteront.

Comme dans le cas des autres études de documentation, les opinions formulées sont celles de l'auteur, et non pas nécessairement celles du Conseil des sciences; par contre, les lecteurs ne manqueront pas de faire le rapprochement entre l'étude de M. Knelman et le Rapport n° 23 du Conseil des sciences.

P.D. McTaggart-Cowan
Directeur général
Conseil des sciences du Canada

I. Introduction

L'étude de la consommation et de la production d'énergie au cours de l'histoire jette quelque lumière sur la situation énergétique actuelle. L'homme a besoin, pour vivre convenablement, d'un apport alimentaire atteignant de 2 500 à 3 000 calories (kcal) par jour, et d'un régime bien équilibré. C'était à peu près la ration énergétique de l'homme préhistorique ou antique. Mais l'utilisation du feu et de l'énergie animale, et l'invention des machines éoliennes et hydrauliques a multiplié la consommation d'énergie. La révolution industrielle des XVIII^e et XIX^e siècles a déclenché une autre grande escalade de la consommation et, de nos jours, l'Américain moyen consomme plus d'un million de kilocalories par jour.

Les combustibles fossiles et la houille blanche (énergie hydraulique) sont les deux principales sources énergétiques animant la grande machine de production des biens et des services dans les pays industriels. Pour le moment, 90 pour cent de toute l'énergie produite dans le monde proviennent des combustibles fossiles, dont l'énergie chimique est transformée en énergie électrique ou en énergie thermique. Sur la scène canadienne, le tableau diffère considérablement car, en 1972, 24 pour cent de l'énergie primaire ont été produits par les centrales hydroélectriques. On estime que cette proportion devrait passer à 12 pour cent en l'an 2000.

C'est de l'énergie que dépend la satisfaction des besoins essentiels d'un pays moderne. Quel que soit le stade de développement économique, il faut de l'énergie pour produire les aliments, les vêtements et les logements. Outre la satisfaction de ces besoins primordiaux, l'énergie demeure la clef de l'expansion industrielle et du développement économique.

La précision terminologique est d'importance particulièrement lorsqu'il s'agit du vocabulaire scientifique. Soulignons donc que l'énergie est le pouvoir d'effectuer du travail; il y a travail lorsqu'une force provoque le déplacement d'une masse; la puissance est l'énergie fournie par seconde. Chacun de ces termes peut aussi recevoir une définition pratique.

La relation fondamentale est la suivante: Puissance = énergie/temps. Par conséquent, l'énergie est égale au produit: puissance x temps. Les unités habituelles d'énergie sont dérivées des unités de puissance, c.-à-d. le watt (W), le « horsepower » (1 hp = 745,7 W), la calorie par seconde; elles s'appellent: le joule, le kilowatt-heure, la Btu (British thermal unit), la calorie ou l'erg.

Le principe fondamental en matière d'énergie est celui de conservation de l'énergie, donc de sa convertibilité; on a fondamentalement: 1 kWh = 3 412 Btu. Le second principe de la thermodynamique revêt une égale importance, car c'est l'une des bases de la physique. Il s'applique lorsqu'il y a transformation d'un type d'énergie en un autre, comme par exemple la transformation de l'énergie thermique en énergie mécanique dans une machine à vapeur. Le second principe signifie en pratique que l'énergie thermique ne se transforme pas intégralement en

énergie mécanique; une certaine proportion se dissipe à partir de la chambre de combustion (p. ex. le cylindre du moteur à combustion interne) et chauffe l'espace ambiant. La proportion de l'énergie calorifique qu'on peut convertir en énergie mécanique est fonction de la différence de température. La relation $E = (T_1 - T_2)/T_2$ fournit aussi une mesure quantitative du rendement; T_1 et T_2 y sont les températures de fonctionnement, en kelvins. Le cycle de Carnot permet de calculer le rendement maximum d'une machine thermique (40 pour cent). La transformation inverse, c'est-à-dire celle de l'énergie mécanique ou électrique en énergie thermique, atteint un rendement proche de 100 pour cent. C'est pourquoi les physiciens distinguent « l'énergie libre », telle que l'énergie électrique ou mécanique, de « l'énergie thermique », dont la convertibilité est limitée.

Bien que les termes « conservation » et « rendement » paraissent avoir une signification précise, ils nécessitent quelques mots d'explication. En effet, en anglais le mot « conservation » outre son sens de « maintien en l'état » (conservation de l'énergie en *thermodynamique*) est aussi utilisé pour désigner l'ensemble des mesures adoptées en vue d'éviter le gaspillage et l'épuisement des ressources (économie d'énergie en *économique*). Dans un passé lointain, ce sont surtout les ressources renouvelables qui ont fait l'objet de ces mesures. Lorsque les Empereurs chinois des premières dynasties comprirent le rôle écologique des forêts montagnardes, ils chargèrent des inspecteurs forestiers d'empêcher le déboisement des versants dominant les cours d'eau. Ils avaient compris, non seulement que ces sols une fois déboisés ne pouvaient plus se renouveler à cause du ravinement par les pluies, mais encore que les rivières étaient aussi endommagées. De nos jours, nous possédons des connaissances plus détaillées et précises sur les interactions complexes et délicates causées par l'utilisation de ressources renouvelables particulières, telle l'eau, au sein des forêts, des sols et de la faune. De plus, d'innombrables exemples récents illustrent les brutales répercussions d'une exploitation rapide et sauvage des ressources non renouvelables, telles que les minéraux et les combustibles fossiles, sur l'air, les eaux et les sols.

Les techniques modernes nous permettent de façonner encore plus vigoureusement notre milieu ambiant. L'échelle et l'intensité sans cesse croissantes de nos interventions semblent maintenant menacer l'intégrité d'écosystèmes bien plus vastes, et même les grands équilibres naturels bio-géochimiques. Nombre d'anciennes civilisations ont disparu parce qu'elles ont ainsi abusé de la terre.

La notion d'économie (utilisation optimale) nous apparaît maintenant dans toute son ampleur. Elle n'a pas le même sens que rationnement ou accumulation avec des limites précises et définitives. Elle signifie plutôt la gestion rationnelle des ressources et de l'énergie, en vue d'assurer un approvisionnement à long terme, tout en réduisant au minimum les répercussions négatives que subiraient l'environnement et les ressources essentielles. Par conséquent, cette notion est étroitement liée

tant à l'écologie qu'à l'économique: la première concerne les interactions multiples qui se déroulent au sein des écosystèmes et entre eux, et la dernière nécessite la répartition des ressources rares.

Le professeur Harold M. Rose a proposé une définition moderne de l'économie des ressources: «L'utilisation optimale des ressources naturelles, humaines et culturelles, dans le cadre du développement national, assurant la sécurité économique et sociale maximale»¹.

Bien que le rendement semble effectivement plus simple à définir que le mot anglais « conservation », cela reste quand même difficile. Il suffit en effet de considérer le cas du dispositif de chauffage d'une maison. Son rendement est donné par la formule suivante: (Production d'énergie thermique/Apport extérieur d'énergie) x 100. Mais s'agit-il uniquement du rendement du générateur proprement dit (et même dans ce cas, faut-il prendre le potentiel thermique minimal ou maximal du combustible?), ou bien faut-il considérer la chaleur réelle répartie dans les pièces du logement, ou encore faut-il pondérer l'énergie répartie par des coefficients tenant compte de la qualité du chauffage, des gradients de température et de la fraîcheur de l'air? En ce qui concerne l'apport d'énergie, faut-il considérer les valeurs théoriques ou les valeurs pratiques pour le calcul du rendement? En outre, comment mesurer le rendement: dans la vie réelle ou par des essais contrôlés?

Si nous gardons à l'esprit notre souci d'économie des ressources, il semble que la mesure de rendement la plus utile serait celle d'un équipement production-utilisation de l'énergie. Dans la plupart des cas, ce rendement est situé entre 15 et 50 pour cent, sauf dans le cas de l'énergie hydroélectrique, pour laquelle les rendements sont considérablement plus élevés. Cependant le rendement de l'équipement production-utilisation de l'électricité de toutes origines est inférieur à 40 pour cent. En dépit de quelques tentatives hardies, la mesure du rendement des équipements énergétiques servant à la production industrielle demeure un problème difficile et complexe².

En matière d'économie, tout comme de rendement, il faut considérer les situations globalement, c'est-à-dire la totalité de l'ensemble systémique considéré, sinon l'on ne tarde pas à découvrir que des mesures apparemment rationnelles, prises dans une partie de cet ensemble, engendrent des interactions imprévues et indésirables au sein du système tout entier. Par exemple, le recyclage des matières premières, en vue de leur économie, peut conduire à une plus forte consommation totale d'énergie. Cependant, dans la plupart des cas étudiés, le recyclage permet d'accroître le rendement énergétique. Si l'on considère l'un des apports d'énergie (telle la récupération des produits à recycler) comme coût social, le rendement énergétique s'accroît encore. Pour évaluer l'efficacité réelle de mesures particulières d'économie et d'amélioration

1. Oliver S. Owen, *Natural Resource Conservation*, MacMillan, New York, 1971.

2. Annexe D, n° 5.

du rendement, il faut examiner chaque cas précis en tant qu'ensemble systémique au sein d'autres systèmes plus vastes.

La politique d'économie d'énergie

De l'avis général, nous abordons actuellement une période critique pour les filières* énergétiques actuelles. La plupart des pays industriels sont tributaires du pétrole, qui constitue leur principale source d'énergie, et cette dépendance est encore accrue par la nature des principaux moyens de production et des services (industrie pétrochimique, véhicules à moteurs à combustion interne, chauffage des locaux). Cette dépendance ne se desserrera guère, du moins pendant les prochaines décennies. Dans le monde entier, on s'arrache le pétrole, car on prévoit une augmentation des besoins; en même temps, les incertitudes politiques et techniques concernant les sources d'approvisionnement soulignent les perspectives de dislocations des économies pétrolières. L'autarcie pose ses problèmes propres, en ce sens qu'elle ne remédie pas à la mauvaise répartition mondiale et aux tensions provoquées par une telle inégalité.

De nombreuses raisons militent en faveur d'une politique canadienne de l'énergie. Une politique de ce genre ne doit pas tenir compte seulement du présent; elle doit aussi faciliter notre adaptation aux prochains événements, ou à une conjoncture possible, et même contenir un plan d'urgence en cas d'interruption soudaine des approvisionnements en énergie. Il est évident que les États-Unis, par exemple, n'avaient pas une politique de l'énergie leur permettant de faire face à une croissance de la consommation à long terme et à des crises soudaines. L'économie n'est plus une option, mais une nécessité lorsque la consommation dépasse largement la production.

Alors que, selon les estimations, les réserves canadiennes de pétrole paraissent suffire à la consommation prévue pour les douze prochaines années, l'industrie pétrolière doit résoudre des problèmes de mise en exploitation et d'acheminement. Le Québec et les Provinces maritimes dépendent tout autant du pétrole importé que les pays d'Europe occidentale. Le transport maritime du pétrole de l'Ouest canadien via le canal de Panama est long et coûteux. Bien que le grand complexe de raffinage de *Come-by-Chance* à Terre-Neuve puisse recevoir et traiter 100 000 barils de pétrole par jour, il a été financé et conçu pour traiter le pétrole du Proche-Orient destiné aux États-Unis. C'est pourquoi on peut dire que le Canada pourrait souffrir de pénuries régionales de pétrole; l'application, pendant l'hiver de 1974, d'un plan d'urgence pour l'utilisation rationnelle des approvisionnements, aurait été avantageuse. Les difficultés d'acheminement seraient partiellement surmontées par la prolongation du réseau actuel d'oléoducs jusqu'à Montréal.

De plus, l'un des aspects de la politique globale des ressources

* C'est-à-dire l'ensemble de la ressource, et des moyens d'exploitation, de transport et d'utilisation.

déborde le cadre national. Il ne fait pas de doute, même si l'on considère les prévisions les plus optimistes en matière de ressources pétrolières, que l'Occident industrialisé verra ses approvisionnements pétroliers décroître au cours des vingt à trente années qui viennent. Un programme d'économie énergétique se justifie certainement, si l'on tient compte de nos engagements internationaux pour une répartition plus équitable du développement économique. Les habitudes de gaspillage qui conduisent à épuiser les ressources naturelles non-renouvelables le plus rapidement possible ne sont plus acceptables internationalement. Le Canada, en particulier, a exposé et confirmé ses engagements pour la mise en valeur rationnelle et globale des ressources et la protection de l'environnement, à la Conférence de l'ONU sur l'environnement humain qui a eu lieu à Stockholm. La conférence du Conseil canadien des ministres des ressources naturelles et de l'environnement, qui s'est déroulée en octobre 1973, sur le thème de l'Homme et les ressources naturelles, a souligné la nécessité d'adopter un crédo de modération, tant sur le plan national qu'international.

Finalement, l'économie d'énergie entre dans le cadre des objectifs économiques nationaux, étant donné la forte croissance du prix des combustibles fossiles. Les prévisions de consommation des produits dérivés du pétrole confirment cette opinion. L'économie d'énergie revient donc à faire un placement sûr, en raison de la progression très rapide du prix des combustibles fossiles, en particulier du pétrole. Nous insistons sur l'approvisionnement pétrolier, car actuellement il devient difficile; et pourtant on prévoit qu'il constituera une part encore plus considérable des approvisionnements d'énergie primaire à l'avenir. Cette politique d'économie énergétique doit naturellement rester souple, et tenir compte de l'utilisation de sources énergétiques de remplacement.

Si l'on admet que la politique d'économie énergétique est raisonnable et souhaitable, il faudra concevoir un programme permettant d'en réduire les coûts sociaux, les injustices et le poids économique. Il ne serait pas de bonne politique d'appliquer des mesures d'économie sans s'efforcer d'en limiter les répercussions. Il faudra, dans toute la mesure du possible, analyser préliminairement le rapport coûts/efficacité de mesures d'économie particulières, dans le cadre général d'une évaluation de l'efficacité de ces mesures à court et à long termes. Mais cette analyse doit aussi tenir compte de l'aspect humain. Les chiffres globaux masquent les disparités régionales et locales. La politique d'économie doit s'appliquer à réduire ces disparités. Il s'agit d'optimiser les rendements, et non de les maximiser. Il faut reconnaître qu'il y a un prix à payer pour l'économie et le rendement, tout comme pour l'expansion et le gaspillage.

Comparaison générale coûts/avantages des mesures d'économie

Tout choix de la collectivité en matière de ressources naturelles et d'environnement entraîne des coûts et rapporte des avantages. De plus, dans

certaines circonstances, qui sont parfois connues mais souvent imprévues, le bilan coûts/avantages peut changer de signe. Les difficultés propres à une bonne analyse sont bien connues; il faut aborder le problème dans son ensemble, comprendre les interactions et répercussions lointaines, chiffrer et répartir équitablement les coûts et avantages, et choisir le cadre temporel à considérer. Ces difficultés sont compliquées par deux phénomènes sociaux étroitement liés: la propension des sphères économiques à accorder le maximum d'importance aux avantages à court terme, et le manque d'affinité de notre régime économique pour la planification. La connaissance de ces mécanismes n'apporte pas en elle-même de changement significatif. Néanmoins, l'expérience des États-Unis et de l'Europe occidentale en matière de pénurie d'énergie ne peut que souligner la nécessité d'une planification générale à long terme. Il y a des avantages mutuels à adopter cette politique, parce que des perturbations localisées ont souvent des conséquences sur le régime social et économique. La crise de l'énergie aux É.-U. a suscité précisément ces interactions et ces répercussions en chaîne. La dislocation et la perturbation de certains secteurs industriels, par exemple de certaines branches de l'industrie automobile et d'industries utilisant des dérivés du pétrole, ont affecté les industries complémentaires et auxiliaires et les secteurs des services automobiles. L'approvisionnement pétrolier insuffisant a mis 250 000 personnes sur le pavé. Il serait donc avantageux de consacrer le temps nécessaire à la mise sur pied d'une politique rationnelle et harmonisée, pour prévenir des bouleversements sociaux aussi violents. La crise énergétique aux États-Unis constitue une excellente illustration des conséquences de l'absence de politique d'utilisation rationnelle de l'énergie, ce dont leurs habitants se rendent compte à présent. En outre, l'effort d'économie lui-même s'est traduit aux É.-U. par des coûts sociaux. Les comparaisons coûts/avantages doivent être faites préalablement à toute mesure d'économie particulière. Même une mesure apparemment modique, comme l'utilisation collective des automobiles, peut avoir des répercussions sur le chiffre d'affaires de l'industrie automobile. Il faut donc que les avantages de l'utilisation collective des voitures: réduction de la consommation de carburant, de la pollution de l'air et du bruit, de la densité de la circulation, et d'environ 30 pour cent des frais variables de l'utilisation d'une voiture de modèle courant, compensent ses diséconomies.

La réduction au minimum des coûts sociaux et économiques de l'économie d'énergie nécessite une planification détaillée et étendue. Bien qu'historiquement nous ayons accepté la nécessité de nous adapter à long terme aux mutations technologiques, nous n'avons pas étudié comment un effort de planification permettrait d'en amortir le choc. Les groupes intéressés se sont en général opposés aux mesures d'économie, dont ils redoutaient les incidences pour eux-mêmes. Le cas de recyclage illustre ces réactions. Les syndicats ouvriers ont vigoureusement protesté contre le recyclage à grande échelle des bouteilles. Ils ont soutenu qu'un programme de recyclage des bouteilles, ou leur consignation obligatoire,

réduirait l'activité de l'industrie verrière, et causerait du chômage. Il semble donc que cette industrie supporterait les charges sociales et économiques de cet aspect du programme d'économie de l'énergie. Le même raisonnement a été tenu par les compagnies de transports de passagers et les entreprises de transport de marchandises à forte consommation énergétique, pour écarter l'utilisation d'autres moyens de transport plus efficaces. Il est évident que tout groupe supportant seul la charge d'un changement de méthode de production ou de service visant à économiser l'énergie protestera, en dépit des bénéfices collectifs d'une utilisation plus rationnelle de l'énergie, dont les approvisionnements diminuent pendant que les coûts croissent.

Une étude³ approfondie du recyclage des bouteilles a montré que la généralisation de leur récupération aux É.-U. permettrait, en fin de compte, de réduire des deux tiers la consommation d'énergie nécessitée par la fabrication de récipients à jeter. De plus, et c'est peut-être une conclusion inattendue de cette étude, cette mesure entraînerait la création de 186 000 nouveaux emplois! C'est donc une simplification outrancière que de soutenir que toute mesure d'économie de l'énergie entraîne automatiquement des suppressions d'emplois. Néanmoins, des difficultés se présentent, même dans le cas de la consignation obligatoire des bouteilles. Sans planification, cette mesure décidée à grande échelle, malgré ses avantages à long terme, causerait une crise financière et une réduction de l'emploi dans une branche industrielle particulière. Cependant, il est possible de l'atténuer largement en préparant cette conversion, et en utilisant les techniques sociales existantes et nouvelles, pour réaffecter, recycler et reclasser la main-d'œuvre. C'est pourquoi la politique nationale d'économie d'énergie devrait contenir un plan permettant de décharger certains groupes particuliers de la plus grande partie du fardeau d'adaptation. Si l'on élabore cette politique nationale de concert avec tous les groupes intéressés, y compris le grand public, et si on l'étaye par un vaste programme d'information, on pourra en réduire les frais au minimum et en maximiser les avantages.

Il existe déjà des institutions canadiennes permettant d'atténuer les répercussions de mesures particulières d'économie énergétique. L'assurance-chômage, le marché du travail, les programmes de recyclage, le développement économique régional et la rénovation et les services de renseignements sur l'emploi constituent une base d'action qu'il suffirait d'élargir pour lutter contre les répercussions éventuelles des mesures d'économie. La rapidité et l'efficacité du passage de l'économie de paix à l'économie de guerre, et vice-versa, montrent les possibilités d'adaptation étayée par une bonne planification et motivée par une situation exceptionnelle. Néanmoins, il faut admettre que certaines crises, telles que l'imposition brusque d'un embargo sur les matières premières, ou de grandes grèves, ont des répercussions économiques graves et qu'il n'est

3. Bruce Hannon, *Options for Energy Conservation*, Document n° 79, Center for Advanced Computation, Université de l'Illinois, Urbana, Illinois, février 1973.

pas possible d'élaborer une planification pour toutes les éventualités. L'existence de plans d'urgence peut améliorer considérablement la situation en temps de crise. Il faut accorder une attention toute particulière aux plans d'économie énergétique par accroissement des rendements, lequel permet d'améliorer le bilan coût/efficacité.

Les économistes soulignent souvent que la réduction quantitative de l'utilisation d'une ressource à un niveau donné de productivité et de rendement diminue le nombre des biens et services produits et en augmente le coût. Cependant, la réduction effective de l'énergie consommée, grâce à une amélioration du rendement permet de maintenir la quantité de biens et de services produits, et leur coût. Et on pourra même éviter toute réduction de l'emploi par un meilleur rendement des travailleurs et l'accent donné aux services complexes, plutôt qu'à la production de biens de consommation, pour contrebalancer les effets de l'économie d'énergie. Déjà, aux États-Unis, on observe le passage vers une économie à secteur tertiaire prédominant. On remarque avec surprise qu'en 1970 les industries sidérurgique et automobile étatsuniennes ne fournissaient que 2,5 pour cent de l'emploi total et que les emplois des industries grosses productrices et consommatrices d'énergie ne représentaient que 6 pour cent du total. Par contre, le secteur des services personnels occupait plus de 30 pour cent de la main-d'œuvre. Les tendances sont semblables au Canada, bien que les chiffres soient différents. En effet, le secteur tertiaire canadien emploie un pourcentage de la main-d'œuvre encore plus élevé.

L'industrie automobile nord-américaine a été sérieusement affectée par la pénurie d'énergie. Certes, des événements imprévus sont intervenus, mais des lacunes de planification et de prévision ont empiré ces répercussions. La vogue des autos moyennes (compacts) et plus petites continue à croître. Il est inévitable qu'une réduction de la consommation d'énergie, ou une augmentation de son coût, ralentisse la production automobile, et ait des répercussions en chaîne sur les industries annexes de fabrication ou sur les stations-service. Il ne suffit pas de comparer les avantages (réduction des coûts sociaux, rétention de réserves pour l'avenir) aux coûts directs (réduction ou redistribution de l'emploi), mais il faut tenir compte aussi de l'apport de méthodes s'appuyant sur une main-d'œuvre plus ample et de l'extension des activités tertiaires consommant peu d'énergie. C'est une grande souplesse qui devrait caractériser la politique rationnelle de l'énergie. Elle permettrait de réduire la consommation d'énergie lentement et progressivement, grâce à une gestion de plus en plus efficace et à des aménagements sociaux et techniques. Les changements structureux mis en œuvre amortiraient les à-coups suscités normalement par une crise. Il faudrait justifier une politique d'économie de l'énergie par l'apport d'avantages dépassant les pertes, ou tout au moins les contrebalançant. La désorganisation de l'emploi, la nécessité du recyclage et du déplacement de la main-d'œuvre touchée par la crise, devraient apparaître au public comme des coûts sociaux, à compenser au besoin par des paiements directs.

Après l'examen de certains coûts résultant d'une politique d'économie énergétique, il convient d'en examiner les avantages, dont certains apparaîtront sous forme secondaire, plutôt que directe. D'autres se manifesteront à long terme plutôt qu'à court terme, mais de toute façon dans le cadre chronologique considéré par la présente étude. Comme ces avantages sont multiples et complexes, nous ne les classerons pas par période ou par source, et nous ne chercherons pas à élucider leurs mécanismes de réalisation. Nous nous bornerons à les étudier selon leur ordre d'incidence dans les domaines suivants:

1. activité économique
2. emploi
3. environnement
4. collectivité
5. élaboration des politiques.

L'économie d'énergie vise surtout à prolonger la durée des réserves énergétiques ou à réduire la vitesse d'épuisement des ressources essentielles, dont l'approvisionnement risque d'être interrompu, quelles qu'en soient les raisons. Le temps ainsi gagné permet de procéder méthodiquement au remplacement des techniques ou des sources d'énergie, ou de mettre en œuvre de nouvelles filières énergétiques exigeant de longs délais, au cours desquels se produiraient autrement des pénuries, sources de bouleversements socio-économiques graves. Dans cette optique générale, voici quelques-uns des avantages procurés en des domaines précis:

L'activité économique

L'épargne d'énergie a de nombreux avantages économiques, telle l'augmentation de la durée des réserves de combustibles fossiles et des quantités épargnées au cours de chaque période. Il faut naturellement pondérer ces chiffres par le taux d'inflation; cependant, les hausses prévues des prix du pétrole et du gaz pour les 5 à 25 prochaines années révèlent un accroissement de leur valeur réelle. La flambée de leurs prix depuis 1973 confirme l'accroissement de valeur des réserves pétrolières. Comme l'augmentation rapide du coût de l'énergie est un facteur d'inflation, la réduction de la consommation diminue les frais d'existence du consommateur.

La réduction de la consommation d'énergie du Canada par l'économie et l'accroissement du rendement diminuera l'ampleur des investissements nécessités par la mise en valeur des ressources d'énergie des régions excentriques, ou les ajournera. Cette circonstance présenterait de multiples avantages économiques et sociaux, ainsi que d'environnement. Les Canadiens, moins dépendants des capitaux étrangers, étendraient leur mainmise sur leurs propres richesses naturelles. On a évalué cette réduction des nouveaux investissements étrangers au Canada à environ 40 milliards de \$ jusqu'en 1995 (Ford Foundation, Preliminary Report – Annexe C, n° 9). Notre étude montre qu'il est possible de réduire de 50 pour cent la croissance de la consommation énergétique d'ici l'an 2000, en accroissant l'emploi, et en ne supportant qu'un taux d'inflation de 0,2 pour cent seulement.

L'emploi

Nous ne possédons que peu de données nous permettant de juger des effets, à court ou à long terme, de l'économie d'énergie sur l'emploi au Canada. Cependant, diverses études étatsuniennes nous permettent de croire qu'une réduction de la consommation d'énergie au Canada n'affecterait probablement pas de nombreux emplois, surtout au cours des premières étapes. La proposition inverse est parfois vraie, car l'accroissement de la consommation d'énergie reflète un remplacement de la main-d'œuvre, réduisant ainsi l'emploi. C'est ce qu'on observe dans un certain nombre d'industries, où la part de l'énergie dans le coût de production est plus faible que celle de la main-d'œuvre. À la suite de ses recherches, au Centre supérieur de calcul de l'Université de l'Illinois, Bruce Hannon⁴ conclut que les nouveaux investissements dans des activités à faible consommation énergétique produiraient une augmentation importante de l'emploi, et une faible augmentation de la consommation d'énergie. Dans cette catégorie se rangent l'industrie laitière, l'hôtellerie, le remplacement partiel du transport automobile par le train et l'autobus, et les hôpitaux. Ces études détaillées sur les rapports entre investissements, consommation énergétique et emploi ont une grande valeur. Le passage à une économie de services constituerait une généralisation de cette tendance. Le recyclage, en particulier, permet à la fois d'économiser l'énergie et d'employer une main-d'œuvre importante. Marquis Seidel, économiste principal à l'Office d'économie de l'énergie et de protection de l'environnement des É.-U.⁵ a proposé d'investir 300 milliards de \$ d'ici 1985 (un tiers serait fourni par l'industrie) à l'effort d'économie d'énergie dans tous les secteurs. Il soutient que cet énorme investissement créerait des emplois, surtout au niveau local, et que ces emplois exigeraient moins de qualifications que ceux des spécialistes de la production d'énergie.

L'environnement

La production, le transport et l'utilisation de l'énergie ont des incidences sur l'environnement. On a chiffré certaines d'entre elles, alors que d'autres ne sont toujours pas évaluées. L'Office étatsunien de protection de l'environnement (E.P.A.) et le Service de la santé publique des É.-U. ont effectué des calculs de ce genre, surtout au sujet de la pollution par le dioxyde de soufre, dont les effets nuisibles sont bien connus, et constituent des dommages à l'environnement.

Notre groupe « Politique canadienne de l'énergie »⁶ fournit des critères pour l'évaluation des coûts de la protection de l'environnement, c'est-à-dire le coût de réalisation et de maintien de la qualité de l'environnement, en tenant compte de l'effort prévu de production de l'énergie et de la consommation des différents secteurs. Selon les données du

4. Bruce Hannon, «Options for Energy Conservations», *Technology Review*, février 1974.
5. Marquis R. Seidel, «*Optimistic Economics of Conservation*», *World Future Society Energy Forum*, Washington D.C., du 24 au 26 avril 1974.

6. Ministère de l'Énergie, des Mines et des Ressources, *Politique canadienne de l'énergie*, Information Canada, Ottawa, 1973.

Tableau I (p. 171, volume 2) nous devons dépenser d'ici 1983, c'est-à-dire à la fin du moyen terme: 5.5 milliards de \$ en matière de transports; 1,8 milliard de \$ en matière de production thermique d'électricité; 1,2 milliard pour les autres secteurs, soit une dépense totale de 8,5 milliards de \$, répartie sur 10 ans, pour une population moyenne de 25 millions d'habitants. En supposant qu'on puisse effectuer une économie de 10 pour cent sur notre consommation totale d'énergie d'ici 1985, nous épargnerions donc $(8,5 \times 10)/100 = 850$ millions de \$ en matière de protection de l'environnement, soit 34 dollars par Canadien jusqu'en 1985. Ce montant atteint 75\$ si l'on calcule le total des économies par secteur. Les chiffres révisés et publiés par Environnement Canada sont bien plus élevés⁷. Le coût total de la prévention de la pollution pour la seule année 1980, selon ces chiffres, s'élèvera à presque 6 milliards de \$. Aux États-Unis, on estime que le coût de la pollution de l'air par le dioxyde de soufre atteint annuellement 40\$ par personne, et que la moitié de cette pollution est causée par les centrales thermiques. Une réduction de 15 pour cent de la consommation de combustibles fossiles pour le chauffage domestique et la production thermique d'électricité permettrait d'économiser 50\$ par personne pendant la décennie (Service étatsunien de santé publique.)

Mais, plus encore que l'économie individuelle (34\$) due à la réduction de la pollution, on doit noter l'importance de l'accroissement de valeur des combustibles fossiles économisés au cours de cette décennie. Ainsi donc, l'épargne d'énergie et l'accroissement d'efficacité de son utilisation, découlant d'une meilleure gestion des ressources, procureraient des avantages secondaires importants. À long et très long termes, ces avantages permettraient des économies de plusieurs milliards de \$, lesquelles pourraient être affectées à la correction des disparités de revenus, de santé et d'éducation. Ces économies permettraient l'instauration, d'ici 1995, d'un régime de revenu garanti pour les personnes appartenant aux catégories ayant les gains les plus faibles. Nous avons souligné que les mesures d'épargne de l'énergie ne vont pas nécessairement à l'encontre de nos objectifs économiques. Néanmoins, nous devons conclure qu'il nous faut surmonter de difficiles obstacles d'ordre social plutôt que technique, pour assurer le succès des mesures que nous recommandons. La mise en œuvre d'un programme d'information, d'éducation et d'intéressement du public, permettrait de supprimer les obstacles à la mise en place effective de mesures d'économie de l'énergie.

La collectivité

Nous avons déjà examiné ci-dessus nombre des coûts sociaux des politiques d'économie de l'énergie. La plupart des incidences d'environnement ont des répercussions pour la collectivité, en particulier la mise en

7. Peter Maniate et Donald C. Carter, *Pollution Control Costs for Canada*, Direction de la politique, Environnement Canada, novembre 1973.

œuvre des ressources énergétiques des régions excentriques. Une réduction de la production d'énergie éliminerait certaines de ces répercussions défavorables, et particulièrement les coûts sociaux imposés aux Amérindiens, déjà opposés juridiquement et moralement à la dégradation de leur cadre de vie. Comme nous l'avons mentionné dans le paragraphe concernant l'environnement, les montants d'argent épargnés permettraient d'investir dans des projets utiles sur le plan social, tels que la réduction des inégalités, l'amélioration du logement, de la santé et de la qualité de la vie.

À ces avantages sur le plan national, ajoutons ceux du relâchement des tensions internationales grâce à un programme d'épargne de l'énergie ralentissant la consommation des ressources importantes. Ainsi aurions-nous la possibilité de procéder à leur répartition plus équitable sur le plan mondial.

L'élaboration des politiques

C'est peut-être le domaine où le programme d'économie d'énergie aurait les effets les plus avantageux. Le facteur « temps » détermine la validité des stratégies technologiques. L'accroissement des approvisionnements pour une consommation déterminée ouvre l'éventail des options énergétiques et leur donne de la souplesse. Les économies d'énergie réalisées et l'amélioration du rendement permettent d'allonger les délais consacrés à la mise en œuvre des filières de remplacement, et aux adaptations indispensables.

Ainsi avons-nous tenté de justifier l'économie d'énergie en fonction des objectifs et des besoins tant canadiens qu'internationaux. La crise historique des approvisionnements pétroliers du Proche-Orient étaye notre thèse de la nécessité d'une politique d'économie d'énergie. Mais elle ne constitue pas notre principal argument. Nous préconisons pour notre époque la mise en œuvre d'une seule forme de politique d'économie énergétique: la réduction des besoins d'énergie grâce à l'amélioration du rendement; il n'en résulterait pas de diminution de la consommation effective, et par conséquent aucun ralentissement économique. Si nous revenons à notre équation de rendement, il nous faut l'exprimer ainsi: $CONSOMMATION = PRODUCTION + PERTES$. Si l'on réduit les pertes par l'accroissement du rendement, on peut atteindre un niveau de production déterminé à l'aide d'une consommation moindre. Nous qualifierons ce scénario de « palliatif technique », traduisant l'expression « technical fix » employée dans l'étude de la Fondation Ford (Annexe D, n° 9).

II. Méthodologie des mesures d'économie d'énergie et d'accroissement du rendement

Il y a tout d'abord lieu de noter que les délais et les ressources dont nous disposons ne nous ont pas permis d'effectuer une étude toute nouvelle des économies procurées par des mesures sociales ou techniques. Nous avons emprunté ces données à des études déjà réalisées, surtout aux États-Unis, mais aussi au Canada; de plus, nous nous sommes inspirés de l'expérience des États-Unis au cours de l'embargo pétrolier au Proche-Orient. Notre principale source d'information a été constituée par plusieurs études globales bien documentées, mais coûteuses, portant sur l'économie d'énergie et l'efficacité de son utilisation aux É.-U. Toutefois, nous avons fait des recoupements en comparant certaines de ces économies d'énergie avec les résultats de nombreuses études indépendantes en ce domaine. Ces comparaisons ont porté particulièrement sur le secteur des transports et au sujet du rafraîchissement de l'air et du chauffage des logements et des locaux commerciaux, à propos desquels plusieurs études approfondies ont été publiées. Ce n'est qu'à propos de ces deux dernières activités qu'il a été possible de chiffrer les économies, et d'en donner le détail.

L'étude de la Fondation Ford intitulée *Exploring Energy Choices* n'était pas encore publiée lors de la rédaction de la présente étude, et seule une version préliminaire (Annexe D, n° 9) était disponible. Toutefois, l'élaboration de scénarios décrivant les diverses options énergétiques est attrayante, et elle écarte certaines difficultés théoriques soulevées par l'utilisation de « prévisions normalisées » comme dans l'ouvrage: Politique canadienne de l'énergie, du ministère de l'Énergie, des Mines et des Ressources. Le genre de prévision utilisée dans un scénario ne constitue en fait qu'une estimation subjective de la consommation d'énergie; le terme plus précis de « projection » désigne un prolongement dans l'avenir des courbes antérieures. En conséquence, un scénario de « projection de la croissance » est une projection dans l'avenir des courbes de croissance de la consommation passée d'énergie. Il est vrai qu'on a choisi certaines hypothèses risquées pour étayer les prévisions faible, élevée et normalisée du ministère de l'Énergie, des Mines et des Ressources. La critique approfondie de ces hypothèses ouvrirait largement l'éventail des prévisions chiffrées. Pour éviter ces complications, nous utiliserons la courbe de croissance normalisée, en la qualifiant de scénario de « projection de la croissance ». Nous supposons également qu'elle représente la croissance prévue en l'absence d'économies énergétiques.

Le scénario de « projection de la croissance » extrapole la croissance de la consommation énergétique des 25 dernières années. La consommation canadienne d'énergie primaire s'est accrue au taux annuel composé de 4,4 pour cent entre 1950 et 1970. La projection d'une consommation restreinte par des mesures d'économie de l'énergie et d'amélioration du rendement est le scénario du « palliatif technique » exposé dans la présente étude. Le rapport préliminaire de la Fondation Ford décrit une troisième option générale: le scénario de la « croissance nulle de la consommation énergétique »; ce dernier n'a pas été retenu,

car il n'entre pas dans le cadre de la présente étude. Chacun de ces scénarios, ou options énergétiques, exige la mise en œuvre de ses propres filières énergétiques et des stratégies techniques nécessaires à sa réalisation. Diverses panoplies énergétiques permettraient la réalisation des objectifs particuliers de chacun de ces scénarios. Nous pouvons ainsi décrire et analyser les avantages et les inconvénients de chacun d'eux :

Le scénario du « palliatif technique », par exemple, envisage une croissance géométrique de la consommation, dont la raison serait la moitié de celle du scénario de « projection de la croissance » ; cette raison mathématique peut s'accompagner d'une expansion forte ou faible de la filière électronucléaire, associée à différentes panoplies énergétiques. Les études de la Fondation Ford et de la société Rand (Annexe D, n° 7) montrent que le scénario du « palliatif technique » peut procurer de grandes économies d'énergie sans réduire sérieusement la consommation effective, et donc sans réduire l'activité industrielle, ni perturber sérieusement la collectivité. En outre, le scénario du « palliatif technique » offre certains avantages pour la collectivité et l'environnement. En résumé, les scénarios précisent les options. Celles-ci déterminent diverses stratégies qui peuvent être évaluées grâce aux critères d'efficacité sociale, économique et d'ambiance.

Les divers aspects méthodologiques envisagés proviennent également des études déjà réalisées. Nous avons emprunté ainsi l'idée d'examiner l'utilisation de l'énergie secteur par secteur, de choisir les mesures d'accroissement du rendement et d'économie les plus payantes au sein d'un secteur, et d'analyser les économies cumulées par période chronologique (à court, moyen et long termes). Il a fallu modifier ces horizons chronologiques, tracés à partir d'études déjà anciennes, lesquelles supposaient que les mesures proposées avaient déjà été mises en œuvre il y a un ou deux ans. Nous avons donc adopté les périodes suivantes :

| | |
|-------------|-------------|
| Court terme | 1975 – 1980 |
| Terme moyen | 1980 – 1985 |
| Long terme | 1985 – 1995 |

Notre choix de ces horizons chronologiques découle tant des méthodes classiques de la prévision économique que de celles employées lors d'études similaires sur l'économie d'énergie. La division traditionnelle utilisée par les décideurs de politique économique sont le court, le long et le très long termes. Le cadre chronologique global est choisi pour accommoder la durée prise en considération. On désigne par « court terme » la période au cours de laquelle les mesures considérées peuvent porter sur une panoplie existante, et en grande partie stable, de ressources matérielles et sociales, telles que les techniques, le savoir-faire, les attitudes et les comportements sociaux actuels. Le « long terme » doit permettre la mise en œuvre de techniques connues, qui sont toutes à un certain stade de développement se trouvant entre celui de la R & D et celui de l'application commerciale. Le très long terme doit permettre de transformer les simples possibilités techniques en innovations très originales, n'appartenant peut-être actuellement qu'au domaine de l'ima-

gination et de la créativité rationnelles. L'ensemble de ces termes trace alors le cadre chronologique de l'avenir considéré, jusqu'au très long terme. Il faut souligner qu'on tient surtout compte des caractéristiques matérielles, techniques et sociales des périodes considérées. Chaque période commence par la présence d'un ensemble de facteurs physiques et sociaux, et s'achève par des innovations dans ces deux domaines. Il devrait donc être possible d'éliminer en fin de période les gaspillages d'énergie par des mesures particulières s'étayant sur les décisions prises au début de la période considérée.

Comme il a été indiqué, nous avons choisi un compromis entre la méthodologie des horizons chronologiques utilisée en économie et celle qui a prévalu en matière d'économie de l'énergie et d'accroissement du rendement. En conséquence, les périodes que nous considérons: court, moyen et long termes, concordent avec les deux premiers horizons chronologiques de l'économie, en éliminant le très long terme. La période totale considérée englobe les vingt prochaines années, c'est-à-dire jusqu'en 1995. Au cours de toutes les périodes se produiront des progrès techniques et sociaux permettant l'application rationnelle et méthodique de mesures d'économie d'énergie et d'accroissement du rendement, qui réduiront les gaspillages.

Le court terme embrasse la période de mise en œuvre des mesures d'amélioration des politiques, des réglementations, des méthodes, de la gestion, etc., sans qu'il soit nécessaire d'apporter de modifications fondamentales aux conditions techniques et sociales. On peut donc y procéder immédiatement, ou après un court délai initial. Le programme de mesures à court terme ne donnera pas de résultats uniformes, et les économies d'énergie ne seront réalisées partout qu'au bout d'un certain temps. Chaque mesure à court terme sera appliquée selon son propre échéancier. Ce programme entraînera plus ou moins rapidement des modifications matérielles ou sociales, lesquelles seront plus ou moins complètes. Toutefois, nous ne pouvons chiffrer avec précision leur répartition chronologique, et nous emploierons des valeurs moyennes de l'agrégat de leurs effets.

Les mesures prises au cours du moyen terme, pour combattre le gaspillage d'énergie, nécessitent des délais de mise en œuvre plus longs que les mesures à court terme. En général, elles exigent certaines modifications matérielles et sociales d'ampleur limitée, et quelque intensification des mesures prises à court terme. Finalement, le long terme est nécessaire à la mise en œuvre des mesures, tant matérielles que sociales, qui exigent une longue durée pour leur élaboration et leur application, bien qu'elles soient basées sur des techniques et des approches connues.

Dans les faits, on ne peut tracer de démarcation très nette entre les cadres chronologiques des actions différentes. Les attitudes futures ont déjà pris forme actuellement. Certains progrès matériels et techniques non réalisés sont cependant possibles dès maintenant, et pourraient être mis en œuvre même à court terme, et à plus forte raison ultérieurement, en fonction du niveau de développement. Cependant, la plupart

des modifications exigent des délais, comme nous l'avons déjà mentionné.

Dans le cadre de notre méthodologie, nous supposons qu'au pourcentage d'économies réalisé au cours de chaque période s'additionne le pourcentage d'économies réalisés au cours des périodes subséquentes, sous réserve qu'il s'agisse d'un pourcentage similaire de l'équipement. Ainsi donc, les économies réalisées lors du court terme peuvent se poursuivre au cours du moyen et du long termes, et son pourcentage peut s'ajouter à celui d'autres économies réalisées grâce aux mesures particulières à chacune de ces périodes. On peut critiquer cette hypothèse à bien des égards, mais elle a néanmoins été utilisée par toutes les autres études importantes sur l'économie d'énergie et l'accroissement de rendement. Un exemple de malentendu concerne la méthode particulière d'accroissement du rendement à court terme des équipements ou des produits de cette période, car elle aurait beaucoup moins d'effets sur les futurs équipements ou produits auxquels des améliorations cruciales auraient été apportées. C'est la simple expression du principe des rendements décroissants ou des effets cumulatifs. En fin de compte, les moyens les plus efficaces de lutte contre le gaspillage évincent les moyens antérieurs, moins efficaces. Les premiers pourraient très bien accroître l'efficacité moyenne. C'est pourquoi l'on peut soutenir que le programme de mesures accompagnées d'un changement des attitudes et des comportements aura en fin de compte plus d'efficacité et permettra des économies plus étendues. Certaines des mesures que nous proposons dans le présent rapport associent les changements facultatifs et obligatoires. Il est difficile d'apprécier l'évolution de l'efficacité de ces mesures au cours du temps. D'autres mesures n'exigeront aucun changement radical des équipements, même à long terme, et, en conséquence, le changement des attitudes aura de plus en plus d'effet. Nombre des mesures que nous proposons sont permanentes, et ne nécessitent aucun délai précis de mise en œuvre. Il s'agit de techniques connues, de savoir-faire acquis et d'attitudes favorables déjà esquissées.

Nous pouvons distinguer, en général, les mesures qui dépendent directement des perceptions de l'utilisateur d'énergie, de celles qui s'étaient sur des modèles et des dispositifs complètement nouveaux. On peut, par exemple, distinguer la limitation des vitesses routières ou le bon entretien des voitures, etc., du dessin de nouveaux modèles d'automobiles, ou de l'accroissement du rendement de leur moteur, ou même du plafonnement de leur vitesse par le constructeur. Le premier groupe de mesures sera vraisemblablement adopté peu à peu par une partie de plus en plus importante de la population. Le second groupe (en essence des changements obligatoires) consiste dans la mise en œuvre de dispositifs efficaces qui tendront à supplanter les mesures s'appuyant sur l'acquiescement de l'utilisateur.

Pour les raisons ci-dessus, il serait extrêmement difficile, et hors du cadre de la présente étude, d'évaluer l'efficacité variable de chaque mesure en fonction du temps. Comme les auteurs d'autres études, nous supposons qu'en général les pourcentages d'économie réalisées au cours

des périodes successives peuvent s'additionner, et, comme nous l'avons déjà exposé, que les gains et pertes d'efficacité s'équilibrent. On ne peut guère s'inscrire en faux contre cette hypothèse, car les économies que nous avons calculées sont considérablement plus faibles que celles prévues par d'autres études importantes.

Comme nous l'avons laissé entendre, certaines mesures conviennent aux court et moyen termes, car elles sont bien connues et disponibles après quelque R & D, alors que d'autres nécessitent de longs délais pour leur élaboration et leur mise en œuvre. Toutes les mesures à prendre au cours des diverses périodes sont bien précisées; cependant, si elles semblent toutes théoriquement valables, on ne peut les appliquer avec une efficacité uniforme, à cause de diverses raisons économiques, culturelles, etc. Toutefois, nous ne nous attarderons pas à l'étude détaillée des obstacles posés par chaque mesure, ou de son bilan coûts/efficacité.

Le recours à des études étatsuniennes pour notre analyse quantitative soulève deux problèmes. Le premier provient de la différente répartition sectorielle de la consommation d'énergie au Canada et aux É.-U. Même si les pourcentages d'économies énergétiques réalisées dans chaque secteur sont semblables, leurs totaux diffèrent. Il faut donc pondérer les pourcentages en fonction de la répartition de la production et de la consommation d'énergie au Canada. Le second découle des différences de répartition de la consommation d'énergie au sein d'un secteur particulier, comme celui des transports ou celui des logements et des locaux commerciaux, selon qu'il s'agit du Canada ou des É.-U. Il faut donc pondérer les pourcentages en conséquence de ces différences de répartitions internes.

En dépit des précautions prises, il n'en reste pas moins que les estimations se fondent sur des hypothèses plus ou moins arbitraires, et des informations limitées. On peut s'interroger sur la validité des chiffres obtenus, sans pouvoir ébranler les conclusions principales. L'utilisation d'hypothèses plus détaillées et plus rigoureuses, et de données plus nombreuses, permettrait d'améliorer la qualité et la précision des estimations. Cependant, ce n'est pas la précision des chiffres, mais l'ordre de grandeur des prévisions, qui montre la possibilité de réduire notablement la consommation d'énergie sans que les objectifs sociaux et économiques du Canada ne s'en ressentent trop. Il faut ajouter que nous n'avons pas chiffré l'incidence de toutes les mesures proposées, en l'absence de critères précis pour évaluer l'efficacité de l'effort d'économie (p. 34), et de données sûres.

Nous avons généralement étudié l'économie d'énergie par la voie de l'amélioration du rendement plutôt que par celle d'une régulation de la consommation, et nous n'avons guère pris en considération des mesures d'économie pure produisant d'intéressants résultats, comme l'accroissement de la vie utile des objets et le recyclage à grande échelle.

Aucune autre étude n'a vraiment cherché à déterminer le rythme et les modalités de mise en œuvre des mesures particulières. On présume, dans presque tous les cas, que certaines économies seront cumulatives,

et qu'elles seront automatiquement réalisées à la dernière année de la période considérée. Pourtant, certaines mesures sont applicables immédiatement, alors que d'autres exigent des délais plus ou moins longs. Ainsi, l'imposition d'une limite maximale de vitesse routière de 90 km/h (55 m/h) permettrait-elle des économies. La plupart des études calculent ces dernières en fonction d'hypothèses maximale et minimale. Celles que nous avons consultées additionnent les économies réalisées, les reportent à la dernière année de la période étudiée, et extrapolent cette courbe exponentielle jusqu'à la fin de la période suivante. L'opération est recommencée, et ainsi de suite jusqu'à l'an 2000.

La méthodologie que nous avons adoptée diffère de celle que nous venons de décrire sur deux points. Le premier, et le moins important, est l'utilisation de la moyenne arithmétique des économies maximale et minimale envisagées par les autres études. Dans la mesure du possible, nous retiendrons les valeurs trouvées indépendamment par différentes études. En cas de désaccord, nous essaierons de les établir nous-mêmes. Nous utiliserons ensuite le total des économies réalisées à la fin du long terme pour le calcul de la projection normalisée de la consommation d'énergie (ministère de l'Énergie, des Mines et des Ressources, Politique canadienne de l'énergie – 1^{ère} Phase 1973, p. 24, diagramme 2) et nous tracerons la nouvelle courbe exponentielle de la consommation pour le cadre chronologique considéré.

Le second point, et le plus important, est l'effort fait pour prévoir de façon plausible et réaliste le rythme et les modalités de la mise en œuvre des mesures d'économie énergétique pour chaque période considérée. Ces caractéristiques découlent d'hypothèses (deux en général) qui seront précisées pour chacun des secteurs à l'étude. Tout d'abord, on prend pour acquis que les modifications à court et à moyen termes apportées aux équipements industriels, domiciliaires et commerciaux ou aux centrales thermiques différeront selon l'âge de ces matériels. Ensuite, on estime que ces modifications ne s'appliqueront qu'à une proportion raisonnable de ceux-ci. Ainsi la rapidité de mise en œuvre des modifications variera-t-elle en fonction de la croissance de ces ensembles de matériels et de techniques de production. Dans quelques cas des périodes considérées, certaines mesures s'appliqueront à des matériels anciens: par exemple, l'isolation thermique des maisons existantes, ou l'équipement des autos usagées avec des pneus radiaux. Nous avons élaboré le modèle mathématique de cette mise en œuvre; il permettra de préciser le mode d'économie et son ampleur possible. Nous examinerons soigneusement, dans tous les cas, les hypothèses, la méthode employée et les économies réalisées. Cet effort méthodologique étaye les mesures d'économie et d'accroissement du rendement que nous recommandons, et remédie à la simplification excessive des hypothèses sur les modes d'économie et son envergure. C'est là que nous avons besoin de données précises concernant la situation au Canada. Cependant, comme les économies que nous avons calculées selon la méthode choisie sont souvent équivalentes ou un peu inférieures à celles indiquées par plusieurs autres

études, la valeur complémentaire d'une méthode tenant compte des modalités d'application paraît douteuse.

Nous considérerons pour notre analyse les secteurs énergétiques habituellement considérés par les statisticiens :

- 1° Transports
- 2° Logements et commerces
- 3° Compagnies d'électricité
- 4° Industrie

Il faut noter qu'on ne tient pas compte des centrales thermiques dans le calcul des économies du secteur des compagnies d'électricité, parce que les économies de ces centrales sont incluses dans celles d'autres secteurs, surtout ceux des logements et commerces, et de l'industrie, en général sous forme d'utilisation de la chaleur dissipée. Les autres économies du secteur des compagnies d'électricité sont surtout procurées par l'étalement de la consommation, la modification des barèmes et la réduction de la consommation: elles sont donc reliées à la fourniture d'électricité.

En résumé, tout en abordant certaines mesures d'économie proprement dites, c'est-à-dire la réduction de la consommation énergétique, nous traiterons surtout de l'économie obtenue grâce à l'accroissement du rendement des équipements de production et de consommation. Nous examinerons en passant certaines mesures de régulation de la consommation. Plusieurs autres mesures d'économie paraissent avoir une importance relative, et elles seront traitées séparément vers la fin de la présente étude.

Modalités d'application des mesures d'économie énergétique

Nous nous sommes efforcés d'analyser les rapports entre les modalités d'application des diverses mesures d'économie étudiées aux pages 34-37 et le taux de croissance prévu pour chacun des quatre secteurs concernés. La principale mesure d'économie concerne les matériels récents, mais certaines mesures peuvent s'appliquer à des matériels anciens. Par exemple, si on examine le genre de mesures applicables au secteur des logements et commerces, on s'aperçoit qu'elles peuvent s'appliquer aux installations modernes comme aux anciennes et ce, pour toutes les périodes considérées. D'autre part, les mesures applicables à long terme dans le secteur des transports s'appuient sur des nouveautés techniques qui ne sont pas encore commercialisées, et elles ne peuvent donc s'appliquer aux périodes précédant cette commercialisation.

Nous avons étudié chaque cas selon ses mérites, et nos conclusions s'appuient sur la synthèse des considérations d'études indépendantes. Ces études permettent d'évaluer les proportions des matériels anciens et récents auxquels s'appliquent ces mesures, ainsi que le pourcentage moyen d'économie. En multipliant ce pourcentage par celui des matériels concernés, nous obtenons le pourcentage d'économie énergétique par secteur. Cette méthode offre l'avantage d'établir un rapport entre la

rapidité de mise en œuvre des mesures, l'amélioration du rendement énergétique grâce à des mesures déterminées, et les économies effectives de chaque secteur lors de l'année achevant chacune des trois périodes. Le tableau n° 1, Annexe C, résume cette analyse; les tableaux n°s 2, 3 et 4 fournissent les indices sectoriels de consommation et de croissance, lesquels sont tirés pour la plupart du rapport « Politique canadienne de l'énergie ».

En somme, la méthode que nous avons choisie permet d'élaborer la stratégie globale qui avait été négligée par toutes les autres études. Le parallélisme des résultats de notre analyse et de ceux des autres études confirme la valeur de notre méthode. Par exemple, l'évaluation indépendante de C.H. West, de l'Ontario Hydro (Annexe D, n° 8) montre que les méthodes actuelles d'économie permettraient de réduire la consommation d'énergie de 25 pour 100 en l'an 2000. L'analyse détaillée par secteur et par période se trouve citée à l'Annexe D. Le tableau n° 5 de l'Annexe C précise les consommations par secteur et par période qui découleraient de ces mesures d'économie. Pour 1995, par exemple, celle-ci atteindrait 604,8 gigathermies ($2,40 \times 10^{15}$ Btu) et la prévision normalisée de consommation passe de 4 082 Gth à 3 477 Gth.

On suppose que le pourcentage d'économie est proportionnel à l'intervalle chronologique considéré. Le tracé valide d'une courbe exponentielle entre deux niveaux de consommation (ce qui est la base de cette méthode) correspond de près à une mise en œuvre linéaire des mesures d'économie. Pour calculer l'économie totale par période et par secteur, nous avons choisi la valeur moyenne d'accroissement du rendement, tirée des études indépendantes (Annexe D), correspondant à chaque mesure d'économie dans un secteur donné. Nous l'avons ensuite pondérée en fonction des équipements concernés. Dans certains cas, la mesure considérée s'applique à tout un secteur, branche ou activité; par exemple, nous avons calculé séparément l'accroissement du rendement thermique des installations de rafraîchissement de l'air et de chauffage domiciliaires. Mais il arrive que la situation soit plus compliquée. Par exemple, l'accroissement du rendement des automobiles ne porte que sur l'énergie consommée par ces dernières à l'intérieur du secteur des transports. Nous avons ainsi fait le produit du pourcentage du parc automobile concerné par le pourcentage d'augmentation du rendement et par le pourcentage de la consommation d'énergie des automobiles au sein du secteur des transports. Par exemple, si l'emploi de pneus radiaux permet d'économiser en moyenne 75 pour cent de la consommation d'essence, que les automobiles utilisent 75 pour cent de l'énergie nécessaire au secteur des transports, et que 50 pour cent des automobiles sont équipées de ces pneus, l'économie réalisée sera de $0,075 \times 0,75 \times 0,50 = 0,028$, c'est-à-dire 2,8 pour cent. Nous additionnons ensuite ces économies partielles pour obtenir l'économie totale du secteur pour chaque période. Ces données sont totalisées au tableau n° 1. Maintenant,

nous allons préciser ce qu'il faut entendre par « équipement » ou « matériel ».

Cette expression ne désigne pas toujours le nombre d'automobiles, d'appareils électriques, de logements, etc., mais plutôt l'énergie consommée par chacun des quatre secteurs. Les termes « équipements anciens » et « équipements récents » révèlent donc l'augmentation de la consommation d'énergie dans un secteur donné pour une période donnée, et la consommation d'énergie du secteur au début de la période. Cette distinction est illustrée au tableau n° 4, qui indique 100 pour cent comme chiffre correspondant à l'équipement ancien de l'année de base, soit 1975.

Nous avons déjà donné partiellement la raison d'une telle méthode dans la section concernant la méthodologie: il faut montrer le parallélisme entre les paramètres de croissance d'un secteur et la mise en œuvre des mesures d'économie. La trop grande diversité des matériels considérés nécessite l'utilisation du chiffre de la consommation énergétique. Le secteur domiciliaire, par exemple, englobe des maisons unifamiliales, plurifamiliales, des tours à usage domiciliaire, etc. Celui des transports comprend des automobiles, des autobus, des camions, des trains, des avions, etc. Certaines mesures d'économie peuvent ne s'appliquer qu'aux automobiles, tandis que d'autres touchent des modes de transport particuliers, en prévoyant par exemple la prise en charge du fret par le mode de transport le plus efficace (ceci concerne les lignes aériennes, le rail et le camionnage).

Si nous disons qu'à la fin de la période courte, 50 pour cent des matériels récents et 10 pour cent des matériels anciens sont touchés par les mesures d'économie, cela signifie que celles-ci s'appliquent à 50 pour cent de l'accroissement de consommation énergétique jusqu'en 1980 et à 10 pour cent de la consommation d'énergie de 1975. Dans le domaine de l'automobile, par exemple, les matériels récents représenteront les voitures construites entre 1975 et 1980 et les matériels anciens englobent la totalité du parc automobile de 1975. Nous avons calculé les économies sectorielles séparément, en tenant compte des mesures particulières appliquées à un pourcentage donné du matériel d'une branche ou d'un secteur déterminé. L'addition des économies partielles donne l'économie totale effectuée dans le secteur concerné.

Certaines mesures ne peuvent s'appliquer qu'à des matériels entièrement neufs: On peut réduire la consommation moyenne d'essence par l'amélioration du rendement des moteurs des nouvelles automobiles. Mais l'usage des pneus radiaux peut s'étendre à une grande partie du parc automobile, aussi bien aux vieilles voitures qu'aux nouvelles. La prise en charge du transport des marchandises par un mode de transport peut intéresser une partie du parc de véhicules tant anciens que nouveaux. Chaque mesure d'accroissement du rendement doit donc s'appliquer à une branche donnée et, à l'intérieur de celle-ci, à un matériel déterminé. On calcule ainsi l'économie d'énergie en pourcentage de la

consommation énergétique du secteur, et on l'applique à la dernière année de chacune des périodes considérées.

Nous avons illustré notre méthode par trois exemples décrits dans l'Annexe B: transports, logement et industrie; cependant les taux de rendement de ce dernier secteur sont donnés très approximativement, et selon l'opinion générale.

Le domaine des transports, notons-le, est exceptionnel, à cause de la complexité de ses branches, soit les divers modes de transport, dont les fonctions sont multiples; de plus, la répartition de leurs activités varie selon les périodes. Les techniques d'accroissement du rendement d'un mode de transport donné ne sont pas nécessairement valables pour un autre. En outre, certaines mesures d'économie nécessitent des réaffectations, par exemple la prise en charge du transport des automobilistes par le réseau de transport en commun, ou celle du transport des marchandises par un mode de transport de rendement supérieur au précédent. La mise en œuvre de mesures de restrictions ou d'interdiction de l'usage d'automobiles particulières pour le transport urbain ou interurbain soulève des problèmes complexes. C'est pourquoi il faut aborder le secteur des transports avec des méthodes spéciales. Alors que dans les autres secteurs, on applique les mesures à des proportions fixes des matériels anciens et nouveaux, dans celui des transports, chaque mesure ne s'applique qu'à une catégorie particulière de matériels utilisés par un ou plusieurs modes. L'addition de toutes les économies permises par chaque mesure permet de calculer l'économie globale du secteur. Nous procédons partiellement selon cette méthode pour évaluer les économies énergétiques du secteur domiciliaire et commercial, bien que les proportions de matériels anciens et nouveaux soient fixées. Il faut noter que la proportion de matériels anciens est tout à fait différente dans les cas des moyen et long termes. Notons que notre méthode détaillée fournit des taux d'économies correspondant de très près aux chiffres concordants fournis par plusieurs études indépendantes. Par exemple, au moins quatre de ces études prévoient qu'il sera possible de réaliser 20 pour cent d'économie dans le secteur des transports vers 1985. Une de ces études est détaillée, mais elle ne tient pas compte de la répartition des mesures d'économie selon les périodes.

Précisons, pour conclure, que les données du tableau n° 1 de l'Annexe C ont été calculées selon les méthodes exposées plus haut, sauf pour celles qui concernent le secteur des transports, où les calculs ont été effectués pour les matériels particuliers de chaque branche, à chaque période, car les répartitions ne sont pas uniformes. Bien que nous ayons signalé que le terme « matériels » ne représente pas nécessairement un certain nombre d'unités, et qu'il peut désigner la consommation d'énergie, dans bien des cas, il existe un rapport entre les deux. Par exemple, il y a évidemment un rapport entre le nombre de camions et d'automobiles, et la consommation de carburant. La méthode employée à l'avantage d'associer dans tous les cas le rythme de mise en œuvre des mesures d'économie avec la croissance de la consommation du secteur.

Les calculs sont compliqués par le remplacement progressif des vieilles autos par des neuves, la démolition et la reconstruction des bâtiments, etc. Pour tenir compte de ce facteur, nous avons augmenté la proportion de matériels récents concernés par les mesures d'économie, à mesure que nous passons du court au long terme.

Techniques de mise en œuvre et critères d'évaluation de l'efficacité des mesures d'économie

Notons, tout d'abord, que les diverses mesures d'économie recommandées dans la présente étude nécessitent des techniques de mise en œuvre très diverses. On a débattu les mérites respectifs des mesures persuasives ou impératives, des moyens d'incitation ou de dissuasion, et de la répartition autoritaire avec régulation des prix ou de la répartition « naturelle » (par les mécanismes du marché libre). Mais on se rend compte que chaque genre de mesure a son domaine d'utilité propre. L'efficacité des techniques varie selon le cas, et il est bien difficile de la prévoir. Nous ne proposons aucune technique comme étant la seule ou la meilleure, mais plutôt à titre expérimental, et sous réserve de modification ou de remplacement. Il faut reconnaître que chacune offre certains avantages, et apporte certains inconvénients. Les restrictions par persuasion sont limitées par la compréhension et la bonne volonté des gens. La limitation de la vitesse automobile et la fermeture des postes d'essence le dimanche, aux États-Unis, ont souligné les limitations propres aux restrictions obligatoires: le rationnement de l'essence ne fait pas de distinction entre les besoins essentiels et les besoins superflus des consommateurs; d'autre part, la hausse des prix pénalise surtout les catégories de citoyens à revenus fixes ou modestes. Certains économistes ont soutenu que la hausse du prix de l'énergie n'aura pas cet effet, car la consommation d'énergie est fonction du revenu. En général, si nous préconisons une technique particulière, c'est dans un esprit dépourvu de préjugés. Il faudra bien entendu en confirmer la valeur par l'application pratique, quoique l'expérience des États-Unis soit probante dans certains cas. Soulignons un point d'une importance primordiale: sans une participation générale de la population, étayée par des programmes d'information, bien des mesures d'économie énergétique n'auraient guère de succès. Il est très souhaitable de consulter tous les groupes pouvant être affectés spécialement par certaines mesures.

Nous pouvons classer les techniques de mise en œuvre des mesures d'économie en trois grandes catégories: 1) techniques de persuasion, 2) techniques financières (prix et marché), 3) techniques de prohibition ou de réglementation, telles les restrictions du temps d'utilisation d'un engin ou de la quantité de carburant utilisable, la promulgation de normes, etc. Il s'agit de trouver, pour chaque mesure, une technique de mise en œuvre appropriée, parfois même plusieurs. Il est possible d'énoncer certains principes généraux concernant les mesures

d'économie énergétique et les coûts sociaux qu'elles entraînent, quand elles nécessitent une nouvelle répartition des biens et des services, ou quand elles en modifient la nature. C'est pourquoi des mesures adéquates devraient avoir les caractéristiques suivantes :

1° L'économie d'énergie ne doit pas entraîner nécessairement une réduction de la quantité des biens et services disponibles. Les mesures auront donc une grande efficacité économique.

2° Il ne doit pas en résulter de changement important dans la nature ou les proportions des biens et services produits.

3° Le coût de la mise en œuvre des mesures d'accroissement du rendement doit être inférieur à la valeur des économies réalisées.

4° L'énergie nécessitée par l'application des mesures doit être nettement inférieure à l'énergie économisée (rendement net accru).

5° On devra soumettre à l'essai les techniques de mise en œuvre des mesures d'économie énergétique.

6° Il faudra mettre en place des mécanismes sociaux permettant de réduire les coûts sociaux au minimum, et d'éviter qu'ils ne soient supportés que par des minorités, dans le cas où il serait impossible d'éviter une réaffectation de la main-d'œuvre et des investissements.

Diverses études portant sur les rapports entre approvisionnement et consommation d'énergie analysent l'influence des prix sur la consommation et l'effort des fournisseurs d'énergie. Les plus complètes de ces études sont la *MIT Study*,¹ la *Rand Study* (Annexe D, n° 7), la *SRI Study*² et la *Ford Foundation Study* (Annexe D, n° 9). Il faut noter que ces études sont en désaccord au sujet de la validité des mécanismes du marché pour réduire la consommation d'énergie. L'étude du S.R.I. indique clairement que la consommation d'électricité, par exemple, dépend assez peu de son prix. Elles s'accordent à tout le moins pour dire qu'on ne peut aboutir, par le simple mécanisme des prix, à la réduction de consommation exigée par les conditions d'approvisionnement. Certaines de ces études considèrent quand même que les prix sont le principal facteur permettant de réduire certaines consommations énergétiques. Notons que l'étude du M.I.T. conclut que la réduction de la consommation d'énergie par des mesures d'économie (principalement grâce à l'amélioration du rendement) devrait atteindre 16 pour cent à l'horizon 1980.

Presque toutes les études reconnaissent que les mesures d'amélioration du rendement énergétique réduiraient effectivement la consommation. C'est pourquoi la présente étude ne recommande pas l'utilisation exclusive du mécanisme des prix et des barèmes pour réduire la consommation, mais reconnaît quand même l'importance primordiale de ce mécanisme dans une politique de régulation de la consommation

1. Policy Study Group of the MIT Energy Laboratory, *Energy Self-Sufficiency: An Economic Evaluation*, 1974.

2. Stanford Research Institute Study for the Utility Industries of California, 1973, cité dans M. Fitzgerald «Has State Government Done Its Part?» *California Journal*, juin 1973.

énergétique. Cependant, nous croyons que la hausse des prix, si elle réduit la consommation, crée de grandes injustices sociales et entraîne de graves répercussions économiques. Au cours de la récente pénurie énergétique aux É.-U., l'industrie touristique des États comme la Californie et le Vermont a subi une baisse considérable de son chiffre d'affaires, attribuable en grande partie au prix élevé de l'essence; et ce prix reste élevé en dépit d'un excédent de stocks de pétrole brut. Les sociétés pétrolières manquent maintenant de réservoirs pour en stocker davantage. Ici encore, un large approvisionnement n'a pas fait baisser les prix en période courte. En effet, l'O.P.E.P. règle sa production globale de pétrole afin d'en maintenir les prix à l'échelle internationale. C'est pourquoi nous croyons que les techniques de fixation des prix ne sont pas le seul moyen de réduire la consommation, mais nous ne sommes pas sûrs non plus que les désavantages économiques remplacent automatiquement les mesures d'économie d'énergie.

Les mesures dont on dispose présentement pour réaliser des économies considérables n'exigent pas beaucoup de temps pour être mises en œuvre. De telles mesures d'utilisation rationnelle de l'énergie consisteraient à baisser volontairement de quelques degrés les thermostats de chauffage et à monter ceux des climatiseurs, dans les régions où l'on s'en sert beaucoup. Évidemment, ces mesures pourraient être renforcées par une tarification appropriée. La réduction de l'éclairage, accompagnée de la suppression de l'éclairage décoratif, constitue une mesure importante d'économie, un peu moindre en hiver car l'éclairage contribue au chauffage, mais plus forte en été, car il s'ajoute à la charge de climatisation. Cette dernière mesure, et l'amélioration des bilans thermiques des processus industriels, répondent exactement à nos critères d'utilisation rationnelle de l'énergie, car elles permettent de réaliser de fortes économies. Toutes ces mesures sont d'efficacité immédiate, car on peut les mettre en œuvre sans délai. L'isolation thermique des logements coûte cher, bien entendu, mais elle est largement compensée par l'économie de combustible. La limitation de la vitesse routière et la fermeture des distributeurs d'essence certains jours sont des mesures de caractère obligatoire, qui procurent d'importantes économies de carburant. Les transports automobiles collectifs pourraient aussi être très efficaces, mais c'est une mesure qui devrait être appliquée par persuasion. Toutes ces mesures répondent à nos critères d'économie énergétique. Il faut cependant tenir compte de la baisse du chiffre d'affaires des stations-service, à cause de la réduction du volume du carburant vendu sans hausse de son prix. Notons que l'absence de programmes informatifs et l'insuffisance numérique des agents de la circulation ont réduit l'efficacité des mesures de limitation de la vitesse routière aux É.-U. Le meilleur moyen de limiter la vitesse des véhicules consiste à imposer des normes à leurs constructeurs, plutôt que des règles à leurs chauffeurs. Nous recommandons diverses mesures qui pourraient occasionner des coûts sociaux importants, et c'est pourquoi il serait indispensable d'effectuer à leur sujet des comparaisons coûts/avantages détaillées

et des études de faisabilité; de même faudrait-il élaborer une politique de mise en œuvre cherchant à réduire au minimum leurs coûts et l'injustice de leurs répercussions. C'est la raison pour laquelle nous n'avons pas calculé l'incidence de toutes les mesures décrites; nos évaluations se limitent aux mesures répondant à nos critères d'efficacité.

Analyse détaillée des économies énergétiques par secteur et par période

A. Transports

Les tableaux 2, 7, 9 et 10 de l'Annexe C indiquent la quantité d'énergie consommée par le secteur des transports entre 1975 et 1995, l'efficacité des divers modes de transport de passagers et de marchandises, et leurs répartitions prévues. L'examen des pourcentages fait apparaître deux tendances frappantes. La première est la croissance notable des transports aériens; la deuxième est l'augmentation considérable de la consommation de carburant par les véhicules routiers. Contrairement à l'opinion répandue il y a dix ans, voulant que la puissance moyenne des moteurs décroisse dans cette branche, une étude³ révèle que la puissance et la consommation moyennes pour tous les types de véhicules à combustion interne croissaient encore. Ce phénomène découle partiellement de la multiplication des maisons-remorques, des roulottes, des caravanes, des machines agricoles, etc., de même que de l'accroissement de la taille des camions. Malgré une tendance vers une légère baisse de la puissance des automobiles particulières, deux autres facteurs agissent en sens inverse: d'une part, la puissance absorbée par les dispositifs anti-pollution (en dépit de l'attitude du Canada à cet égard, nos relations commerciales avec les É.-U. nous obligeront à les imiter) et, d'autre part, l'accroissement continu du taux de motorisation du public (0,36 en 1975, 0,41 en 1980, 0,46 en 1985 et 0,47 en 1995). Heureusement on a commencé à utiliser des dépollueurs catalytiques sur certains modèles automobiles de 1975, et ils permettent, croit-on, d'obtenir un rendement supérieur de 14 pour cent à celui des modèles de 1974. Le secteur des transports n'est dépassé que par le secteur commercial pour l'augmentation de la consommation de combustibles jusqu'en 1995. Presque 60 pour cent du pétrole utilisé au Canada est consommé par le secteur des transports et les branches auxiliaires. On estime que cette dépendance durera pendant toute la période longue que nous considérons, c'est-à-dire au delà de 1995.

On évalue le rendement énergétique dans le secteur des transports en passagers-milles et en tonnes-milles. En effet, l'énergie consommée est liée directement aux forces d'inertie et de friction agissant sur le véhicule. Le poids de ce dernier est évidemment un facteur primordial de sa consommation d'énergie. La consommation d'énergie par passager-

3. Ralph C. Lenz Jr., «Forecasts of Exploiting Technologies for Trend Extrapolation», dans *Technological Forecasting*, Prentice-Hall Inc., 1965.

mille et par tonne-mille est une mesure du rendement des divers moyens de transport. Le tableau n° 7 indique ces rendements respectifs en Btu par passager-mille et par tonne-mille.

L'analyse des tableaux permet de tracer les grandes lignes d'une meilleure économie de carburant. Elle suggère quatre voies différentes à cet effet: 1° accroître le rendement des véhicules; 2° augmenter leur charge (passagers ou marchandises); 3° utiliser les modes de transport les plus efficaces et 4° réduire la demande globale. Toutes nos analyses des mesures d'économie montrent qu'il faudrait: 1° employer des moyens tant techniques que sociaux pour réaliser des économies; 2° élaborer un calendrier et des méthodes de mise en œuvre raisonnables pour chaque secteur et branche; 3° perfectionner les techniques à utiliser en périodes courte et moyenne, et effectuer un effort de R & D technologique pour le long terme; 4° réduire au minimum les changements radicaux et les perturbations à l'économie canadienne et 5° utiliser les mesures particulières proposées par un certain nombre d'études sur les économies énergétiques possibles.

Mesures d'économie énergétique à court terme dans le secteur des transports

Il faudrait:

1° Changer la composition du parc automobile en accroissant la proportion des petites voitures (faisant plus de 26 milles par gallon impérial) grâce à un effort de formation et de persuasion, et à des adoucissements fiscaux. (L'*Environmental Protection Agency* des É.-U. signalait en 1973 que la Honda Civic faisait 29,1 milles et la Toronado seulement 6,8 milles au gallon américain d'essence).

2° Réduire la congestion urbaine par l'interdiction de la circulation dans certains quartiers, par celle des autos particulières dans les centres-villes, par la multiplication des terrains de stationnement périurbains, par l'augmentation du coût du stationnement en ville, etc.

3° Réduire de 10 milles la vitesse routière en imposant des amendes plus élevées, en instituant des programmes d'éducation, etc. L'éducation des chauffeurs est un très important facteur d'économie de l'énergie, car le rendement de l'auto décroît plus rapidement que l'inverse de sa vitesse.

4° Encourager les banlieusards (*commuters*) à se servir collectivement des autos, par le biais de taxes ou de péages, et réduire la circulation de pointe par les mêmes moyens.

5° Amener une partie des banlieusards à utiliser des services spéciaux d'autobus et le réseau amélioré de transports en commun, grâce à des réductions tarifaires rendues possibles par l'octroi de subventions et le partage des frais, en réservant des voies aux autobus, en leur donnant la priorité aux intersections, en développant l'utilisation collective des voitures jusqu'au terminus des grandes lignes, etc.

6° Détourner progressivement de l'automobile et de l'avion une partie des voyageurs de ville à ville voisine, au profit de l'autocar et du

train, en interdisant le financement des lignes à faible distance par les services longs-courriers, en améliorant les services ferroviaires, en créant des réseaux de transport de surface rapides de ville à ville, etc. Ce changement pourrait être obtenu grâce à des subventions, au partage des frais et à de nouveaux règlements.

7° Détourner des transports routiers une partie du transport interurbain de marchandises au profit du rail, en améliorant les services ferroviaires, en diminuant les tarifs, en encourageant les transports rail-route et, de façon plus générale, en groupant et en organisant les mouvements de marchandises. Là encore, on pourrait accorder des subventions et des adoucissements fiscaux pour favoriser la mise en œuvre de ces mesures.

8° Détourner une partie importante du transport de passagers par les lignes aériennes à faible distance au profit de l'autobus et du train, grâce aux méthodes examinées⁴ au paragraphe 6. (Sur de faibles distances, les adacs permettent d'économiser de l'énergie.)

9° Réduire le besoin de transports en encourageant la marche et le cyclisme pour les distances inférieures à 5 km (3 milles), grâce à la multiplication des pistes cyclables et des chemins piétonniers, et à la construction d'abris et de points de rafraîchissement pour piétons et cyclistes, et en encourageant la fourniture de services et de distractions au niveau local (restaurants, loisirs, spectacles, magasins, etc.). Dans ce but, on pourrait accorder des subventions, mais il est préférable de mettre en œuvre des programmes de persuasion et de sensibilisation.

On a estimé que les économies énergétiques réalisables pourraient atteindre de 10 à 26,29 pour cent (Annexe D, n^{os} 1 et 10) dans le secteur concerné.

Mesures d'économie énergétique à prendre à moyen terme (1980-1985) dans le secteur des transports

Il faudrait:

1° Continuer à appliquer toutes les mesures à court terme et à utiliser les moyens d'application appropriés.

2° Réaliser des économies de carburant par les moyens techniques dont on dispose:

- a) améliorations de la carburation, de l'injection, de l'allumage et de l'admission d'air dans les moteurs;
- b) emploi généralisé des pneus à carcasse radiale;
- c) modification légère de la forme des carrosseries, pour diminuer la résistance de l'air en conduite rapide;
- d) réduction de 10 pour cent du poids moyen des voitures en période

4. Pendant l'hiver 1974 certaines compagnies aériennes des É.-U. ont accru leurs bénéfices quand elles ont réduit le nombre de vols afin d'accroître la densité d'occupation des avions. De même, entre Montréal et Ottawa, l'autobus fait non seulement une meilleure utilisation de l'énergie que l'avion, mais permet de réaliser des économies supérieures, alors que le temps nécessaire pour aller de centre-ville à centre-ville est du même ordre.

courte (*L'Environmental Protection Agency* indique que toute augmentation de poids de 100 livres d'une voiture pesant de 2000 à 3000 livres se traduit par une diminution de 1 mille de la distance parcourue par gallon d'essence⁵);

- e) amélioration des moteurs des autobus;
- f) amélioration des moteurs des poids lourds (modernisation possible des flottes).

3° Augmenter le prix du carburant en accroissant sa taxation.

4° Imposer des normes de rendement.

5° Imposer une taxe d'immatriculation progressive basée sur la taille de l'auto, sa puissance et ses accessoires consommant de l'énergie, ainsi que des règlements appropriés.

6° Réglementer l'entrée des automobiles dans le centre-ville en fonction de leur taux d'occupation par des voyageurs.

7° Mieux répartir l'utilisation des divers moyens de transport grâce à des subventions et à un partage des frais:

- a) amélioration des services de navette (appel par téléphone);
- b) interdictions plus étendues des automobiles dans le centre-ville;
- c) amélioration du réseau de transport en commun de grande capacité;
- d) transformation d'une partie du centre-ville en zones piétonnières;
- e) amélioration des réseaux ferroviaires pour le transport des marchandises et des passagers;
- f) programme permanent d'aide à la marche et au cyclisme.

L'on s'accorde pour estimer que ces mesures permettraient d'économiser de 20 ou 22 pour cent de la consommation énergétique dans le secteur des transports, alors que le rendement des véhicules aurait augmenté de 33 pour cent.

Mesures d'économie à long terme (1985–1995) pour le secteur des transports

Il faudrait:

1° Poursuivre les mesures prises à court et à moyen termes et les appliquer à un plus grand nombre de véhicules anciens et récents.

2° Mettre en œuvre de nouvelles techniques d'économie du carburant pour les véhicules, par exemple en utilisant des moteurs plus petits, avec suralimentation pour répondre aux fortes accélérations, ou des moteurs fonctionnant avec un mélange maigre ou avec un variateur de vitesse. (Chacune de ces mesures permettrait d'accroître le rendement de 30 pour cent⁶). On pourrait utiliser un dispositif de stockage mixte de l'énergie permettant le transport permanent en charge maximale (100 pour cent d'amélioration).

5. Cette économie permettrait à l'auto pesant 4 000 livres de faire 2 milles de plus par gallon.

6. J.K. Dubowitz et W.Z. Fraize, «Transportation Energy and Environmental Issues», The Mitre Corporation, McLean, Virginia, février 1972, p. 18.

3° Réaliser des programmes de R & D en matière de: modes de propulsion perfectionnés (pouvant accroître le rendement de 100 pour cent); techniques poussées de réglage de la circulation; nouveaux moyens de transport; nouvelles techniques de manutention et d'acheminement des marchandises; planification de la croissance et de la rénovation urbaines en vue de restreindre les besoins de transports (mise en œuvre grâce à une réglementation et au partage des frais).

4° Adopter éventuellement à grande échelle le moteur Wankel, grâce à l'utilisation modulaire de rotors simples boulonnés, économisant ainsi beaucoup d'énergie lors de la fabrication. La combinaison des mesures en courte, moyenne et longue périodes permettrait d'économiser 29 pour cent de l'énergie consommée par le secteur.

B. Le secteur domiciliaire et commercial

Le tableau n° 2 de l'Annexe C indique la consommation d'énergie du secteur domiciliaire et commercial pour la période 1975–2000; les différentes projections sont basées sur la prévision « normalisée » du ministère de l'Énergie, des Mines et des Ressources. Le taux de croissance très élevé de la branche commerciale (quadruplement en 25 ans) semble frappant, quand on le compare à celui de la branche domiciliaire, qui causera un doublement de la consommation. Ce fort taux d'augmentation reflète la croissance du secteur tertiaire et la grande activité de construction. On groupe en général les branches domiciliaire et commerciale dans le même secteur de consommation énergétique, car les besoins de chauffage et de rafraîchissement des locaux, d'eau chaude, de réfrigération et de cuisine s'y classent dans un ordre similaire. Ces besoins absorbent plus de 75 pour cent de l'énergie consommée, et même plus dans la branche domiciliaire. Le rapport sur une « Politique énergétique pour le Canada » conclut que la branche commerciale augmentera largement sa consommation d'électricité, laquelle en 1995 atteindra plus de 50 pour cent de la consommation nationale d'énergie électrique, soit un peu plus que celle du secteur industriel. Le tableau n° 3 est très instructif, car il montre les prévisions de la répartition de l'électricité d'origines thermique et hydraulique, et l'augmentation de chaleur dissipée au fur et à mesure que décroît la part de l'énergie hydroélectrique.

L'analyse ci-dessus de la consommation de la branche commerciale, de la nature particulière de ses besoins énergétiques et de la forte quantité de chaleur dissipée montre qu'il est possible de réaliser des économies énergétiques très importantes. Le gaspillage engendré par la filière électrothermique est directement visé par ces mesures d'économie et de rendement. Le chauffage par l'électricité d'origine thermique n'a qu'un rendement correspondant à 67 pour cent de celui d'un calorifère (*furnace*) individuel à gaz ou à mazout bien conçu, ce qui donne une idée du gaspillage (Annexe D, n° 2). Bien entendu, cette observation ne s'applique pas aux filières hydroélectriques ou électronucléaires. Les études portant sur les économies énergétiques possibles dans le secteur

domiciliaire et commercial ne divergent guère, et prévoient des augmentations de rendement très voisines (Annexe D, n^{os} 1, 3, 4, 19 et 23).

Les grands édifices publics sont de très gros consommateurs d'énergie. La branche commerciale englobe tous les immeubles commerciaux, les organismes publics, tous les locaux de services et de loisirs, les magasins de gros et de détail, ainsi que les exploitations agricoles commerciales, les entreprises de pêche, etc. On ne peut exagérer l'incidence d'une bonne conception des installations sur les économies d'énergie dans cette branche. De nombreux consultants en ingénierie et architecture des grands immeubles commerciaux et domiciliaires confirment les possibilités d'économies énergétiques. Ils citent par exemple l'utilisation de la chaleur dissipée des centrales thermiques ou des incinérateurs pour le chauffage urbain. Nous examinerons à part le rôle d'une bonne conception des installations en matière d'économie énergétique, car elle constitue l'un des principaux moyens d'action.

Néanmoins, il est bon d'examiner de plus près certains aspects de la conception dans le secteur domiciliaire et commercial. M. Richard G. Stein, du Cabinet d'architectes-conseils *Richard G. Stein and Associates*, New York (Annexe D, n^o 20) et M. Fred S. Dubin, du cabinet d'ingénieurs-conseils *Dubin-Mindell-Bloome Associates*, de New York (id.), qui tracent les plans de grands immeubles commerciaux, soulignent qu'il est possible d'économiser entre 20 et 25 pour cent de l'énergie nécessaire pour construire et chauffer ces immeubles. Comme la construction de locaux nécessite, directement ou indirectement, de 5 à 10 pour cent de l'énergie électrique consommée au Canada, et que la branche commerciale absorbera 50 pour cent de l'électricité consommée après 1985 (contre 25 pour cent actuellement), on comprend mieux l'importance de ces économies. On les obtiendra par des améliorations de la conception des édifices, par un meilleur choix des matériaux de construction, par l'adoption de règlements et de codes de construction mieux appropriés, par un éclairage mieux réparti et plus rationnel, et chaque fois que ce sera possible, par l'utilisation d'installations centrales de chauffage et de rafraîchissement des locaux de préférence non électriques; pour le chauffage, il serait préférable d'utiliser la chaleur dissipée des centrales thermiques. L'utilisation d'installations centrales de rafraîchissement des locaux fonctionnant par absorption permet de réaliser des économies supplémentaires. On peut combiner ces techniques par l'emploi de pompes de chaleur dans une installation à climatisation complète.

On peut citer plusieurs exemples typiques et concrets. Dans un immeuble-pilote de 50 étages (d'une superficie utilisable d'un million de pieds carrés environ), construit selon les normes architecturales courantes, la consommation annuelle d'énergie aurait atteint $4,24 \times 10^{11}$ Btu, soit la moitié de celle absorbée par le *World Trade Center* de New York. La mise en œuvre de nouvelles techniques d'économie de l'énergie a permis de réduire cette consommation de 52 pour cent, jusqu'à 2,09

x 10^{11} Btu par an. Une forte partie de cette réduction a été rendue possible par l'utilisation de la vapeur produite par des générateurs ou des incinérateurs, donc par réduction de la charge de chauffage par l'électricité. Parmi les exemples d'ouvrages réalisés, citons l'utilisation du concept d'environnement intégré, qui a permis d'économiser 50 pour cent de l'énergie nécessaire aux immeubles construits selon ce concept au Royaume-Uni.

Un autre exemple encore plus probant est celui du Rochdale Village, à New York, qui utilise une installation de climatisation complète. Dans cet ensemble domiciliaire couvrant 170 acres, on a obtenu des économies de 20 pour cent par rapport à la consommation d'installations classiques⁷.

Bien que l'emploi des techniques connues puisse aboutir à des économies énergétiques considérables, il ne faut pas sous-estimer le rôle des mesures sociales, soit d'incitation par crédits ou amendes, promulgation de normes et de règlements, soit de persuasion, par des programmes d'éducation et d'information du public. La Suède a réussi grâce à cette dernière méthode (Annexe D, n° 1). Si nous remontions nos thermostats de 2 degrés en été et si nous les baissions de 2 degrés en hiver, nous réaliserions, en dix ans, des économies accumulées atteignant *1 pour cent de notre consommation totale de combustible en 1985* ($0,08 \times 10^{15}$ Btu, c'est-à-dire 17 pour cent de la consommation d'énergie prévue du secteur domiciliaire). Évidemment, cette mesure produirait des résultats immédiats, quel que soit le pourcentage de la population qui l'appliquerait.

On pourrait faire de vastes économies de combustibles grâce à l'utilisation de la chaleur dissipée par les centrales thermiques et nucléaires (croissant à raison de 10 pour cent par année). L'emploi de cette chaleur pour le chauffage urbain (Annexe D, n°s 16, 18, et 19), la culture intensive de plantes alimentaires (n°s 16 et 19) et l'irrigation à l'eau tiède ont été souvent analysés et on les a mis en œuvre avec succès dans diverses parties du monde. Il reste à en assurer la rentabilité. Il faut que notre politique énergétique détermine si l'emploi de ces méthodes est indispensable. L'utilisation de 50 pour cent de la chaleur dissipée par la centrale électronucléaire de Pickering, près de Toronto, permettrait de chauffer 680 000 maisons (n° 19). Le rendement net des centrales thermiques (y compris les pertes en ligne) n'est que d'environ 28 pour cent; comme nous allons dépendre davantage de ce type de centrales à l'avenir, il nous faut résoudre les problèmes de l'utilisation de cette source de chaleur peu élevée (de 26 à 37° C). On fait face à une situation contradictoire: si l'on élève la température de la chaleur dissipée, la rendant ainsi plus utilisable et abondante, on réduit le rendement thermodynamique de la centrale. Il est cependant possible de remédier à cette contradiction en intégrant les installations

7. R.M.E. Diamant, «What is Total Energy», dans *Total Energy*, Pergamon Press, Oxford, 1966.

urbaines, industrielles et agricoles de façon à obtenir le rendement optimal de l'ensemble.

Bien que le rendement d'une centrale thermique baisse de 36 à 23 pour cent quand la température de la vapeur rejetée passe de 30 à 121° C, l'utilisation de cette dernière permet de relever le rendement global à 80 pour cent environ (Annexe D, n° 18 et 23). Évidemment, les coûts augmentent aussi, et il faut rechercher la solution optimale. Nombre d'industries, comme les usines chimiques, requièrent d'énormes quantités de vapeur industrielle (que fournit, par exemple, l'installation énergétique de Sarnia) (Annexe D, n° 18), et certaines industries de transformation agricoles et aquicoles pourraient utiliser la chaleur dissipée. On peut aussi employer cette dernière dans les dispositifs de réfrigération ou de rafraîchissement des locaux, tels les dispositifs de refroidissement par absorption utilisant l'ammoniac ou le bromure de lithium. L'emploi de plus grandes turbines à gaz et l'élévation jusqu'à 140° C de la température de la vapeur transmise aux dispositifs d'utilisation de la chaleur dissipée permettent d'accroître considérablement le rendement global des ensembles (Annexe D, n° 18). Les dispositifs « Nuplex » (Nuclear Power Industrial Complex) permettent de grandes économies d'énergie (n° 16), y compris le recyclage des eaux industrielles. On peut également appliquer ce concept à l'utilisation de la chaleur dissipée pour le chauffage urbain, domiciliaire et récréatif, et le rafraîchissement des locaux. On a employé avec succès la chaleur dissipée pour la climatisation urbaine complète, de même que pour la filtration des eaux d'adduction et l'épuration des eaux usées. Certains dispositifs perfectionnés exigent l'apport d'un fluide atteignant une température de 66 à 76° C (n° 5). Dans bien des cas, il est nécessaire d'installer des chaudières de secours pour les remplacements éventuels, ou pour stabiliser l'appel thermique. Au moins une étude indique qu'une ville de la taille du Grand Ottawa (environ 400 000 habitants) utilisant une chaufferie municipale économiserait environ 30 pour cent de sa consommation totale d'énergie⁸.

Nous précisons certaines techniques évidentes lors de l'analyse détaillée des mesures d'économie d'énergie dans le secteur domiciliaire et commercial. Comme la climatisation complète des locaux est responsable d'une forte partie de la consommation énergétique, il est indispensable d'isoler ces locaux de façon optimale, c'est-à-dire tant que le coût de l'isolation supplémentaire est inférieur au coût du combustible économisé. On comprend l'importance d'une isolation optimale quand on sait que l'amélioration d'une isolation insuffisante jusqu'au niveau optimal permet d'économiser en moyenne 3 000 Btu/jour/° C et par pouce. Nos entretiens avec le personnel de la Division des recherches en bâtiment du CNRC nous ont appris que les normes de 1975 du Code canadien des constructions domiciliaires stipuleraient un épaissement de l'isolation

8. A.J. Millar et coll., «Use of Steam-Electric Power Plants to Provide Thermal Energy to Urban Areas», Oak Ridge National Laboratory, Rapport ORNL-HUD-14, janvier, 1971.

jusqu'à six pouces environ, afin d'économiser de 25 à 30 pour cent de la consommation exigée par l'isolement actuel. Il serait préférable que ces normes soient inscrites dans le Code national du bâtiment, car le Code canadien des constructions domiciliaires ne s'applique qu'aux maisons construites sous l'égide de la Société centrale d'hypothèques et de logement. L'installation de calorifères et de machines frigorifiques plus efficaces permettrait de faire d'autres économies importantes. D'après d'autres détails fournis par le CNRC concernant les règlements de 1975 relatifs à l'isolation, le propriétaire d'une maison de 1 200 pieds carrés économiserait 50 \$ par année après amortissement du coût de l'isolation pendant une période de 5 à 8 ans. De 30 à 40 pour cent des logements construits après 1975 devraient satisfaire aux nouvelles normes (Annexe D, n° 23). Enfin, bien des mesures d'amélioration de l'isolation, des calorifères et des machines frigorifiques pourraient aussi s'appliquer aux anciens logements.

Les tableaux n^{os} 1, 5 et 6 de l'Annexe C résument les économies sectorielles et les pourcentages correspondants. Voici le détail des mesures d'économie à prendre pour chaque période:

Mesures d'économie énergétique à prendre à court terme dans le secteur domiciliaire et commercial

Il faudrait:

1° Réduire les pertes thermiques en hiver et les apports thermiques en été, dans les nouveaux domiciles comme dans les anciens, en employant:

- a) de meilleures techniques d'isolation,
- b) des contre-châssis (*storm windows*),
- c) un bon calfeutrage,
- d) des coupe-bise (*weather stripping*) aux portes.

2° Si possible, réduire l'apport thermique et les pertes hivernales de chaleur dans les locaux commerciaux par des mesures appropriées. Cette amélioration pourrait être encouragée par des prêts de l'État et des abattements fiscaux pour économies énergétiques, et par des réglementations et des programmes d'information appropriés.

3° Adopter les intensités d'éclairage recommandés au R.-U. (qui n'atteignent qu'environ 25 pour cent des intensités utilisées au Canada et aux É.-U.) par une disposition appropriée. On peut y parvenir⁹ en employant les méthodes décrites en 1° et 2°.

4° Réduire les fuites d'air dans les locaux commerciaux et logements grâce à une bonne régulation de la ventilation.

5° Réduire l'énergie requise pour le chauffage de l'eau en améliorant le rendement des chauffe-eau (par échangeurs de chaleur); utiliser la chaleur dissipée des générateurs de chaleur, etc.

9. L'Annexe D, n° 9, cite un exemple intéressant d'aide à cet effort. Les compagnies d'énergie électrique financent les travaux d'isolation et les autres mesures d'économie grâce à des prêts à faible taux d'intérêt, que le propriétaire rembourse par acomptes en même temps qu'il paye ses factures d'électricité.

6° Encourager l'achat d'appareils plus efficaces. La quantité d'énergie consommée par différents climatiseurs fournissant la même quantité d'air rafraîchi peut varier du simple au triple. On observe les mêmes diversités de rendement parmi les réfrigérateurs, les sècheuses, les laveuses et autres appareils électrodomestiques. Les réfrigérateurs à dégivrage automatique consomment beaucoup plus d'énergie que ceux à dégivrage manuel. On pourrait encourager des mesures d'économie par des programmes d'information et une réglementation exigeant que tous les appareils soient munis d'une plaque indiquant la consommation d'énergie, et que ce renseignement figure sur l'étiquette et dans la publicité. L'État devrait encourager les associations de consommateurs, grâce à une aide financière, à classer les appareils électrodomestiques selon leur consommation d'énergie.

7° Améliorer le processus de combustion de tous les générateurs de chaleur, y compris les calorifères. En effet, l'emploi d'un brûleur à mazout à flamme bleue ou d'une chaudière à gaz naturel permet un rendement d'environ 80 pour cent (notons que les calorifères à mazout (oil furnace) de 1950 avaient un rendement moyen de 56 pour cent).

8° Encourager l'utilisation d'un « économiseur » de chaleur, lequel est simplement un dispositif de récupération de la chaleur perdue par l'installation de chauffage domiciliaire.

9° Combiner les besoins thermiques du secteur domiciliaire en fonction des chaudières et des brûleurs disponibles.

10° Améliorer les normes d'entretien et de rendement des chaudières et des calorifères du secteur commercial, et développer l'utilisation des récupérateurs de chaleur.

11° Améliorer la conception de tout le matériel de chauffage et de rafraîchissement des locaux, grâce à une isolation optimale, et des dispositifs modernes d'échange et de récupération de chaleur.

12° Élaborer et lancer de vastes programmes d'information et d'éducation des propriétaires, pour les inciter à utiliser des méthodes judicieuses d'économie de l'énergie dans leurs logements, ainsi que des programmes de formation des techniciens chargés d'entretenir les installations de chauffage et de rafraîchissement des locaux commerciaux. Il faudra que l'État parraine largement ces programmes, bien que le secteur privé, aux États-Unis, ait pris des initiatives remarquables, telle la *Carolina Power and Light Company*, laquelle met en œuvre un programme complet de formation et d'éducation à l'économie de l'énergie (Annexe D, n° 21).

Mesures d'économie à prendre à moyen terme (1980-1985) dans le secteur domiciliaire et commercial

Il faudrait:

1° Continuer et intensifier la mise en œuvre de toutes les mesures prises à court terme.

2° Employer les méthodes de conception coordonnée, les installations complètes de climatisation et le chauffage urbain pour les locaux

commerciaux et les immeubles à usage domiciliaire (*multifamily dwellings*). On pourrait encourager ces mesures grâce à des incitations de la part de l'administration municipale, à des abattements fiscaux, et à des programmes d'encouragement des installations complètes de climatisation. Il faudra tirer avantage des conditions locales pour utiliser à grande échelle la chaleur dissipée et récupérer la chaleur perdue.

3° Étendre le champ couvert par les codes du bâtiment, la législation et les règlements, afin de mettre en œuvre des normes élevées d'économie de l'énergie.

4° Encourager l'emploi de détersifs actifs dans l'eau froide, de façon à réduire les besoins d'eau chaude.

5° Hausser les spécifications (*design standards*) du matériel et des appareils afin d'en accroître l'efficacité, par la réglementation et la législation.

6° Élaborer des programmes de R & D pour la durabilité des commutateurs automatiques pour lampes, réfrigérateurs, chauffeuses, climatiseurs, etc.; mettre au point une nouvelle lampe fluorescente substituable aux lampes actuelles à incandescence; faire interdire par les codes du bâtiment certains modes d'éclairage par incandescence, de même que l'intensité excessive d'éclairage; rédiger des normes réglementant la superficie vitrée des parois extérieures des bâtiments commerciaux et industriels.

7° Avancer l'heure officielle d'une heure en hiver et de deux heures en été. Cette mesure permettrait d'économiser 1 pour cent de l'énergie consommée par le secteur domiciliaire et commercial en 1985 (Annexe D, n° 1).

Mesures d'économie à prendre à long terme (1985–1995) dans le secteur domiciliaire et commercial

Il faudrait:

1° Étendre l'efficacité de toutes les mesures prises à court et moyen termes.

2° Généraliser l'utilisation des méthodes de conception coordonnée, des installations complètes de climatisation et de la chaleur dissipée.

3° Préciser les caractéristiques des installations complètes de climatisation convenant aux logements et aux locaux commerciaux, en établissant des spécifications et en imposant un rationnement du combustible.

4° Encourager le remplacement des bâtiments mal conçus, grâce à des abattements d'impôt foncier favorisant les équipements efficaces.

5° Accroître le soutien financier aux travaux de R & D et aux études de gestion en matière d'économie énergétique et d'accroissement du rendement en créant un Institut national de l'économie énergétique.

6° Accroître l'utilisation des déchets et des fines de charbon en suspension dans le mazout, comme combustible.

Notre récapitulation des économies en ce secteur (tableau n° 1), montre qu'il est possible de réaliser une économie d'énergie de 31 pour

cent d'ici 1995. On s'efforcera, par des programmes d'incitation, de faire remplacer les bâtiments mal conçus ou leurs installations de chauffage et de rafraîchissement de l'air par des bâtiments ou installations beaucoup plus efficaces.

C. Le secteur des compagnies d'électricité

Nous avons groupé les compagnies d'électricité en un seul secteur, en dépit de ses dissemblances avec les secteurs de consommation d'énergie secondaires. En effet, des économies considérables y sont possibles, et toutes les études importantes sur l'économie de l'énergie en parlent. Les chiffres mentionnés ici ne résultent pas de calculs indépendants, effectués selon la méthodologie employée pour les secteurs de consommation. Ils proviennent d'estimations concordantes tirées d'autres études. Toutefois, leur exactitude se trouve confirmée en partie par les économies effectives réalisées au cours de la pénurie pétrolière de l'hiver 1974.

Le tableau n° 3 de l'Annexe C illustre les projections établies par le ministère de l'Énergie, des Mines et des Ressources pour le secteur des compagnies d'électricité; cependant, plusieurs études suggèrent que l'élasticité de la demande pourrait être négative par rapport aux prix, aux nécessités de protection de l'environnement, etc. Il se peut qu'on ait surestimé l'éventualité d'un doublement de la consommation énergétique tous les dix ans (Annexe D, n° 16). Par contre, si l'industrie canadienne utilise moins de main-d'œuvre (l'étude informatique des modèles montre le développement de cette tendance aux É.-U.), la consommation d'électricité augmentera¹⁰. C'est manifestement l'emploi qui en souffrira. Si cette analyse est valable, il doit être possible de choisir un modèle d'expansion économique où la répartition des biens et services permettra d'optimiser consommation énergétique et emploi. Le choix de certains produits à fabriquer peut avoir cet effet. Telle serait la fabrication de fromage, utilisé comme source de protéines, à la place des viandes transformées, du lait ou du poisson.

Comme nous l'avons déjà indiqué, le secteur des compagnies d'électricité n'est pas l'utilisateur de l'énergie qu'il produit; il transforme l'énergie primaire et répartit l'électricité. Tout comme les carburants liquides sont nécessaires à certaines activités du secteur des transports, l'électricité est bien souvent irremplaçable pour certaines utilisations, telles les télécommunications, l'éclairage, la cuisine. Il est, par contre, possible de chauffer des locaux par combustion directe de mazout ou de gaz, en consommant la moitié de l'énergie primaire requise par le chauffage à l'électricité fournie par une centrale thermique. Il se peut que le chauffage électrique devienne la solution idéale si l'électricité est produite un jour à grande échelle dans des centrales électronucléaires. Ce mode de chauffage est cependant justifié dans les régions où la principale source d'énergie est la houille blanche (énergie hydraulique).

10. Bruce Hannon, «Options for Energy Conservation», *Center for Advanced Computation*, University of Illinois, Urbana, Ill., Document n° 79, février 1973.

Nous n'étudierons pas ici l'utilisation de la chaleur dissipée par les centrales thermiques. Cette utilisation apparaît comme une mesure d'économie dans le secteur de l'industrie en général. Nous nous intéresserons plutôt à deux mesures fondamentales d'économie: 1° l'amélioration des techniques de production et 2° la diminution de la demande par une réduction généralisée, l'accroissement des prix et un meilleur étalement de la consommation, car les pointes d'appel réduisent le rendement global des centrales thermiques. Le tableau n° 1 de l'Annexe C donne un résumé des économies éventuelles, des installations et matériels touchés, et des rendements possibles. En général, les mesures d'économie, particulièrement sur le plan social, s'appliquent aux installations anciennes et récentes, tandis que les nouvelles techniques, applicables en général à moyen et à long termes, touchent surtout les installations futures. Voici les diverses mesures recommandées pour chaque période:

Mesures à prendre à court terme (1975–1980) dans le secteur des compagnies d'électricité

Il faudrait:

1° Étaler la demande sur 24 heures, en reportant certaines consommations élevées sur les heures creuses. On peut y parvenir en modifiant les barèmes imposés aux gros utilisateurs, et en interdisant à certains d'entre eux de consommer de l'électricité aux heures de pointe. Il serait préférable d'appliquer cette mesure en premier lieu aux industries très automatisées, afin de ne pas modifier les horaires de travail d'un trop grand nombre d'ouvriers.

2° Faciliter la construction de centrales thermiques efficaces et réduire les délais de réalisation. Il s'agit de remplacer d'anciennes centrales peu efficaces, et cet effort nécessitera une planification minutieuse, assurant la continuité d'approvisionnement en matériels.

3° Élaborer des programmes d'éducation et d'information. Nous avons déjà parlé de ces programmes, qui sont indispensables au succès de l'effort d'économie.

4° Réviser le processus du choix de l'implantation et de l'aménagement des nouvelles centrales, en y incluant des enquêtes publiques où les citoyens, complètement informés, pourront intervenir librement.

Mesures à prendre à moyen terme (1980–1985) dans le secteur des compagnies d'électricité

Il faudrait:

1° Continuer la mise en œuvre de toutes les mesures à court terme, et particulièrement de celles qui permettent de réduire la consommation.

2° Aider à la mise sur pied d'installations de climatisation complète associées aux centrales thermiques, utilisant ainsi plus efficacement la chaleur dissipée. Les économies réalisées seraient semblables à celles d'autres secteurs, et elles permettraient de réduire la consommation

d'électricité; il faudrait mettre au point des accumulateurs thermiques fonctionnant pendant les heures creuses.

3° Éduquer et informer le consommateur et l'encourager à réduire sa consommation d'électricité (nous avons cité des mesures d'économies dans le secteur domiciliaire et commercial, qui pourraient réduire la consommation d'électricité).

4° Encourager l'interconnexion des réseaux et la construction d'accumulateurs thermiques pour utilisation pendant les heures creuses.

5° Entreprendre un programme actif de R & D pour l'amélioration à moyen et à long termes du rendement des centrales. Ces techniques sont déjà utilisables, et certaines centrales utilisent des turbines mixtes gaz-vapeur et des turbines à gaz à récupérateur de chaleur. En raison de la position du Canada en matière de réserves de gaz naturel, nous devrions réaliser sans retard ce programme; cependant, le succès à long terme dépend de la découverte de nouvelles réserves, et de leur mise en œuvre rapide. Il faut noter que le gaz naturel est le combustible fossile ayant le moins d'incidence sur le milieu. On pourrait également réaliser un programme de R & D sur les générateurs magnétoplasma-dynamiques couplés aux turbines à gaz à récupérateur de chaleur, lequel pourrait offrir à long terme de l'intérêt pour notre pays, qui dispose des ressources nécessaires, ou encore le réaliser de concert avec l'U.R.S.S. dans le cadre du programme d'échanges techniques. Pour obtenir des résultats intéressants, il faudrait entreprendre sans retard l'effort de R & D nécessaire.

Mesures à prendre à long terme (1985-1995) dans le secteur des compagnies d'électricité.

Il faudrait:

1° Intensifier la mise en œuvre de toutes les mesures d'économie énergétique à court et à moyen termes.

2° Poursuivre l'effort de R & D sur la filière énergétique d'avant-garde (centrales électriques utilisant des turbines gaz-vapeur fonctionnant grâce aux produits de la gazéification du charbon). Il faudrait donc mettre au point un procédé efficace de gazéification. L'Institut d'économie de l'énergie, dont la création a été recommandée, devrait mettre les programmes de R & D pertinente sur pied dès que possible.

3° Effectuer un effort de R & D en matière de technologie des métaux: réalisation d'alliages résistant aux très hautes températures: étude d'un générateur magnétoplasma-dynamique fonctionnant à des températures plus faibles que les dispositifs actuels et ne nécessitant que des techniques plus simples.

4° Soutenir l'effort de R & D sur l'utilisation plus complète de la chaleur dissipée dans les installations de climatisation, les chaufferies urbaines, les dispositifs de rafraîchissement des locaux par absorption, l'agriculture et l'aquiculture.

Notons que les économies réalisées par le secteur domiciliaire et commercial et celui de l'industrie générale grâce à l'utilisation de la

chaleur dissipée accroissent le rendement global des centrales thermiques et, par conséquent, permettent des économies dans leur secteur. De plus, on pourrait réaliser bon nombre des applications envisagées, en raison de la quantité de chaleur dissipée dont on prévoit le rejet d'ici 1995. Les données du tableau n° 1 montrent qu'on pourrait réaliser dans ce secteur des économies atteignant 9,4 pour cent vers 1995.

D. Le secteur de l'industrie en général

Le tableau n° 2 de l'Annexe C fournit des données sur la consommation d'énergie de l'industrie, et sur la croissance prévue au cours des 25 années qui viennent. Notons que la répartition sectorielle de la consommation d'énergie au Canada n'est pas la même qu'aux États-Unis, et que cette dissimilarité persistera (voir le tableau n° 8). La consommation d'énergie par l'industrie aux États-Unis est considérablement plus élevée qu'ici, et les projections maintiennent cet écart. La situation inverse prévaut dans le secteur domiciliaire et commercial, ce qui traduit probablement l'activité plus intense de l'industrie secondaire aux États-Unis et les besoins en chauffage plus grands au Canada, en raison des conditions climatiques. Une beaucoup plus grande proportion de l'électricité provient des centrales thermiques aux É.-U. Il est aussi bon de noter qu'au Canada le secteur industriel est le plus gros consommateur de combustibles, et le demeurera à moyen terme. Quatre branches industrielles utilisent à elles seules de 50 à 55 pour cent de l'énergie consommée dans ce secteur: celles des pâtes et papiers (23 pour cent de la consommation du secteur en 1972), des produits chimiques (particulièrement minéraux), de la sidérurgie, et de la fonderie et de l'affinage des métaux. On prévoit que l'électricité, et surtout le gaz naturel, constitueront les plus importantes sources d'énergie de l'industrie¹¹. Aux États-Unis, l'industrie de première transformation des métaux, puis l'industrie chimique et le raffinage des produits pétroliers, utilisent chacune considérablement plus d'énergie que l'industrie des pâtes et papiers.

Au Canada, toute amélioration du rendement de la fabrication du papier permettrait d'économiser de l'énergie. On a signalé l'apparition de deux nouvelles techniques: le défibrage par produits organiques, qui permet la récupération de ces derniers, et pollue donc moins tout en exigeant moins d'énergie; et la machine modulaire à papier journal, qui permettra d'améliorer le rendement et de réduire les coûts. Ces améliorations permettraient d'améliorer le rendement de 30 pour cent¹².

La mise en œuvre à grande échelle du nouveau procédé Linnz et Donnewitz (L-D) (*basic oxygen process*) permet d'économiser de 39 à 50 pour cent de l'énergie nécessaire (Annexe D, n°s 1 et 3). De plus, on peut économiser de l'énergie et des matériaux en traitant une plus grande quantité de ferraille dans des fours spéciaux. Présentement,

11. Ministère de l'Énergie, des Mines et des Ressources, Politique canadienne de l'énergie, Information Canada, Ottawa, 1973.

12. Communication personnelle de la part d'E.B. Cowan Ltd., Montréal.

seulement le tiers de l'acier canadien est fabriqué grâce au procédé L-D. Si l'on portait cette proportion aux deux tiers vers 1995, on réaliserait des économies énergétiques considérables: le procédé L-D a un rendement de 71,5 pour cent, supérieur à celui du procédé Martin, lequel est utilisé pour fabriquer 52 pour cent de l'acier canadien (Annexe D, n° 1).

L'industrie chimique est, bien entendu, grande consommatrice de combustibles, sous la forme de produit de base en pétrochimie, par exemple. L'utilisation de grandes quantités de vapeur industrielle (*process steam*) pour la fabrication des produits chimiques montre que de grandes économies énergétiques sont possibles. La vapeur industrielle, plus celle utilisée pour le chauffage, nécessitent environ 20 pour cent de l'énergie consommée par cette branche industrielle. On a déjà réalisé 22 pour cent d'économies énergétiques en utilisant la chaleur dissipée pour produire de la vapeur (comme l'aciérie de la *Bethlehem Steel* à Lackawanna le fait déjà depuis 1967. Annexe D, n° 1).

La plupart des ingénieurs en organisation et des ingénieurs de bureau d'étude estiment qu'on pourrait à long terme économiser 30 pour cent de l'énergie utilisée par cette branche industrielle, si l'on accélérât la mise au rancart des techniques et des matériels anciens et inefficaces, si l'on concevait des techniques économes d'énergie, et si l'on améliorait l'entretien des matériels. Là encore, les méthodes de conception et d'analyse systémique permettraient des économies substantielles. La conception modulaire ralentit le vieillissement technique des installations, car elle permet d'en remplacer les éléments. Le dessin d'articles réutilisables ou recyclables procure des économies d'énergie considérables; le recyclage des métaux ferreux et de l'aluminium nécessite bien moins d'énergie que leur production initiale. Comme nous l'avons déjà mentionné, l'emploi de bouteilles consignées ne nécessite que 25 pour cent de l'énergie utilisée pour la fabrication des contenants métalliques pour boissons gazeuses et 62 pour cent de celle des contenants en papier¹³. La présente étude n'a pas seulement confirmé ces possibilités d'économies d'énergie, mais a également montré qu'il était possible d'économiser 50 pour cent des frais et d'accroître l'emploi net. La mise en œuvre des mesures appropriées ne doit pas en faire peser le fardeau sur les travailleurs de l'industrie concernée; il faut mettre en œuvre un plan directeur pour leur recyclage et, au besoin, leur déplacement. Comme l'emploi de bouteilles consignées nécessite une main-d'œuvre plus nombreuse, il est possible d'éviter les déplacements.

Outre l'économie des matériaux, le recyclage des automobiles permettrait d'économiser 22 pour cent de l'énergie utilisée pour leur fabrication (Annexe D, n°s 1 et 5). Là encore, une bonne conception et une bonne organisation sont indispensables. C'est un dessin original et créateur qui facilitera le recyclage.

13. Bruce Hannon, *op. cit.*

Un récent sondage, effectué par McGraw-Hill¹⁴, a montré que 77 pour cent des sociétés américaines interrogées avaient mis sur pied des programmes accélérés d'économie d'énergie. Bon nombre de ces sociétés industrielles ont réalisé des économies considérables, atteignant parfois 20 pour cent.

Voici les mesures d'économie énergétique à mettre en œuvre dans le secteur industriel au cours de chaque période.

Mesures à prendre à court terme (1975–1980) dans le secteur industriel
Il faudrait:

1° mettre en œuvre des programmes d'incitation économique à l'amélioration des techniques, au remplacement du matériel consommant beaucoup d'énergie, etc.;

2° lancer un programme d'incitation fiscale à l'emploi de techniques et de modèles ayant un bon rendement énergétique (y compris la conception en vue du recyclage et de la réutilisation);

3° lancer un programme d'incitation fiscale encourageant le recyclage et la réutilisation des matériels, ainsi qu'une réglementation et une normalisation appropriées, et une politique d'achats préférentiels;

4° encourager l'implantation des usines dans des lieux où il est possible d'utiliser la chaleur dissipée des centrales pour produire de la vapeur industrielle;

5° financer, par le canal de programmes officiels d'encouragement de la R & D, tels que le PAIT, l'effort de l'industrie en matière de mise au point de prototypes et d'installations commerciales énergétiques d'intérêt tant national qu'international. Il est évident que les industriels canadiens ont intérêt à s'ouvrir des débouchés à l'étranger pour les licences qu'ils prennent dans le domaine de l'énergie.

Mesures à prendre à moyen terme (1980–1985) dans le secteur industriel

Il faudrait:

1° poursuivre et intensifier la mise en œuvre de toutes les mesures à court terme;

2° mettre en œuvre de nouveaux programmes d'incitation économique à l'adoption de techniques à bon rendement énergétique dans les usines nouvelles;

3° encourager l'aménagement intégré des zones urbaines, industrielles et récréatives, de manière à utiliser au mieux les centrales énergétiques, la chaleur dissipée, etc.;

4° combiner les techniques de fabrication et les facteurs locaux de façon à réutiliser ou à réaménager les usines totalement ou en partie. Il faut préparer bien à l'avance des opérations telles que « NUPLEX »;

5° reconverter l'industrie des contenants à la bouteille consignée, dans tout le pays si possible, grâce à des règlements et des primes, etc.

14. *Energy Information*, 1^{er} mars 1974, p. 3.

Il faudrait consulter les syndicats et les associations bénévoles et industrielles à ce propos;

6° encourager l'implantation, dans le cadre local, d'unités autonomes à fort rendement énergétique, telles que les fabriques de papier-journal, les unités de recyclage centralisé, les unités énergétiques utilisant les détritux, etc.

Mesures à prendre à long terme (1985-1995 et au-delà) dans le secteur industriel

Il faudrait:

1° accélérer la mise en œuvre de toutes les mesures à court et à long termes;

2° intensifier les programmes de R & D pour l'élaboration de techniques industrielles à rendement énergétique élevé, grâce à des subventions de l'État;

3° étendre le programme de « conception en vue de réutilisation » à autant de produits industriels qu'il paraît désirable;

4° encourager l'effort de R & D sur les techniques nouvelles d'économie de l'énergie.

Le tableau n° 1 de l'Annexe C précise quelles pourraient être les améliorations du rendement au cours des trois périodes considérées. Le pourcentage des matériels touchés par ces mesures permettrait de réaliser des économies d'environ 6, 8, et 12 pour cent à la fin de chaque période. On suppose que vers la fin de la période éloignée (1985-1995) les mesures d'économie ne s'appliqueront qu'aux matériels de remplacement et aux matériels additionnels.

III. Incidence de l'effort de conception sur l'économie énergétique

L'ingénieur est le protagoniste principal en matière de rendement énergétique, particulièrement s'il s'occupe d'organisation industrielle et de spécifications. Les codes professionnels provinciaux, de même que la cérémonie de remise de l'anneau de fer, mettent en relief le devoir de l'ingénieur, qui est de viser au rendement optimal. On trouve diverses définitions déontologiques des tâches de l'ingénieur-concepteur; celles qui ont été adoptées par un comité de l'*Office of Scientific and Industrial Research* (Royaume-Uni, 1963) semblent particulièrement valables: « 1° Le concepteur utilise imaginativement les principes scientifiques et les données techniques pour créer un dispositif mécanique, un appareil, une usine, une technique remplissant certaines fonctions déterminées de la manière *la plus économique et efficace possible* (c'est nous qui soulignons) et 2° le concepteur est responsable du projet dans sa totalité, depuis sa conception jusqu'aux directives détaillées pour son exécution, et il doit ensuite s'intéresser au produit pendant toute sa durée d'utilisation. »

Ces obligations du concepteur concordent avec les principes de l'économie énergétique et du rendement optimal. Nous avons souligné la nécessité d'inculquer une échelle des valeurs et de faire adopter un style de vie approprié à la population, pour assurer le succès des programmes d'économie énergétique, mais nous n'avons pas suffisamment indiqué l'intérêt de convaincre les concepteurs pour qu'ils s'appuient constamment sur les principes de l'économie énergétique lors de la conception des produits et des équipements. De même, il faudrait mettre en œuvre des normes et des règlements pour étayer le programme d'amélioration des rendements.

Pendant l'été 1951, l'auteur de la présente étude a analysé le fonctionnement d'environ 200 échangeurs de chaleur de tous genres pour la société d'ingénieurs-concepteurs W.J. Fraser, de Dagenham (Essex). Cette étude portait sur les données d'exploitation des échangeurs utilisés dans l'industrie, et sur leur conception. Presque tous avaient été calculés pour des capacités bien supérieures aux besoins réels. Trois séries d'équations thermodynamiques ont été examinées: celles de la firme utilisatrice, celles recommandées par l'ASHRAE et l'ASME (É.-U.), et les équations théoriques de transmission calorique complétées par les facteurs de sécurité suffisants. Dans presque tous les cas, ces équations théoriques ont fourni les caractéristiques les plus conformes au rendement souhaité. Dans tous les cas, les modes de calcul utilisés aux É.-U. ont conduit au suréquipement (*over-design*). De nombreux ingénieurs de bureau d'études ont eu une expérience similaire en matière d'échangeurs de chaleur de tous genres, et dans tous les secteurs de consommation; il est presque certain que l'amélioration des appareils et des techniques permettrait d'économiser jusqu'à 50 pour cent de l'énergie utilisée.

Richard G. Stein, architecte spécialisé en tours à utilisation locative, a signalé des constatations similaires dans son domaine (Annexe D, n° 20). Il a montré que les tables des charges des ossatures utilisées aux É.-U. pour le calcul des édifices-tours conduisent à des caractéristiques triples de celles qui sont nécessaires. Des caractéristiques plus raisonnables per-

mettraient d'économiser aux É.-U. une quantité de ciment dont la fabrication absorbe 4 pour cent de la consommation totale d'électricité. L'utilisation d'un parement en acier inoxydable dans un nouvel immeuble à bureaux de Chicago a permis, selon Stein, d'économiser environ 67 pour cent de l'énergie nécessitée autrement (à poids égal, l'aluminium nécessite dix fois plus d'énergie que l'acier). Le même suréquipement caractérise l'éclairage des édifices publics et des immeubles à bureaux, des écoles et des usines. Son étude montre que les architectes et ingénieurs utilisent des appareils de chauffage, d'éclairage, de cuisine, et de rafraîchissement d'air de rendement inférieur, à cause de leur faible coût initial, sans analyse sérieuse de rentabilité ultérieure.

En résumé, soulignons que le concepteur peut procurer d'importantes économies d'énergie et de matériaux s'il suit les principes de rendement et d'économie adoptés par sa profession. Les associations d'ingénieurs pourraient promouvoir efficacement les programmes d'économie d'énergie.

IV. Autres observations sur l'économie d'énergie

Nous avons à plusieurs reprises mentionné des mesures d'économie d'énergie qui n'ont pas de rapport direct avec l'amélioration du rendement énergétique. Plusieurs de ces mesures méritent d'être examinées en détail, même si on ne peut les mettre complètement en œuvre à court terme, en raison de difficultés économiques, techniques ou écologiques. Trois mesures particulières entrent dans cette catégorie: 1° l'utilisation des ordures comme combustible secondaire; 2° la mise au point d'une suspension combustible charbon-pétrole, et 3° la production de méthane à partir de déchets organiques. Nous nous contenterons d'en décrire à grands traits les principales possibilités.

Utilisation des ordures comme combustible

Les ordures ménagères ont un pouvoir calorifique équivalent au quart ou à la moitié de celui du même poids de mazout. Certains composants des ordures, tels les plastiques, ont un pouvoir calorifique bien supérieur. Un kilogramme d'ordures permet de produire environ 4,5 kg de vapeur (Annexe D, n° 18). En Europe, la production de vapeur grâce à l'incinération des ordures a trouvé des débouchés, montrant la possibilité commerciale de cette production d'énergie. Il serait préférable d'utiliser cette vapeur dans des unités mixtes (chauffage et production d'électricité), plutôt que de l'utiliser pour le chauffage urbain d'hiver. Brown (Annexe D, n° 18) affirme que l'incinération des ordures ne coûte que 2 \$ par tonne si l'on réussit à vendre 50 pour cent de la vapeur produite, au prix d'un dollar par million de Btu. Il s'élève à 3,50 \$ par tonne si le million de Btu n'est vendu qu'au prix de 0,40 \$ (vente à une unité mixte). Le coût total de l'incinération des ordures atteint environ 12 \$ la tonne dans une grande installation. Comme les frais de ramassage et d'élimination des ordures s'élèvent, surtout à cause de la nécessité de trouver des décharges de plus en plus éloignées, leur utilisation comme combustible secondaire ou complémentaire devient très intéressante. Le coût élevé du réglage de la qualité de l'incinération est gênant, mais il ne faut pas oublier que les prix des combustibles traditionnels augmentent, de même que les coûts du ramassage et d'élimination des ordures. Une réglementation des emballages et l'amélioration des méthodes de ramassage et de triage des ordures favoriseraient leur utilisation comme combustible.

Chaque citoyen canadien rejette environ 1,5 kg de débris par jour, soit environ 12,5 millions de tonnes par an pour la population du Canada. Le pouvoir calorifique de cette masse d'ordures est équivalent à celui de 12,5 millions de barils de pétrole, soit 8,5 pour cent de la consommation d'énergie primaire du Canada en 1970. Certains affirment que le recyclage des résidus solides serait plus rentable, du point de vue énergétique, que leur incinération. Il serait sans doute préférable de retirer les matériaux incombustibles avant cette dernière.

Le traitement des ordures par pyrolyse est peut-être le plus intéressant. Il s'agit de la distillation et de la carbonisation des matériaux à l'abri de l'air. On a mis au point deux nouveaux procédés, le procédé « Landgard » d'*Enviro-Chem Systems Inc.* de la société Monsanto et le

procédé « Bu Mines » du *Bureau of Mines*¹. La société Monsanto exploite une usine-pilote traitant par pyrolyse 1 500 tonnes d'ordures ménagères par jour. *Bu Mines* a étudié le traitement de divers déchets et débris solides, tels que des pneus, que ses techniciens appellent du « charbon moderne » (*young coal*). Ils traitent par pyrolyse les ordures municipales débarrassées du verre et des boîtes de conserve, et obtiennent du combustible solide, des hydrocarbures et des gaz, dont le pouvoir calorifique atteint environ 10 millions de Btu par tonne.

Le procédé « Landgard » permet de traiter les ordures ménagères, sans tri préalable. Les frais d'exploitation atteignent à peu près les deux tiers de ceux du traitement par incinération, soit 8 \$ la tonne. Ce procédé est donc rentable, étant donné le coût du ramassage et de l'élimination des ordures ménagères.

La mise au point d'une suspension charbon-pétrole combustible

Le Laboratoire canadien de recherches sur la combustion, qui fait partie du Centre de recherches sur les combustibles du ministère de l'Énergie, des Mines et des Ressources, a étudié la combustion d'une boue de pétrole brut contenant un tiers de charbon pulvérisé. Les essais préliminaires ont montré que ce combustible produit une flamme identique à celle du pétrole (Annexe 10, n° 2).

Ce nouveau combustible offre au moins trois aspects très intéressants. Premièrement, son utilisation permettrait d'économiser le pétrole et de prolonger de 33 pour cent la durée de nos réserves certaines de pétrole, par la réduction de la consommation des centrales thermiques et des appareils de chauffage². Deuxièmement, il nous permettrait d'accroître l'utilisation du charbon, sans attendre la mise au point de méthodes plus coûteuses comme la gazéification ou l'hydrogénation. Troisièmement, son utilisation n'aurait que de faibles répercussions sur l'environnement. Sa teneur en polluants est semblable à celle du pétrole brut. À production thermique égale, il ne produit que 20 pour cent de polluants de plus que le pétrole brut, mais 35 pour cent de moins que le charbon.

Production de méthane à partir de déchets organiques

De nombreux articles ont été publiés sur la production de méthane à partir de déchets organiques³. Lorsque des matières organiques sont décomposées par des microorganismes en l'absence d'air (fermentation anaérobie), il se forme des gaz contenant de 70 à 75 pour cent de méthane. On a calculé que la fermentation d'un kilogramme de matière organique produisait 0,6 m³ de méthane.

1. « Pyrolysis of Refuse Gains Ground », *Environmental Science and Technology*, mai 1971, p. 310.

2. Williams, « When the Well Runs Dry », *Environment*, Vol. 14, n° 5, juin 1972, pp. 10-20 et 25-31.

3. *Ibid.*

On a signalé au moins deux exploitations commerciales. La première est l'usine de traitement des eaux-vannes par la firme Hyperion, qui dessert Los Angeles et sa banlieue, et vend son méthane à une compagnie énergétique. Au Canada, les lieux de production de fumier, tels que parcs d'embouche et parcs à bestiaux, pourraient produire 28 km³ de méthane par an, soit environ 20 pour cent de la production gazière des É.-U., ou 50 pour cent de la production canadienne, ou encore 2 pour cent des réserves gazières certaines du Canada. Bien entendu, ce volume n'est réalisable qu'en théorie, mais les principaux obstacles sont d'ordre social plutôt que technique.

La seconde entreprise effectuant le traitement des eaux usées est la société *Sollinger Industries* de Toronto. Cette société a mis au point un tout nouveau procédé consistant à sécher les matières fécales humaines et animales à haute température, afin de produire du méthane. Celui-ci est utilisé en partie pour le séchage, et le reste est commercialisé. Cette entreprise a récemment obtenu un contrat de la société *Toronto Stockyards* pour construire une unité de traitement sur place des déjections animales de ce parc à bestiaux.

Cette filière énergétique est qualifiée de filière biochimique, ou de filière de la matière organique. Un procédé plus classique consiste à faire des cultures extensives de plantes à photosynthèse intense, et à transformer ces plantes en matériaux combustibles. Un programme de ce genre est réalisable au Canada, surtout dans la vaste zone agricole du Centre-ouest. Il faudrait que ces cultures ne concurrencent pas les cultures vivrières et que, de toute façon, elles soient des transformateurs d'énergie solaire plus efficaces. Bien entendu, il serait nécessaire de mettre en œuvre des programmes appropriés d'incitation.

V. Examen des résultats

Les tableaux n^{os} 1, 5 et 6 de l'Annexe C récapitulent les économies, en pourcentage et en montant, réalisables dans chaque secteur et pour chaque période. La comparaison de ces données avec les prévisions de la consommation énergétique sectorielle par le ministère de l'Énergie, des Mines et des Ressources¹, au tableau n^o 2, nous permet de calculer qu'il serait possible de réduire le taux annuel de croissance de la consommation d'environ 1 pour cent, ou de réduire la consommation d'environ 20 pour cent en l'an 2000, ce qui équivaut à un taux exponentiel théorique de 3,5 pour cent en 25 ans. Les économies réalisées d'ici à l'an 2000 atteindraient $4,1 \times 10^{15}$ Btu, soit 67 pour cent de l'énergie totale prévue pour le secteur des compagnies d'électricité, ou encore 90 pour cent de la consommation prévue pour le secteur des transports.

Ce qu'il faut retenir, c'est que ce nouveau taux de croissance, inférieur d'environ 1 pour cent au taux obtenu par extrapolation, n'entraîne pas de baisse du rendement net de l'utilisation de l'énergie, mais permet de réaliser des économies importantes (réduction de $2,40 \times 10^{15}$ Btu en 1995 (tableau n^o 5), soit environ 15 pour cent d'une consommation prévue atteignant $16,2 \times 10^{15}$ Btu cette même année (tableau n^o 2)). Ces économies énergétiques ne se feront pas au détriment de la croissance économique: elles découlent d'une utilisation plus efficace de l'énergie.

En matière de pétrole proche-oriental, on note avec intérêt que les É.-U. ont adopté des mesures d'économie pour parer aux incertitudes de l'approvisionnement et des prix. Le 16 octobre 1973, William Simmon, alors président du comité de la politique pétrolière auprès du Président Nixon, promulgua une série de directives d'urgence pour économiser 3 millions de barils de pétrole par jour, soit 50 pour cent des importations pétrolières des É.-U. La vitesse automobile était limitée à 89 km/h (55 milles à l'heure); les thermostats de chauffage des locaux étaient baissés de 3 degrés C; on promouvait les détergents actifs à l'eau froide; les moteurs d'automobile devaient subir une remise au point (*tune up*) tous les six mois; et on favorisait l'utilisation collective des automobiles par les banlieusards. Ces mesures devaient permettre d'économiser environ 18 pour cent de la consommation de pétrole prévue pour 1975. Les propositions que nous présentons ici, en matière d'économie de l'énergie, vont beaucoup plus loin que les mesures appliquées aux É.-U., ce qui étaye leur validité.

Le Canada, comme les É.-U., risque une pénurie énergétique à cause des menaces qui pèsent sur les approvisionnements de pétrole du Proche-Orient, et de son prix excessif. M. Donald Macdonald, ministre de l'Énergie, a confirmé ces risques dans son exposé du 16 octobre 1973. L'accroissement des importations pétrolières en provenance du Vénézuéla n'est qu'une mesure d'urgence, insuffisante pour pallier l'interruption des approvisionnements pétroliers du Proche-Orient. Le 16 décembre 1973, M. V.L. Horte, de Toronto, président de la société *Canadian Arctic Gas*

1. Ministère de l'Énergie, des Mines et des Ressources « *Politique énergétique pour le Canada* », Information Canada, Ottawa, 1973.

Study Ltd., a prononcé une allocution à Ottawa, soulignant qu'il prévoyait l'épuisement des réserves canadiennes de gaz naturel pour 1979. L'Office national de l'énergie a confirmé cette opinion, qui vaut aussi pour le pétrole. M. Horte a également indiqué que la mise en service d'un gazoduc Alaska - delta du Mackenzie nécessiterait un délai de cinq ou six ans. Ces révélations étayaient les conclusions de la présente étude, qui souligne la nécessité d'un programme d'économie énergétique pour le Canada. L'insuffisance de gaz naturel, qui atteindrait 15 pour cent de la consommation en 1987 (si l'on ne fait pas de découverte de grand gisement) confirme la nécessité de produire du méthane à partir de déchets organiques, là où ils sont disponibles en grosses quantités (usines d'épuration des eaux usées et parcs à bestiaux par exemple). Nous avons participé à une étude de faisabilité de ce procédé de méthanation pour la société *Sollinger Industries Limited* (voir p. 62), et nous sommes convaincus que le projet est techniquement réalisable à condition d'exécuter un effort de R & D. La bonne coordination du procédé Sollinger permet de réduire la pollution causée par les déchets organiques, tout en augmentant la capacité des installations de traitement actuellement surchargées. Il en résulte un ralentissement de leur mise au rancart, et une réduction des besoins d'agrandissement.

La plupart des mesures d'économie énergétique que nous recommandons entraînent inévitablement certains coûts sociaux et économiques. On ne peut évaluer chaque proposition qu'à l'aide de données valables sur les coûts et avantages à court et à long termes, les méthodes de mise en œuvre les plus efficaces, le coût de la méthode choisie, le bilan énergétique net, les groupes qui devront supporter les répercussions, les meilleurs moyens d'alléger ces dernières, la rentabilité relative de chacune de ces mesures, les problèmes sociaux, les incidences d'environnement, etc. On trouvera, aux pages 34-37 des bases théoriques pour effectuer ces évaluations. Vu le grand nombre de techniques et de mesures envisagées, il est impossible d'en effectuer une analyse détaillée dans le cadre de la présente étude. Mais on doit se rappeler que chacune de ces mesures impose un fardeau à la société, aux entreprises ou aux individus. La mise en œuvre de ces mesures n'est justifiée que si leurs avantages dépassent leurs coûts, et si l'on s'efforce de réaffecter au mieux les travailleurs mis à pied, de les recycler et d'aider les groupes sociaux qui risquent de subir les répercussions sociales et économiques d'une mesure d'économie de l'énergie. Cette dernière devra tenir compte de la nature du combustible en cause, de son abondance, des possibilités de remplacement et des conséquences de la différence des conditions dans les diverses régions.

Une étude menée par le *Center for the Biology of Human Systems*² a montré qu'il serait possible de réduire la consommation d'énergie sans diminuer les biens et services fournis, ou fort peu. Elle étaye certaines de nos affirmations, selon lesquelles la réduction de la consommation par

2. Center for the Biology of Human Systems, *Energy and Employment*, St. Louis, Mo., 63130, Box 1126, 1973.

l'amélioration du rendement énergétique ne ralentit pas nécessairement l'activité économique. Cette étude admet cependant qu'une réduction du niveau de consommation actuel obligerait l'industrie à assumer des coûts supplémentaires, à cause d'une réduction, soit de sa productivité, soit de sa production. Ces questions sont d'importance fondamentale, et elles se rattachent en fin de compte au problème de la viabilité de notre économie. Deux tendances frappantes marquent notre industrie: le remplacement de la main-d'œuvre par l'énergie électrique (pour améliorer la productivité) et la croissance rapide et les larges bénéfices des industries qui utilisent l'énergie de façon peu efficace. La branche industrielle donnant la plus-value la plus faible à ses produits est aussi celle qui utilise l'énergie de la façon la moins rationnelle. Cette situation ne semble pas due au hasard, mais elle paraît caractéristique de notre régime économique. Cependant, la valeur effective des économies d'énergie réalisées par le biais d'un rendement accru ne s'en trouve pas démentie.

En février 1974, M. Ronald Doctor, de la *Rand Corporation*, a présenté une communication lors de la Conférence de l'AAAS qui se déroulait à San Francisco³. Son opinion concorde fort bien avec les aspects quantitatifs et analytiques de notre étude, et avec nos évaluations. Cette communication expose les conclusions de quatre années et demie de recherches sur les moyens de réduire la consommation d'énergie sans perturbations sociales notables. Elle envisage des économies d'énergie à très court terme, grâce à des mesures immédiates, en général plus élevées que celles que nous indiquons ici pour le court terme. La conclusion la plus importante de M. R. Doctor est que l'accroissement du rendement énergétique par des moyens techniques permet de réaliser des économies importantes sans coûts sociaux ou économiques, ou à des coûts minimes. Il cite le cas de la société Dow et Dupont qui, sans réduire la production, a pu diminuer sa consommation énergétique de 20 pour cent en deux ans, par simple accroissement du rendement thermique. Certains estiment que de sérieuses études des rendements thermiques permettraient de réaliser des économies du même ordre dans un grand nombre d'entreprises industrielles. Une étude que la société Rand a réalisée pour l'État de Californie conclut que la mise en œuvre de sept mesures dans les secteurs des Transports, du Logement, du Commerce et de l'Industrie permettrait de réaliser des économies énergétiques de 15 pour cent à très court terme, soit l'équivalent du déficit énergétique actuel.

M. R. Doctor conclut, de façon saisissante, qu'il serait possible de réduire de moitié le taux de croissance annuelle de la consommation d'énergie étatsunienne, soit 4 pour cent (taux prévu en 1971). De même, le taux de croissance de la consommation d'électricité en Californie pourrait être ramené de 6,7 pour cent à 3,5 pour cent d'ici 30 ans. Ces réductions seraient obtenues sans baisse de la consommation prévue de biens et de services, et sans perturbations sociales sérieuses. Cette opinion

3. Ronald Doctor, « Growth and Energy Demand », communication à la Conférence de l'AAAS, San Francisco, 25 février 1974.

rejoint la nôtre, selon laquelle des mesures appropriées d'économie énergétique ne réduiraient pas la productivité. L'étude de la *Rand Corporation* soutient même qu'il est possible de réduire le taux de croissance extrapolé de 50 pour cent d'ici 20 ans.

Le « Projet de politique énergétique » de la Fondation Ford (Annexe D, n° 9) confirme les conclusions de l'étude de la *Rand Corporation*. Le scénario du « palliatif technique » qui a été élaboré montre également qu'il est possible de ramener le taux extrapolé de croissance de la consommation, soit 3,4 pour cent en moyenne par année pour la période 1950-1972, à 1,7 pour cent au cours des 25 prochaines années. Le palliatif technique est constitué par des économies énergétiques dans les divers secteurs d'utilisation, qui correspondent exactement aux mesures que nous proposons. Cependant, les économies prévues pour l'an 2000, par la Fondation Ford, sont de beaucoup supérieures à celles que nous avons calculées, et elles correspondent à celles prévues par l'étude de la *Rand Corporation*. « Le projet de politique énergétique » soutient que l'économie sera obtenue par le moyen d'une tarification faisant supporter à la société tout le poids du coût de l'énergie, mais admet que cette mesure est insuffisante et incertaine. Il recommande des modifications à la politique de taxation et de subventions de l'État, l'éducation du consommateur et d'autres techniques favorisant l'économie énergétique, ainsi qu'un financement fédéral des programmes de R & D sur l'économie d'énergie.

Le scénario « de palliatif technique » a pour principal avantage d'offrir un plus grand choix d'options en matière d'approvisionnement, gagnant ainsi du temps, facteur précieux dans l'élaboration des stratégies techniques.

À titre accessoire, soulignons que toutes les communications présentées à la Conférence de l'AAAS sur la réduction de la consommation d'énergie ont confirmé la valeur de notre méthode, et des chiffres que nous avons calculés. À propos des mesures d'augmentation du rendement énergétique, par exemple, une des communications⁴ souligne que la pose d'une couche d'isolant d'épaisseur optimale sous les combles d'une maison déjà construite ne coûte que 45 pour cent des économies de combustible réalisées.

Soulignons une fois de plus que nos évaluations de la croissance des rendements et de leur rapidité sont fort modestes et prudentes. Par exemple, on pourrait accroître de 15 à 20 pour cent, à moyen terme, le rendement des centrales thermiques par l'emploi de la technologie des installations combinées gaz-vapeur avec turbines à gaz à haute température, et même de 30 pour cent si un jour les générateurs magnétoplasma-dynamiques étaient mis au point. Les turbines à gaz à haute température avec aubages à réaction ont un rendement de 8 pour cent plus élevé que les machines actuelles. La plupart de nos processus industriels sont susceptibles d'accroissements de rendement encore plus grands.

4. R.B. Rosenberg, Institute of Gas Technology, « Energy Usage in the Home — Consumption and Conservation », communication à la Conférence de l'AAAS, San Francisco, 1974.

Nous avons donné, à l'Annexe B, l'analyse arithmétique détaillée d'une série de mesures d'économie énergétique applicables dans les divers secteurs de notre économie. Nous n'avons pas tenté de chiffrer toutes les économies recommandées dans le Chapitre II, et nos estimations des économies possibles sont très modestes. C'est peut-être pourquoi les études de grande envergure effectuées récemment, comme celles de la *Rand Corporation*, du *M.I.T.* et de la Fondation Ford, prévoient qu'on réalisera d'ici l'an 2000 des économies deux fois plus considérables que celles indiquées dans la présente étude. Cette opinion est étayée par un « Livre blanc » sur l'économie d'énergie, publié par la *Federal Energy Administration* des É.-U., et d'après lequel la mise en œuvre de mesures obligatoires et facultatives permettrait de réduire de moitié, d'ici 1985, le taux actuel de croissance de la consommation d'énergie⁵.

68

5. « White Paper for Energy Conservation », *Science*, vol. 186, p. 427, 1^{er} novembre 1974.

VI. Conclusions



À divers égards, nous avons déjà formulé nos conclusions dans diverses sections de la présente étude, par exemple lors de l'analyse des résultats, et dans les considérations particulières des sections précédentes. Pour résumer les conclusions, nous avons souligné qu'une analyse de l'offre et de la demande permettrait d'élaborer un programme national d'économie de l'énergie et d'augmentation du rendement. Nous avons signalé qu'il est possible d'obtenir des économies appréciables sans réduire l'activité économique, grâce à une diminution de la consommation d'énergie par accroissement des rendements. L'économie nette réalisable dans l'ensemble du pays en 1995 atteint environ 15 pour cent de la consommation d'énergie prévue (projections normalisées). L'adoption d'un bon programme de régulation de la demande, par des mesures tant facultatives qu'obligatoires, pourrait permettre d'économiser 30 pour cent de la consommation énergétique prévue pour 1995.

Ces pourcentages revêtent toute leur importance quand on remarque que plus de 50 pour cent de l'approvisionnement d'énergie du Canada sont gaspillés. En outre, nous avons signalé qu'il y a moyen de réaliser d'importantes économies à court et à moyen termes (6,8 et 11,1 pour cent) grâce à des mesures techniques et sociales connues, et de réaliser aisément, au cours de la même période, le programme de R & D en matière d'économies à long terme. Nous avons également émis l'opinion selon laquelle les principaux obstacles à la mise en œuvre des mesures d'économie sont d'ordre social plutôt que technique. Il faut donc consulter le public, l'informer, l'éduquer et l'intéresser à la réalisation du programme d'économie de l'énergie et d'accroissement des rendements. C'est le gouvernement canadien qui devrait prendre l'initiative de faire participer le public à la réalisation immédiate de ce programme.

En dernier lieu, nous avons souligné qu'un tel programme d'économie n'est pas incompatible avec des objectifs économiques, et qu'il ne favorise ni ne combat la croissance extrapolée d'après les tendances passées. Nous sommes allés plus loin, car nous avons émis l'idée qu'un tel programme pourrait procurer des avantages économiques, tant directs qu'indirects. L'augmentation du rendement abaisse les coûts de production, tandis qu'une moindre consommation d'énergie réduit les frais de protection de l'environnement, ainsi que les immobilisations, souvent constituées par des capitaux d'origine étrangère. D'autres analystes ont poussé le raisonnement encore plus loin; ils prétendent que l'emploi montre un coefficient de corrélation négatif avec l'utilisation des techniques de production grosses consommatrices d'énergie, donc que l'économie d'énergie pourrait augmenter le nombre des emplois; cette considération est importante au Canada et dans les autres pays industrialisés. Nous ne sommes pas en mesure d'évaluer la validité de cette argumentation, qui devrait être étudiée attentivement. En fait, nous avons recommandé de refaire une analyse rigoureuse de toutes nos hypothèses tacites relatives à la consommation d'énergie, de façon à élaborer une bonne politique énergétique nationale. Il faut qu'elle soit claire et adap-

table, afin de tenir compte des conditions particulières et de leur évolution, et des options éventuelles.

Nous pensons qu'un déficit énergétique persistera au Canada pendant les 25 prochaines années au moins et que l'approvisionnement ne sera pas toujours régulier. Ce déficit, qui nous gêne, est compliqué par les besoins des É.-U. Les relations traditionnelles de ceux-ci avec les pays pétroliers du Proche-Orient subissent de profonds changements, et à ce sujet le « Project Independence » du président Nixon exprime les préoccupations des É.-U. Ces derniers chercheront de plus en plus à nous forcer la main pour obtenir plus facilement nos matières premières énergétiques. Il nous faut évaluer cette situation sous divers angles, dont le plus important est la quantité d'énergie réellement exportable. D'après des calculs récents, nos réserves mises en exploitation ne dureront pas longtemps (environ 10 années) et de lourdes menaces pèsent déjà sur notre approvisionnement énergétique.

Remarquons que l'étude de l'économie d'énergie doit se faire avec circonspection. Par exemple, l'augmentation maximale du rendement particulier d'un processus de transformation énergétique ou de production industrielle n'entraîne pas nécessairement l'optimisation du rendement global ou de la productivité, ni la réduction des coûts au minimum. Parfois, l'accroissement du rendement s'obtient en contrepartie d'un effort d'entretien plus considérable, d'une interruption de la production, d'une usure des machines ou même d'une plus forte utilisation de certaines matières premières. Nous ne devons jamais oublier que l'énergie fait partie d'un ensemble complexe. Son analyse systémique repose sur l'hypothèse de l'optimisation des avantages procurés par chaque sous-système, afin de donner le rendement maximal à l'ensemble. Cette même analyse doit nous amener à inclure, dans la mesure du possible, les coûts, tant internes qu'externes, dans nos évaluations. Par exemple, il peut se révéler fâcheux pour notre économie, ou pour notre environnement, de ne tenir compte que des avantages commerciaux de la vente d'électricité aux États-Unis, à cause des répercussions d'un accroissement de la production d'énergie. Nous avons déjà souligné qu'il fallait envisager les problèmes de rendement et d'économie énergétique par rapport à l'ensemble systémique de la production. Il est très difficile de chiffrer l'économie réalisée grâce à l'accroissement du rendement dans le secteur industriel, non seulement à cause du fractionnement des entreprises et de la confidentialité des données, mais aussi parce qu'il est difficile de mesurer les économies effectives et leur ordre de succession.

Enfin, nous recommandons, comme il ressort de notre analyse détaillée des économies, d'étudier la création d'un institut de recherche sur l'économie d'énergie, dont la tâche principale serait de mettre sur pied et de réaliser un programme de R & D en matière d'économie d'énergie et d'accroissement du rendement, à court et à long termes; ce programme devrait tenir compte des engagements nationaux et internationaux du Canada, et faciliter l'élaboration d'une politique énergétique nationale, cohérente et adaptable. Bien entendu, un autre grand volet de ce pro-

gramme serait axé sur la mise au point de nouvelles technologies énergétiques. Les économies énergétiques procurent les délais nécessaires pour l'élaboration soignée de ces technologies, afin qu'elles n'aient pas de répercussions fâcheuses sur l'environnement, la trame sociale ou l'activité économique. C'est pourquoi l'attitude de notre société change; elle abandonne des comportements de consommation débridée pour favoriser l'économie de l'énergie, et cette évolution pourrait être capitale pour sa survie dans un monde futur incertain. Après l'achèvement des travaux de recherche nécessaires à la présente étude, nous avons assisté à des retournements stupéfiants sur la scène mondiale de l'énergie. Citons l'embargo pétrolier du Proche-Orient et la flambée des prix des hydrocarbures. Ces événements étayaient fortement les recommandations que nous avons présentées.

On peut sérieusement mettre en doute les relations de cause à effet entre forte consommation individuelle d'énergie et Produit national brut. Une étude a montré¹ que d'autres indices sociaux, tels que ceux de santé, d'éducation, de cohésion sociale et autres indices du mode de vie n'ont pas de corrélation avec la consommation individuelle d'énergie, dès qu'il s'agit de pays économiquement développés. Les considérations d'économie énergétique ne peuvent rester théoriques, et il faut en faire une cheville ouvrière de la politique énergétique nationale. Il semble non seulement faisable, mais encore indispensable d'adopter la notion d'une économie « ménagère des ressources »² écartant systématiquement le gaspillage et les consommations non indispensables, en vue de satisfaire les nécessités essentielles.

1. A. Mazur et Eugene Rosa, *Science*, vol. 186, n° 4164, 15 novembre 1974, p. 607.

2. Oscar Morgenstern (Vienne), *Zeitschrift für nationale Ökonomie*, cité par *The New York Times*, 30 janvier 1974, pp. 43 et 51.

Annexes

Annexe A — Modèle mathématique des économies cumulées

Énoncé du problème

- A. Soit $R(t)$ le taux prévu de consommation d'énergie au moment (t) (en années), en supposant que la consommation d'énergie s'accroît d'un pourcentage fixe chaque année. $t = 0$ correspond à l'année 1973. Comme $dR(t)/dt = kR(t)$, nous avons le phénomène classique d'accroissement exponentiel: $R(t) = R(0)e^{kt}$, où $R(0)$ est naturellement le taux de consommation d'énergie en 1973 (à $t = 0$). En comparant les équations de $R(t + \Delta t)$ et de $R(t)$, on voit que
- $$R(t + \Delta t) = R(t) e^{k\Delta t} \quad (1)$$
- B. Si certaines mesures d'économie d'énergie sont appliquées pendant une durée de T années, commençant maintenant, on prévoit que le taux de consommation d'énergie diminuera à la fin de cette période d'une certaine fraction S . Le nouveau taux prévu de consommation d'énergie au moment $t = T$ sera alors
- $$(1-S) R(T) = (1-S) R(0) e^{kT} \quad (2)$$
- C. Le problème est de savoir quelle est l'économie cumulée pendant toute la période comprise entre $t = 0$ et $t = T$.

Résolution

- D. Soit $\bar{R}(t)$ le nouveau taux de consommation énergétique prévu au moment t , en supposant que les mesures d'économie ont été appliquées jusqu'à ce moment (t). Si d'autres mesures ne sont pas appliquées, le taux de consommation au temps ($t + \Delta t$) sera $\bar{R}(t)e^{k\Delta t}$, comme dans l'équation (1) précédente. Cependant, si d'autres mesures d'économie sont appliquées dans l'intervalle compris entre t et $t + \Delta t$, le taux prévu diminuera alors d'une certaine fraction $S(t, \Delta t)$ qui est en général fonction de t et Δt . Il en découle l'équation suivante:
- $$\bar{R}(t + \Delta t) = (1 - S(t, \Delta t)) \bar{R}(t) e^{k\Delta t} \quad (3)$$
- où, il faut se le rappeler, l'économie partielle est fonction à la fois de t et Δt . Cette fraction $S(t, \Delta t)$, qui correspond à l'intervalle compris entre t et $t + \Delta t$ est appelée coefficient d'économie.
- E. $S(t, 0)$ est évidemment égal à 0, si l'on pose $\Delta t = 0$ dans l'équation (3). Par conséquent, le développement en série de Taylor de $S(t, \Delta t)$ donne:
- $$S(t, \Delta t) = f(t) + \text{des termes en } (\Delta t)^2 \quad (4)$$
- où $f(t)$ symbolise le coefficient de Taylor $S'(t, 0)$. (Ceci signifie simplement que, pour des intervalles courts, le coefficient d'économie énergétique est proportionnel à la durée de l'intervalle; toutefois, la constante de proportionnalité $f(t)$ peut varier au cours de longs intervalles).
- F. En introduisant les termes de l'équation (4) dans l'équation (3), et en utilisant le développement en série de Taylor pour $e^{k\Delta t}$, à savoir $e^{k\Delta t} = 1 + k\Delta t + \text{des termes en } (\Delta t)^2$ on obtient l'équation suivante
- $$\bar{R}(t + \Delta t) = \bar{R}(t) + (k - f(t)) \bar{R}(t) \Delta t + \text{des termes en } (\Delta t)^2$$
- Ce qui donne
- $$\frac{\bar{R}(t + \Delta t) - \bar{R}(t)}{\Delta t} = (k - f(t)) \bar{R}(t) + \text{des termes en } \Delta t$$
- de sorte que finalement
- $$d\bar{R}(t)/dt = (k - f(t)) \bar{R}(t)$$
- G. Cette équation différentielle décrit le comportement du taux de con-

sommatum prévu si certaines mesures d'économie sont appliquées.

Donc,

$$\bar{R}(t) = \bar{R}(0)e^{kt} e^{k\Delta t}$$

avec

$$F(t) = \int_0^t f(u) du$$

- H. Par exemple, si ces mesures d'économies sont appliquées uniformément au cours de l'intervalle de $t = 0$ à $t = T$ (ce qui signifie que $f(t)$ est une constante: $f(t) = c$), on a alors:

$$\bar{R}(t) = \bar{R}(0)e^{(k-c)t} \quad (5)$$

Remarquons que l'application uniforme de ces mesures d'économie correspond à une croissance exponentielle à un taux modéré approprié.

- I. Pour évaluer les économies globales d'énergie résultant d'une politique d'économie donnée, il suffit d'intégrer les équations $R(t)$ et $R(t)$ sur ($t = 0, t = T$), et l'on obtient

$$E = \int_0^T R(t) dt = (R(0)/k) (e^{kT} - 1)$$

et

$$E = \int_0^T \bar{R}(t) dt$$

Les économies cumulées réalisées pendant cette période correspondent naturellement à $\bar{E} - E$.

- J. Dans le cas d'application uniforme des mesures, par exemple, $R(t)$ est donné par l'équation (5) et l'on a:

$$\bar{E} = (R(0)/(k-c)) (e^{(k-c)T} - 1)$$

en supposant, évidemment, que $\bar{R}(0) = R(0)$. Si l'on représente les économies d'énergie par $E - \bar{E} = \alpha E$, où α est l'économie partielle sur tout l'intervalle, on a:

$$\alpha = [-k/(k-c)] [(e^{(k-c)T} - 1)/(e^{kT} - 1)]$$

où k et c sont connus, et c exprime le taux de mise en œuvre des mesures d'économie énergétique.

- K. Si l'on applique ce modèle à la situation décrite au paragraphe B, où le taux de consommation prévu est donné par l'équation (2), on voit qu'il faut choisir c de telle manière que

$$R(t) = (1-S)R(0)e^{-ct}$$

Par conséquent $e^{-cT} = 1-S$

et $c = -1/T \log(1-S)$.

Du point de vue mathématique, cela revient à faire passer une courbe exponentielle par deux points. Tout cela suppose une application uniforme du programme d'économie.

- L. On pourrait donner une autre interprétation aux projections de l'équation (2). On pourrait soutenir que S est le coefficient d'économie découlant de l'application uniforme des mesures d'économie pendant l'intervalle donné, et dans ce cas, avec $\Delta t = T$, on aurait $c\Delta t = S$, ou $c = S/T$. Toutefois, ce choix de c entraîne $\bar{R}(T) = (1-S)R(T)$, à cause de la dynamique de la situation. Néanmoins, si S est suffisam-

ment petit, cette valeur de c sera presque identique à la valeur donnée précédemment, puisque

$$\log (1 - S) = -S + S^2/2 + S^3/3 + S^4/4 \dots$$

Par exemple, si $S = 0,15$ (ce qui représente une réduction de 15 pour cent du taux de croissance de la consommation d'énergie), on a, avec cette méthode, $cT = S = 0,15$ tandis qu'avec la méthode précédente, on a $cT = -\log(1 - S) \doteq 0,14$.

Annexe B — Analyse des économies

Analyse détaillée des économies réalisées dans le secteur des transports

à court terme (1975–1980)

Ces chiffres sont des pourcentages d'économie de la consommation annuelle d'énergie en 1980.

1* Trente pour cent des automobiles neuves vendues pendant cette période sont plus petites, et leur consommation moyenne de carburant est plus faible de 30 pour cent (en supposant que, compte tenu des renouvellements, 50 pour cent du parc automobile de 1980 sera composé de voitures fabriquées après 1975)

$$0,30 \times 0,50 \times 0,30 \times 0,49 \times 100 = 2,21\%$$

2. On améliore l'entretien du moteur et on utilise des pneus à carcasse radiale sur 30 pour cent des automobiles (augmentation moyenne du rendement: 10 pour cent)

$$0,30 \times 0,10 \times 0,49 \times 100 = 1,47\%$$

3. On réduit de 10 m/h la vitesse maximale sur les autoroutes (on suppose que 70 pour cent des automobiles roulant à plus de 60 m/h réduiront leur vitesse de 10 m/h, et que 50 pour cent du trafic interurbain s'effectue à plus de 60 m/h)

$$0,50 \times 0,35 \times 0,70 \times 0,13 \times 0,49 \times 100 = 0,77\%$$

4. On persuade 10 pour cent des banlieusards d'utiliser collectivement les automobiles. (On retranche 35 pour cent des économies de carburant à cause de la distance supplémentaire à parcourir)

$$0,10 \times 0,194 \times 0,417 \times 0,65 \times 100 = 0,52\%$$

5. Les autobus captent 10 pour cent supplémentaires des passagers-milles pour le centre-ville.

$$0,10 \times 0,26 \times 0,417 \times ((8\ 100 - 3\ 700)/8\ 100) \times 100 = 0,59\%$$

6. Les autocars (*intercity buses*) captent 5 pour cent supplémentaires des passagers-milles interurbains effectués en automobile.

$$0,05 \times 0,35 \times 0,417 \times ((3\ 400 - 1\ 600)/3\ 400) \times 100 = 0,39\%$$

7. Les autocars captent 30 pour cent supplémentaires des passagers-milles des vols intérieurs à 200 milles et moins. (On suppose que 2,8 pour cent du total des passagers-milles sont accomplis dans des vols de faible distance, que le transport aérien des passagers absorbe 85 pour cent de l'énergie totale consommée par le trafic aérien, et que les vols commerciaux intérieurs représentent 50 pour cent du total. La différence de consommation par passager-mille entre les vols à faible et à longue distance est tenue pour négligeable).

$$0,30 \times 0,028 \times 0,134 \times 0,85 \times 0,50 \times ((8\ 400 - 1\ 600)/8\ 400) \times 100 = 0,04\%$$

8. On persuade 10 pour cent des gens effectuant en ville des trajets de 2 milles ou moins d'opter pour la marche. (On sup-

* La *U.S. Federal Energy Administration* a demandé aux constructeurs automobile d'améliorer de 40 pour cent le rendement énergétique des nouveaux modèles d'ici 1979.

pose que 9 pour cent des passagers-milles représentent des trajets d'au plus 2 milles, et que la consommation d'énergie par passager-mille ne varie pas avec la distance parcourue.)

$$0,25 \times 0,09 \times 0,65 \times 0,417 \times 100 = 0,24\%$$

Économie totale à court terme 6,2%

à moyen terme (1980-1985)

Les chiffres indiqués sont des pourcentages de la consommation annuelle d'énergie dans le secteur des transports en 1985.

1. Réduction de 30 pour cent de la consommation de carburant de 50 pour cent des nouvelles voitures. On suppose qu'en 1985, en tenant compte des renouvellements, 50 pour cent du parc automobile sera composé de voitures construites après 1975.

$$0,50 \times 0,30 \times 0,453 \times 100 = 6,80\%$$

2. Comme la mesure n° 2 pour le court terme, mais elle s'applique à 50 pour cent des nouvelles voitures 2,25%

3. Comme la mesure n° 3 pour le court terme 0,75%

4. Comme la mesure n° 4 pour le court terme, avec 10 pour cent de banlieusards 0,49%

5. Diminution de 20 pour cent des passagers-milles en automobile vers le centre-ville, au profit des autobus 1,09%

6. Diminution de 20 pour cent des passagers-milles en automobile entre villes, au profit de l'autocar et du train, en parts égales

Autocar: $0,20 \times 0,35 \times 0,385 \times 0,50 \times ((3\ 400 - 1\ 600) / 3\ 400) \times 100 = 0,72\%$

Train: $0,20 \times 0,35 \times 0,385 \times 0,50 \times ((3\ 400 - 2\ 900) / 3\ 400) \times 100 = 0,20\%$

7. Comme la mesure n° 7 pour le court terme 0,05%

8. Comme la mesure n° 8 pour le court terme 0,22%

9. Diminution de 20 pour cent du camionnage interurbain au profit du rail.

$$0,20 \times 0,143 \times ((3\ 344 - 670) / 3\ 344) \times 100 = 2,28\%$$

10. Diminution de 10 pour cent des transports aériens intérieurs au profit du rail (on suppose que 50 pour cent de l'énergie absorbée par le trafic aérien est consommée par les vols intérieurs de passagers, et 15 pour cent par le fret aérien).

$$0,10 \times 0,15 \times 0,50 \times 0,166 \times ((4\ 200 - 670) / 4\ 200) \times 100 = 0,10\%$$

11. Meilleure conception des moteurs et des carrosseries de 30 pour cent des automobiles neuves vendues à partir de 1980, afin d'économiser en moyenne 25 pour cent du carburant (on suppose qu'après 1985, 50 pour cent du parc automobile se composera d'autos construites après 1980)

$$0,30 \times 0,25 \times 0,50 \times 0,453 \times 100 = 1,68\%$$

Économie totale à moyen terme 16,66%

à long terme (1985-1995)

Ces chiffres sont les pourcentages d'économie de la consommation annuelle d'énergie dans le secteur des transports en 1995.

1. Comme la mesure n° 1 à moyen terme 5,6%

| | |
|---|----------|
| 2. Comme la mesure n° 2 à court terme | 1,86% |
| 3. Comme la mesure n° 3 à court terme | 0,60% |
| 4. Comme la mesure n° 4 à moyen terme, mais pour 45 pour cent de banlieusards | 0,60% |
| 5. Diminution de 30 pour cent des passagers-milles automobiles vers le centre-ville au profit des autobus | 1,36% |
| 6. Comme la mesure n° 6 à moyen terme | a) 0,60% |
| | b) 0,16% |
| 7. Comme la mesure n° 7 à court terme | 0,07% |
| 8. Comme la mesure n° 8 à court terme | 0,19% |
| 9. Comme la mesure n° 9 à moyen terme | 2,46% |
| 10. Comme la mesure n° 10 à moyen terme | 0,14% |
| 11. Comme la mesure n° 11 à moyen terme, mais applicable à 50 pour cent des voitures neuves. On suppose qu'en 1995 toutes les voitures auront été construites après 1985. | 4,70% |
| 12. Accroissement de 50 pour cent du rendement du moteur de tous les véhicules de transport routier autres que les voitures particulières. On suppose que l'économie de carburant serait de 30 pour cent. | |
| $0,50 \times 0,30 \times 0,29 \times 100 =$ | 0,45% |
| <i>Économies à long terme</i> | 18,23% |

Analyse détaillée des économies dans le secteur domiciliaire

à court terme (1975-1980)

Les chiffres mentionnés sont les économies annuelles d'énergie en 1980, en billions (10^{12}) de Btu (1 billion de Btu = 0,252 gigathermie). La répartition de la consommation est fondée sur des données américaines.

| | Consommation présumée en % | Économies (en 10^{12} Btu) |
|---|-------------------------------|---------------------------------|
| 1. Augmentation de 20 pour cent du rendement du chauffage et du rafraîchissement de l'air par une meilleure isolation thermique de la maison | 70% | |
| a) dans 60 pour cent des nouveaux logements | | |
| $0,60 \times 0,70 \times 0,20 \times (1,33-1,20) \times 10^{15}$ | | 10,9 |
| b) dans 10 pour cent des logements anciens | | |
| $0,10 \times 0,70 \times 0,20 \times 1,20 \times 10^{15}$ | | 16,8 |
| 2. Réduction des infiltrations d'air, et augmentation du rendement des appareils (par un bon entretien), afin de réduire de 15 pour cent l'énergie consommée par le chauffage et le rafraîchissement de l'air. (Application de ces mesures à 20 pour cent des logements) | 70% | |
| $0,20 \times 0,70 \times 0,15 \times 1,33 \times 10^{15}$ | | 27,9 |
| 3. Abaissement (en hiver) ou élévation (en été) de 3° C de la température au thermostat pendant toute la journée, et application de ces mesures à 20 pour cent de tous les logements; on suppose obtenir une réduction de 9 pour cent de la consommation de combustible pour le chauffage et le rafraîchissement de l'air | 70% | |

| | <u>Économies</u> (en 10^{12} Btu) |
|---|--|
| $0,20 \times 0,70 \times 0,09 \times 1,33 \times 10^{15}$ | 16,8 |
| 4. Amélioration du rendement des chauffe-eau (par un bon entretien, une bonne isolation, l'abaissement du thermostat, etc.). On suppose obtenir une augmentation de 30 pour cent du rendement pour les nouveaux logements, de 20 pour cent pour les autres. | |
| a) application de ces mesures à 60 pour cent des nouveaux logements | 12% |
| $0,60 \times 0,12 \times 0,20 \times 0,13 \times 10^{15}$ | 2,8 |
| b) application de ces mesures à 10 pour cent des logements anciens | |
| $0,10 \times 0,12 \times 0,20 \times 1,20 \times 10^{15}$ | 2,8 |
| 5. Réduction de l'intensité d'éclairage, afin de réduire de 20 pour cent la consommation d'énergie | |
| a) application de ces mesures à 40 pour cent des nouveaux logements | 1% |
| $0,40 \times 0,01 \times 0,20 \times 0,13 \times 10^{15}$ | 0,1 |
| b) application de ces mesures à 10 pour cent des logements anciens | |
| $0,10 \times 0,01 \times 0,20 \times 1,20 \times 10^{15}$ | 0,2 |
| 6. Amélioration de 20 pour cent du rendement des climatiseurs individuels | 6% |
| a) application de ces mesures à 60 pour cent des nouveaux logements | |
| $0,60 \times 0,06 \times 0,20 \times 0,13 \times 10^{15}$ | 0,9 |
| b) application de ces mesures à 5 pour cent des logements anciens | |
| $0,05 \times 0,06 \times 0,20 \times 1,20 \times 10^{15}$ | 0,7 |
| 7. Amélioration de 10 pour cent du rendement des autres appareils électrodomestiques | 12% |
| a) application de ces mesures à 60 pour cent des nouveaux logements | |
| $0,60 \times 0,12 \times 0,10 \times 0,13 \times 10^{15}$ | 0,9 |
| b) application de ces mesures à 5 pour cent des logements anciens | |
| $0,05 \times 0,12 \times 0,10 \times 1,20 \times 10^{15}$ | 0,7 |
| <i>Total des économies énergétiques à court terme</i> | $81,5 \times 10^{12}$ Btu |
| <i>Pourcentage d'économie sectorielle</i> | 6.1% |

à moyen terme (1980–1985)

Les chiffres mentionnés représentent les billions de Btu économisés annuellement en 1985. La répartition de la consommation est conservée.

1. Comme la mesure n° 1 à court terme, mais augmentation du rendement de 30 pour cent

a) application de ces mesures à 70 pour cent des nouveaux logements (construits à partir de 1980)

$$0,70 \times 0,70 \times 0,30 \times (1,45 - 1,33) \times 10^{15} = 17,6$$

b) application de ces mesures à 10 pour cent de plus des loge-

| | <u>Économies</u> (en 10^{12} Btu) |
|---|--|
| ments anciens (construits avant 1975) | |
| $0,10 \times 0,70 \times 0,30 \times 1,20 \times 10^{15} =$ | 25,2 |
| 2. Comme la mesure n° 2 à court terme | |
| a) application de ces mesures à 30 pour cent des nouveaux logements (construits à partir de 1980) | |
| $0,30 \times 0,70 \times 0,15 \times 0,12 \times 10^{15} =$ | 3,8 |
| b) application de ces mesures à 10 pour cent de plus des anciens logements (construits avant 1980) | |
| $0,10 \times 0,70 \times 0,15 \times 1,33 \times 10^{15} =$ | 14,0 |
| (L'application de ces deux mesures, de concert avec les mesures à court terme, touchera donc 30 pour cent du parc immobilier en 1985) | |
| 3. Comme la mesure n° 3 à court terme | |
| Application de ces mesures à 20 pour cent des nouveaux logements et à 10 pour cent supplémentaires des logements anciens | |
| $(0,20 \times 0,70 \times 0,09 \times 0,12 \times 10^{15}) + (0,10 \times 0,70 \times 0,10 \times 1,85 \times 10^{15}) =$ | 10,6 |
| 4. Comme la mesure n° 4 à court terme, mais en supposant une amélioration du rendement de 30 pour cent | |
| a) application de ces mesures à 70 pour cent des nouveaux logements (construits après 1980) | |
| $0,70 \times 0,12 \times 0,30 \times 0,12 \times 10^{15} =$ | 3,0 |
| b) application de ces mesures à 10 pour cent supplémentaires des logements anciens (construits avant 1975) | |
| $0,10 \times 0,12 \times 0,30 \times 1,20 \times 10^{15} =$ | 4,3 |
| 5. Comme la mesure n° 5 à court terme | |
| a) application de ces mesures à 40 pour cent des nouveaux logements (construits après 1980) | |
| $0,40 \times 0,01 \times 0,20 \times 0,12 \times 10^{15} =$ | 0,1 |
| b) application de ces mesures à 10 pour cent supplémentaires des logements anciens (construits avant 1975) | |
| $0,10 \times 0,01 \times 0,20 \times 1,20 \times 10^{15} =$ | 0,2 |
| 6. Comme la mesure n° 6 à court terme | |
| a) application de ces mesures à 70 pour cent des nouveaux logements (construits après 1980) | |
| $0,70 \times 0,06 \times 0,20 \times 0,12 \times 10^{15} =$ | 1,0 |
| b) application de ces mesures à 10 pour cent supplémentaires des logements anciens (construits avant 1975) | |
| $0,10 \times 0,06 \times 0,20 \times 1,20 \times 10^{15} =$ | 1,4 |
| 7. Comme la mesure n° 7 à court terme | |
| a) application de ces mesures à 70 pour cent des nouveaux logements (construits après 1980) | |
| $0,70 \times 0,12 \times 0,10 \times 0,12 \times 10^{15} =$ | 1,0 |
| b) application de ces mesures à 10 pour cent supplémentaires des logements anciens (construits avant 1975) | |
| $0,10 \times 0,12 \times 0,10 \times 1,20 \times 10^{15} =$ | 1,4 |
| <i>Report des économies énergétiques à court terme</i> | 81,5 |
| <i>Économies cumulées à moyen terme</i> | <i>165,1 x 10¹² Btu</i> |
| <i>Pourcentage d'économie sectorielle</i> | <i>10,1%</i> |

à long terme (1985–1995)

Les chiffres mentionnés représentent les économies énergétiques annuelles en billions de Btu pour 1995. La répartition de la consommation est conservée.

| | <u>Économies</u> (en 10^{12} Btu) |
|--|--|
| 1. Comme la mesure n° 1 à moyen terme | |
| a) application de ces mesures à 70 pour cent des nouveaux logements (construits après 1985) | |
| $0,70 \times 0,70 \times 0,30 \times (1,87-1,45) \times 10^{15} =$ | 61,7 |
| b) application de ces mesures à 10 pour cent supplémentaires des logements anciens (construits avant 1975) | |
| $0,10 \times 0,70 \times 0,30 \times 1,20 \times 10^{15} =$ | 25,2 |
| 2. Comme la mesure n° 2 à court terme | |
| Application de ces mesures à 30 pour cent des nouveaux logements (construits après 1985) | 13,2 |
| 3. Comme la mesure n° 3 à court terme | |
| Application de ces mesures à 10 pour cent supplémentaires du parc immobilier | |
| $0,10 \times 0,70 \times 0,09 \times 1,87 \times 10^{15} =$ | 11,8 |
| 4. Comme la mesure n° 4 à moyen terme | |
| a) application de ces mesures à 70 pour cent des nouveaux logements (construits après 1985) | 10,6 |
| b) application de ces mesures à 10 pour cent supplémentaires des logements anciens (construits avant 1975) | 4,3 |
| 5. Comme la mesure n° 5 à court terme | |
| a) application de ces mesures à 40 pour cent des nouveaux logements (construits après 1985) | 0,3 |
| b) application de ces mesures à 10 pour cent supplémentaires des logements anciens (construits avant 1975) | 0,2 |
| 6. Comme la mesure n° 6 à court terme, mais en supposant une augmentation de 30 pour cent du rendement. | |
| a) application de ces mesures à 70 pour cent des nouveaux logements (construits après 1985) | 5,3 |
| b) application de ces mesures à 10 pour cent supplémentaires des logements anciens (construits avant 1975) | 2,2 |
| 7. Comme la mesure n° 7 à court terme, mais en supposant une augmentation de 20 pour cent du rendement | |
| a) application de ces mesures à 70 pour cent des nouveaux logements (construits après 1985) | 7,1 |
| b) application de ces mesures à 10 pour cent supplémentaires des logements anciens (construits avant 1975) | 2,9 |
| <i>Report des économies à moyen terme</i> | <i>165,1</i> |
| <i>Économies cumulées à long terme</i> | <i>319,9 x 10¹² Btu</i> |
| <i>Pourcentage d'économie sectorielle</i> | <i>16,7%</i> |

Analyse détaillée des économies énergétiques dans le secteur commercial

Les chiffres mentionnés représentent les économies énergétiques annuelles, en billions de Btu, à l'expiration du terme considéré.

| | Économies (en 10^{12} Btu) |
|--|------------------------------------|
| à court terme (1975–1980) | |
| Améliorations globales du rendement | |
| a) amélioration du rendement de 25 pour cent, les mesures étant appliquées à 25 pour cent des nouveaux locaux | |
| $0,25 \times 0,25 \times 0,50 \times 10^{15} =$ | 45,0 |
| b) amélioration du rendement de 15 pour cent, les mesures étant appliquées à 20 pour cent des locaux anciens | |
| $0,20 \times 0,15 \times 1,19 \times 10^{15} =$ | 25,0 |
| <i>Économies à court terme</i> | <i>70,0 x 10¹² Btu</i> |
| <i>Pourcentage d'économie sectorielle</i> | <i>4,1%</i> |
| à moyen terme (1980–1985) | |
| Améliorations globales | |
| a) amélioration de 35 pour cent du rendement, les mesures étant appliquées à 30 pour cent des nouveaux locaux (postérieurs à 1980) | |
| $0,30 \times 0,35 \times 0,56 \times 10^{15} =$ | 58,8 |
| b) amélioration de 15 pour cent du rendement, les mesures étant appliquées à 10 pour cent supplémentaires des locaux anciens (antérieurs à 1975) | |
| $0,10 \times 0,15 \times 1,10 \times 10^{15} =$ | 17,9 |
| <i>Report des économies à court terme</i> | <i>70,0</i> |
| <i>Économies cumulées à moyen terme</i> | <i>147,0 x 10¹² Btu</i> |
| <i>Pourcentage d'économie sectorielle</i> | <i>6,5%</i> |
| à long terme (1985–1995) | |
| Améliorations globales | |
| a) amélioration de 40 pour cent du rendement, avec application des mesures à 50 pour cent des nouveaux locaux (postérieurs à 1985) | |
| $0,40 \times 0,50 \times 1,46 \times 10^{15} =$ | 292,0 |
| b) amélioration de 20 pour cent du rendement, avec application des mesures à 20 pour cent supplémentaires des locaux anciens (antérieurs à 1975) | |
| $0,20 \times 0,20 \times 1,19 \times 10^{15} =$ | 47,6 |
| <i>Report des économies à moyen terme</i> | <i>147,0</i> |
| <i>Économies cumulées à long terme</i> | <i>486,6 x 10¹² Btu</i> |
| <i>Pourcentage d'économie sectorielle</i> | <i>13,1%</i> |

Analyse détaillée des économies dans le secteur industriel

(Les économies envisagées dans ce secteur sont très hypothétiques)

Les chiffres mentionnés représentent les économies annuelles en billions de Btu, à la fin du terme considéré.

| | Économies en pourcentage | Économies (en 10^{12} Btu) |
|---|-----------------------------|---------------------------------|
| à court terme | | |
| Améliorations globales du rendement de 30 pour cent du parc industriel, permettant de réduire la consommation d'énergie de 20 pour cent | 6,0% | |
| $0,20 \times 0,30 \times 2,06 \times 10^{15} =$ | | 124,8 |
| à moyen terme | | |
| Améliorations globales du rendement de 40 pour cent du parc industriel, permettant de réduire la consommation totale de 20 pour cent | 8,0% | |
| $0,20 \times 0,40 \times 2,60 \times 10^{15} =$ | | 205,2 |
| à long terme | | |
| Améliorations globales de 40 pour cent du parc industriel permettant de réduire la consommation d'énergie de 30 pour cent | 12,0% | |
| $0,30 \times 0,40 \times 3,63 \times 10^{15} =$ | | 432,8 |
| Économies énergétiques cumulées | | 762,8 |

Annexe C – Tableaux prévisionnels

Tableau n° 1 – Résumé des économies énergétiques en pourcentage et en billions (10¹²) de Btu, par secteur et par période

| | Économie sectorielle (en pourcentage) | Consommation ^b (en 10 ¹⁵ Btu) | Économie (en 10 ¹² Btu) |
|--------------------------------------|--|--|---------------------------------------|
| à court terme | | | |
| Transports | 6,2 | 2,09 | 130 |
| Logements | 6,1 | 1,33 | 81 |
| Commerces | 4,1 | 1,69 | 69 |
| Industrie | 6,0 | 2,06 | 124 |
| Consommation secondaire ^a | | 8,20 | |
| Compagnies d'électricité | 3,5 | 2,85 | 89 |
| <i>Total des économies</i> | <i>6,0</i> | | <i>493</i> |
| à moyen terme | | | |
| Transports | 16,7 | 2,50 | 416 |
| Logements | 10,1 | 1,45 | 165 |
| Commerces | 6,5 | 2,25 | 147 |
| Industrie | 8,0 | 2,60 | 200 |
| Consommation secondaire ^a | | 10,60 | |
| Compagnies d'électricité | 7,8 | 3,40 | 270 |
| <i>Total des économies</i> | <i>11,3</i> | | <i>1 198</i> |
| à long terme | | | |
| Transports | 18,2 | 3,70 | 673 |
| Logements | 16,7 | 1,87 | 312 |
| Commerces | 13,1 | 3,71 | 487 |
| Industrie | 12,0 | 3,63 | 436 |
| Consommation secondaire ^a | | 16,20 | |
| Compagnies d'électricité | 9,4 | 5,17 | 485 |
| <i>Total des économies</i> | <i>14,8</i> | | <i>2 393</i> |

^a Ce montant ne représente pas le total de ce qui précède, mais l'énergie primaire consommée moins les pertes de transformation.

^b tiré du tableau n° 2.

Tableau n° 2 – Projections de la consommation d'énergie (en 10¹⁵ Btu) par secteur et par période

| | 1975 | 1980 | 1985 | 1990 | 1995 | 2000 |
|--------------------------------------|------|------|-------|-------|-------|-------|
| Transports | 1,55 | 2,09 | 2,50 | 3,09 | 3,70 | 4,47 |
| Logements | 1,20 | 1,33 | 1,45 | 1,63 | 1,87 | 2,10 |
| Commerces | 1,19 | 1,69 | 2,25 | 3,03 | 3,71 | 4,49 |
| Industrie | 1,70 | 2,06 | 2,60 | 3,05 | 3,63 | 4,20 |
| Consommation secondaire ^a | 6,70 | 8,20 | 10,60 | 13,10 | 16,20 | 20,23 |
| Compagnies d'électricité | 2,24 | 2,85 | 3,40 | | 5,17 | 5,97 |

^a Ce chiffre ne représente pas le total de ce qui précède, et n'est pas non plus identique au total des « prévisions normalisées »; il est calculé selon l'exponentielle théorique qui passe par le point d'une consommation de $20,2 \times 10^{15}$ Btu en l'an 2000.

Source: Ministère de l'Énergie, des Mines et des Ressources, « *Politique canadienne de l'énergie* », Information Canada, Ottawa, 1973.

Tableau n° 3 – Consommation des compagnies d'électricité (en 10¹⁵ Btu)

| | 1975 | 1980 | 1985 | 1995 | 2000 |
|---|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| Hydro-électricité utilisée | 1,93 | 2,33 | 2,61 | 2,96 | 3,12 |
| Électricité d'origine thermique utilisée | 0,31 | 0,52 | 0,79 | 2,21 | 2,85 |
| <i>Totaux</i> | <i>2,24</i> | <i>2,85</i> | <i>3,40</i> | <i>5,17</i> | <i>5,97</i> |
| Utilisation de la chaleur dissipée par les centrales thermiques | 0,74 | 1,29 | 1,46 | 4,12 | 5,30 |

Sources: Ministère de l'Énergie, des Mines et des Ressources « *Politique canadienne de l'énergie* » Information Canada, Ottawa 1973 et rendement des centrales en fonctionnement. Ministère de l'Énergie, des Mines et des Ressources « *Energy Conversion and Conservation* », par A.C.S. Hayden, Information Canada, 1973.

Tableau n° 4 – Indice de la consommation projetée d'énergie (point de départ: 1975 = 100)

| | 1975 | 1980 | 1985 | 1995 |
|--------------------------|------|------|------|------|
| Transports | 100 | 135 | 161 | 239 |
| Logements | 100 | 111 | 121 | 156 |
| Commerces | 100 | 142 | 189 | 312 |
| Industrie | 100 | 121 | 153 | 214 |
| Compagnies d'électricité | 100 | 124 | 153 | 232 |

Source: Tableau n° 2.

Tableau n° 5 – Résumé des économies (en 10¹⁵ Btu) par secteur et par période

| Secteur | à court terme | à moyen terme | à long terme |
|--|---------------|---------------|--------------|
| | 1980 | 1985 | 1995 |
| Transports | 0,13 | 0,42 | 0,67 |
| Logements - commerces | 0,15 | 0,31 | 0,80 |
| Compagnies d'électricité | 0,09 | 0,27 | 0,49 |
| Industrie | 0,12 | 0,20 | 0,44 |
| Total des économies | 0,49 | 1,20 | 2,40 |
| En pourcentage de la consommation secondaire | 5,97% | 11,32% | 14,81% |
| Consommation réduite d'énergie ^a | 7,71 | 9,40 | 13,80 |

^a Consommation secondaire moins les économies

Tableau n° 6 – Consommation réduite d'énergie par secteur (en 10¹⁵ Btu)

| Secteur | à court terme | à moyen terme | à long terme |
|---|---------------|---------------|--------------|
| | | | |
| Transports | 1,96 | 2,08 | 3,03 |
| Logements - commerces | 2,87 | 3,39 | 4,78 |
| Compagnies d'électricité | 2,76 | 3,13 | 4,68 |
| Industrie | 1,94 | 2,40 | 3,19 |
| Consommation réduite, à la fin de la période ^a | 7,71 | 9,40 | 13,80 |
| Consommation secondaire selon les « prévisions normalisées » du ministère de l'Énergie, des Mines et des Ressources | 8,20 | 10,60 | 16,20 |

^a Ce chiffre représente la différence entre la consommation projetée originalement (tableau n° 2) et les économies calculées (tableau n° 5)

Tableau n° 7 – Rendement des divers modes de transports

| <i>Transport interurbain de passagers</i> | | |
|---|---------------------------------|-----------------------|
| Moyen de transport | Btu/passager-mille ^d | passager-mille/gallon |
| Autocar | 1 600 | 104 ^a |
| Train | 2 900 | 57 ^a |
| Automobile | 3 400 | 44 ^b |
| Avion | 8 400 | 17 ^c |
| <i>Transport urbain de passagers</i> | | |
| Transport en commun (autres qu'autobus) | 4 100 | |
| Autobus | 3 700 | 62 ^a |
| Automobile | 8 100 | 18 ^b |
| <i>Transport de marchandises</i> | | |
| Moyen de transport | Btu/tonne-mille | tonne-mille/gallon |
| Rail | 670 | 250 ^a |
| Cours d'eau | 680 | |
| Camion | 3 800 | |
| Avion | 42 000 | 3 ^c |

Légende:

^a moteurs diesel et gazole dont 35 gallons valent $5,83 \times 10^6$ Btu

^b essence d'automobile dont 35 gallons valent $5,22 \times 10^6$ Btu

^c carburant d'aviation dont 35 gallons valent $5,05 \times 10^6$ Btu

^d données recueillies aux É.-U.

Sources: Bureau de la conservation de l'énergie, ministère de l'Énergie, des Mines et des Ressources

Eric Hirst, « Transportation Energy Use and Conservation Potential » *Science and Public Affairs*, vol. 29(9), pp. 36-42.

Tableau n° 8 – Comparaison des consommations d'énergie par secteur aux É.-U. et au Canada en 1971

| Secteur | Canada (en pourcentage) | É.-U. (en pourcentage) |
|--------------------------|----------------------------|---------------------------|
| Transports | 21 | 25 |
| Logements - commerces | 29 | 21 |
| Compagnies d'électricité | 26 | 25 |
| Industrie | 24 | 29 |

N.B. Ces chiffres ne représentent pas des utilisations nettement séparées en raison d'empêtements, mais montrent les différences entre secteurs de même nature.

Tableau n° 9 – Répartition en pourcentage de la consommation d'énergie dans le secteur des transports

| | 1975 | 1980 | 1985 | 1995 |
|---|------|------|------|------|
| Route ^a | | | | |
| Automobile ^b | 50,3 | 49,0 | 45,3 | 37,8 |
| passagers ^c | 42,8 | 41,7 | 38,5 | 32,1 |
| marchandises ^c | 7,5 | 7,3 | 6,8 | 5,7 |
| Autres moyens de transport ^b | 25,2 | 26,0 | 27,0 | 29,0 |
| camionnage interurbain ^d | | 13,8 | 14,3 | 15,4 |
| Pourcentage du transport routier | 75,5 | 75,0 | 72,3 | 66,8 |
| Voie ferrée ^a | 5,7 | 4,9 | 4,8 | 4,6 |
| Voie aérienne ^a | 10,8 | 13,4 | 16,6 | 23,0 |
| Voie navigable ^a | 7,3 | 6,7 | 6,3 | 6,0 |

N.B. Tous ces chiffres sont des pourcentages de la consommation d'énergie du secteur des transports

^a Tiré de la source n° 1.

^b Tiré de la source n° 2.

^c En supposant que 85 pour cent de l'énergie consommée par les automobiles sert au transport des passagers.

^d En supposant que le camionnage interurbain utilise 53 pour cent de l'énergie (Tiré de Canadian Resourcecon).

Sources: 1 – Ministère de l'Énergie, des Mines et des Ressources, *Politique canadienne de l'énergie*, Information Canada, Ottawa, 1973.

2 – étude de documentation à paraître, *Energy Scenarios for the Future*, par Hedlin Menzies and Associates Ltd. Également, étude effectuée en 1973 par Canadian Resourcecon pour le Centre de développement des transports.

Tableau n° 10 – Répartition en pourcentage des passagers-milles et de la consommation d'énergie des transports de passagers par automobile

| | Passagers- milles | Consommation d'énergie |
|---|----------------------|---------------------------|
| Transports urbains | 16,4 ^b | 26,0 |
| vers le centre-ville | 4,9 ^c | 7,7 |
| banlieusards | 11,5 | |
| Périphérie | 24,6 | |
| banlieusards | 7,4 ^c | 11,7 |
| non banlieusards | 17,2 | |
| Pourcentage pour les transports urbains | 41,0 ^a | 65,0 ^d |
| Transports interurbains | 59,0 | 35,0 ^d |

^a Tiré de la source n° 1

^b En supposant que 40 pour cent des passagers-milles sont imputables à des déplacements en direction du centre-ville.

^c En supposant que 30 pour cent des passagers-milles sont imputables aux déplacements des banlieusards.

^d D'après des données sur le rendement des transports aux É.-U., tirés de la source n° 2.

Sources: 1 – Étude effectuée en 1973 par Canadian Resourcecon pour le Centre de développement des transports.

2 – Eric Hirst, « Transportation Energy Use and Conservation Potential » *Science and Public Affairs*, vol. 29(9), pp. 36-42.

Annexe D – Étude comparative des mesures d'économie énergétique

Études générales

1. USA, A Staff Study from the Executive Office of the President, Office of Emergency Preparedness, *The Potential for Energy Conservation*, octobre 1972.
2. Ministère de l'Énergie, des Mines et des Ressources, Laboratoire canadien de recherche sur la combustion, *Transformation et conservation de l'énergie*, par A.C.S. Hayden, Information Canada, Ottawa, 1973.
3. Charles A. Berg, « Energy Conservation Through Effective Utilization », *Science*, 13 juillet 1973, vol. 181, pp. 129–138.
4. Eric Hirst et John C. Moyers, « Efficiency of Energy Use in the United States », *Science*, 29 mars 1973, vol. 179, pp. 1299–1304.
5. USA, Office of Science and Technology, Executive Office of the President, *Patterns of Energy Consumption in the United States*, janvier 1972.
6. AAAS, *Energy and the Future*, Allen L. Hammond, dir. de publ., Freeman, San Francisco, 1973, chapitres 20 et 21.
7. Ronald B. Doctor, *Energy Alternatives for California: The Current Crisis et Conservation of Energy*, The Rand Corporation, décembre 1973.
8. G.H. West, « Efficiency in Energy Use », communication présentée à la Conférence nationale de l'énergie, Winnipeg, 12-13 février 1974.
9. « Exploring Energy Choices », A Preliminary Report of the Ford Foundation's Energy Policy Project, 1974.

Secteur des transports

10. A.C. Malliaries, Transportation Systems Center et R.L. Strombotne, Office of the Secretary, U.S. Dept. of Transportation, « Demand for Energy by the Transportation Sector and Opportunities for Energy Conservation », communication présentée à la Conférence sur l'économie d'énergie, MIT, 1973.
11. Voir le n° 4.
12. David Moiris, « Energy and Transportation », étude effectuée pour la West Coast Access Study, C.S.T.A., 8 juin 1973.
13. « The Future of the Automobile in America », *Motor Trend*, avril 1972, p. 84.
14. Communication personnelle de G.M.C. et de Ford of Canada.
15. Eric Hirst, « Transportation Energy Use and Conservation Potential », *Science and Public Affairs*, vol. 29(9), pp. 36–42.

Secteur domiciliaire et commercial

16. Bryan Cook et A.K. Biswas, *Beneficial Uses for Thermal Discharges*, Direction des systèmes écologiques, Environnement Canada, septembre 1972.
17. Divers articles et documents non publiés de R.S. Bycraft, Division de l'énergie mécanique, ministère des Travaux publics, Ottawa.
18. W.G. Brown, « District Heating for Canadian Towns and Cities », Division des recherches sur le bâtiment, NRC, Technical Paper No. 360, février 1972.

N.B. La plupart des études générales traitent des économies dans les quatre secteurs.

19. P.H. Ooshuzine, C.K. Rush et P.C. Hall, « Effects of Technology on Residential-Commercial Energy Demand in Ontario », Kingston, Ontario, 14 mars 1972.

20. Richard G. Stein, « A Matter of Design », *Environment*, octobre 1972, vol. 28, pp. 17-29.

21. *Emphasis 73 – Conservation*, Carolina Power and Light Company, mai 1973.

22. John Moss, « Heat Balanced Buildings », *Spectrum*, 1973, vol. 9(104), p. 9.

23. D.G. Stephenson, Division des recherches sur le bâtiment, NRC, (communications personnelles); également D.G. Stephenson « Chauffage des locaux et conservation de l'énergie », *Digest de la construction au Canada*, 1971, vol. 142.

24. R.K. Beach, *Effect of Insulation on Fuel Costs*, Division des recherches sur le bâtiment, NRC, Ottawa, mai 1965.

Compagnies d'électricité

25. D.E. Chapman et coll., « Electricity Demand Growth and the Energy Crisis », *Science*, 1972, vol. 178, p. 703.

26. R.D. Doctor et coll., *California's Electric Quandry*, The Rand Corporation, 1972.

27. W. Heller, « Coming to Terms with Growth and the Environment », S.H. Schuis, dir. de publ., Johns Hopkins Press, Baltimore, 1972.

Secteur industriel

28. H.C. Hottel et J.B. Howard, *New Energy Technology – Some Facts and Assessments*, MIT Press, décembre 1971.

29. J.D. Nesbitt, *Improving the Use of Natural Gas in Steel Mill Applications*, Institute of Gas Technology, Chicago, 1972.

30. R.B. Rosenberg, *The Future of Industry*, Institute of Gas Technology, Chicago, 1973.

Publications du Conseil des sciences du Canada

Rapports annuels

- Premier rapport annuel, 1966-1967 (SS1-1967F)**
- Deuxième rapport annuel, 1967-1968 (SS1-1968F)**
- Troisième rapport annuel, 1968-1969 (SS1-1969F)**
- Quatrième rapport annuel, 1969-1970 (SS1-1970F)**
- Cinquième rapport annuel, 1970-1971 (SS1-1971F)**
- Sixième rapport annuel, 1971-1972 (SS1-1972F)**
- Septième rapport annuel, 1972-1973 (SS1-1973F)**
- Huitième rapport annuel, 1973-1974 (SS1-1974F)**
- Neuvième rapport annuel, 1974-1975 (SS1-1975F)**

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,* **Le 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 des richesses naturelles au Canada**, janvier 1973 (SS22-1973/19F, \$1.25)
- Rapport n° 20*, **Le Canada, les sciences et la politique internationale**, janvier 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)

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 – Projection 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^e partie, Premier chapitre: Les ministères et organismes publics (SS21-1/8-2-1F, \$1.75)
II^e partie, Chapitre 2: L'industrie (SS21-1/8-2-2F, \$1.25)
II^e partie, Chapitre 3: Les universités (SS21-1/8-2-3F, \$1.75)
II^e partie, Chapitre 4: Organismes internationaux et étrangers (SS21-1/8-2-4F, \$1.00)
II^e partie, Chapitre 5: Les techniques et les sources (SS21-1/8-2-5F, \$1.25)
II^e partie, Chapitre 6: Les bibliothèques (SS21-1/8-2-6F, \$1.00)
II^e 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.E. 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. Biden, 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 transports**, 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,* **Perspectives 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. Roche 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 (SS21-1/33F, Canada: \$1.75; autres pays: \$2.10)

Aspects de la politique scientifique du Canada
Aspects 1, septembre 1974 (SS21-2/1F, \$1.00)

Publications hors-série

Manifeste national des écoles de foresterie des universités canadiennes,
octobre 1973

Manifeste commun des facultés d'agriculture et de médecine vétérinaire des universités canadiennes, 1975

Conseil des sciences du Canada