

# SÉNAT

PREMIERE SESSION ORDINAIRE DE 1977-1978

Enregistré à la Présidence du Sénat le 30 janvier 1978.  
Rattaché pour ordre au procès-verbal de la séance du 21 décembre 1977.

## RAPPORT D'INFORMATION

FAIT

*au nom de la Commission des Affaires économiques et du Plan (1),  
à la suite de la mission effectuée à Istanbul du 19 au 25 sep-  
tembre 1977 pour suivre les travaux de la X<sup>e</sup> Conférence  
mondiale de l'Energie,*

Par MM. Jean-François PINTAT, André BARROUX,  
Jean FILIPPI, Léandre LÉTOQUART et Paul MALASSAGNE,

*Sénateurs.*

---

(1) Cette commission est composée de : MM. Michel Chauty, président ; Robert Laucournet, Bernard Legrand, Joseph Yvon, Marcel Lucotte, vice-présidents ; Francisque Collomb, Marcel Lamaire, Jacques Eberhard, André Barroux, secrétaires ; Octave Bajoux, Charles Beaupetit, Georges Berchet, Auguste Billémax, Jean-Marie Bouloux, Amédée Bouquerel, Raymond Bouvier, Jacques Braconnier, Marcel Brégégère, Raymond Brum, Pierre Ceccaldi-Pavard, Fernand Chatelain, Auguste Chupin, Jean Collin, Jacques Coudert, Raymond Courrière, Pierre Croze, Léon David, René Debesson, François Dubanchet, Hector Dubois, Emile Durieux, Gérard Ehlers, Jean Filippi, Pierre Gaudin, Léon-Jean Grégory, Roland Grimaldi, Paul Guillaumot, Rémi Herment, Maxime Javelly, Pierre Jeambrun, Paul Kauss, Pierre Labonde, France Lechenault, Fernand Lefort, Charles-Edmond Lenglet, Léandre Létouart, Paul Malassagne, Pierre Marzin, Daniel Millaud, Paul Mistral, Jacques Moisson, Jean Natall, Pierre Noé, Henri Olivier, Louis Orvoan, Bernard Parmentier, Bernard Pellarín, Albert Pen, Pierre Perrin, André Picard, Jean-François Pintat, Richard Pouille, Maurice PrévotEAU, Jean Proriot, Roger Quilliot, Jean-Marie Rausch, Roger Rinchet, Jules Roujon, Maurice Schumann, Michel Sordel, Pierre Tujan, René Trévert, Raoul Vadeplod, Charles Zwickert.

---

*Energie. — Charbon - Pétrole - Gaz - Energie hydraulique - Energie nucléaire -  
Energies nouvelles - Conférences mondiales de l'énergie.*

## SOMMAIRE

	Pages.
Introduction .....	4
I. — Rappel des objectifs de la conférence et des différentes sessions tenues précédemment .....	5
II. — Organisation des travaux.....	9
III. — Production, consommation et utilisation des sources énergétiques classiques :	
A. — Evolution de la production et de la consommation mondiale d'énergie de 1960 à 1975.....	13
B. — Utilisation de l'énergie et part des différentes sources.....	20
IV. — Perspectives d'évolution des besoins mondiaux jusqu'en 2020.....	24
V. — Contribution des principales sources énergétiques conventionnelles :	
A. — Le charbon .....	27
B. — Le pétrole .....	34
C. — Le gaz naturel.....	42
D. — L'énergie hydraulique .....	45
VI. — L'énergie nucléaire :	
A. — Bref rappel historique.....	50
B. — Avantages et handicaps.....	51
C. — Situation actuelle et perspectives de développement des équipements nucléaires .....	55
D. — Le problème de l'approvisionnement en uranium.....	53
E. — Recours possible au thorium .....	60
VII. — Les énergies et technologies nouvelles :	
A. — L'énergie solaire .....	62
B. — L'énergie géothermique .....	66
C. — L'énergie éolienne .....	68
D. — Les biomasses .....	68
E. — La fusion nucléaire .....	69
F. — Deux carburants d'avenir : l'hydrogène et le méthanol.....	71
Conclusion .....	73
Annexe .....	79

## COMPOSITION DE LA DELEGATION

*Membres* : MM. Jean-François Pintat, sénateur de la Gironde, président du groupe d'étude de l'Energie; André Barroux, sénateur du Puy-de-Dôme; Jean Filippi, sénateur de la Corse, ancien Ministre; Léandre Létouart, sénateur du Pas-de-Calais; Paul Malassagne, sénateur du Cantal.

*Secrétariat* : M. Pierre Le Marois, administrateur des Services du Sénat.

**Mesdames, Messieurs,**

Il y a maintenant plus de quatre ans que les principaux exportateurs de pétrole ont, en prenant le contrôle de leurs gisements et en accroissant considérablement le prix de vente du « brut », profondément modifié les conditions de notre approvisionnement énergétique et chimique et souligné sa fragilité.

Sans nous en rendre compte, en effet, nous étions devenus, en moins de quinze ans, presque totalement dépendants de quelques pays et d'un seul produit dans un domaine qui conditionne étroitement notre niveau de vie et notre activité. Certes, la plupart des pays industrialisés ont été affectés par ce renchérissement pétrolier, mais en dehors du Japon et de l'Italie, aucun n'est aussi dépourvu que le nôtre en ressources propres.

Notre Assemblée n'a pas attendu ces répercussions de la guerre du Kippour pour prendre conscience de ce grave handicap puisque, dès 1972, un Groupe de l'énergie constitué en son sein, s'est donné pour rôle d'informer le Sénat et, au-delà, d'alerter l'opinion publique.

Egalement préoccupée de cette question, votre Commission des Affaires économiques, dont une délégation avait déjà suivi à Détroit, en 1974, les travaux de la neuvième session de la Conférence mondiale de l'Énergie, a jugé nécessaire d'envoyer plusieurs de ses membres à Istanbul en septembre dernier, pour participer à la dixième session de cet organisme.

Le présent document n'a pas la prétention de rendre compte de tous les rapports présentés et discutés à cette occasion, d'autant que la synthèse officielle en sera faite par les hauts responsables de la Conférence, mais nous avons jugé utile de vous exposer, sans plus attendre, et de façon résumée, les données générales du problème énergétique mondial et les principales solutions proposées ; on pourra d'ailleurs constater qu'elles ne sont pas sensiblement différentes malgré la diversité de situation des très nombreux pays qui s'étaient fait représenter en Turquie par les meilleurs de leurs experts.

## I. — RAPPEL DES OBJECTIFS DE LA CONFERENCE ET DES DIFFERENTES SESSIONS TENUES PRECEDEMMENT

C'est au cours d'une première réunion qui s'est tenue à Londres en 1924 qu'a été constituée la Conférence mondiale de l'Énergie, organisme international permanent dont les objectifs ont été définis par un mémorandum approuvé le 11 juillet de la même année. Les buts précisés par ce mémorandum et modifiés en 1958 et 1968 sont de promouvoir le développement et l'utilisation pacifique des ressources énergétiques pour le plus grand profit de tous.

Ce résultat est recherché notamment par :

— l'étude des ressources potentielles et de tous les moyens de production, de transport, de transformation et d'utilisation de l'énergie sous tous les aspects ;

— l'étude de la consommation énergétique et de ses rapports avec la croissance de l'activité économique d'une région ;

— la tenue de conférences entre les personnes intéressées sur les sujets énumérés ci-dessus.

Il a été décidé enfin que des conférences plénières auraient lieu tous les trois ans.

### Les précédentes sessions et leurs objectifs.

*Première conférence mondiale de l'Énergie, Londres, 1924.*

Thème : les ressources mondiales en énergie et en combustibles et leur utilisation optimale.

Session partielle de Bâle, 1926 :

Thème : le développement de l'énergie hydraulique et la navigation intérieure.

Conférence sur le combustible, Londres, 1928 :

Thème : l'économie générale des industries de combustibles ; la préparation et l'utilisation des combustibles.

Session partielle de Barcelone, 1929 :

Thème : l'utilisation et l'économie des ressources hydrauliques.

Session partielle de Tokyo, 1929 :

Thème : le développement national et international des ressources en énergie.

*Deuxième Conférence mondiale de l'Énergie, Berlin, 1930.*

Thème : le problème de l'énergie étudié sous divers aspects.

Session partielle de Scandinavie, 1933 :

Thème : les problèmes de l'énergie dans la grande industrie et dans les transports sur terre et sur mer.

Congrès du génie chimique, Londres, 1936 :

Thème : première conférence internationale sur le génie chimique.

*Troisième Conférence mondiale de l'Énergie, Washington D. C. 1936.*

Thème : l'économie nationale de l'énergie.

Session partielle de Vienne, 1938 :

Thème : la fourniture d'énergie à l'agriculture, à la petite industrie, aux arts ménagers, à l'éclairage public et aux chemins de fer.

Conférence sur l'économie des combustibles, La Haye, 1947 :

Thème : l'économie des combustibles depuis 1939 ; production, distribution et utilisation des combustibles et de l'énergie.

*Quatrième Conférence mondiale de l'Énergie, Londres, 1950.*

Thème : les ressources mondiales et la production d'énergie.

Session partielle de New Delhi, 1951 :

Thème : l'utilisation de l'électricité en agriculture et la coordination du développement des industries avec celui des ressources en énergie.

**Session partielle de Rio de Janeiro, 1954 :**

**Thème :** la planification dans l'industrie de l'électricité ; l'industrie électrique dans les régions tropicales et subtropicales ; les combustibles naturels et dérivés ; l'énergie éolienne ; l'énergie solaire ; les aménagements hydro-électriques internationaux ; les utilisations de l'énergie électrique.

*Cinquième Conférence mondiale de l'Énergie, Vienne, 1956.*

**Thème :** les ressources mondiales d'énergie à la lumière des récents progrès techniques et économiques.

**Session partielle de Belgrade, 1957 :**

**Thème :** l'énergie comme facteur de croissance des pays en voie de développement.

**Session partielle de Montréal, 1958 :**

**Thème :** les tendances économiques de la production, du transport et de l'utilisation des combustibles et de l'énergie.

**Session partielle de Madrid, 1960 :**

**Thème :** les procédés qui permettent de résoudre les problèmes de pénurie d'énergie.

*Sixième Conférence mondiale de l'Énergie, Melbourne, 1962.*

**Thème :** les aspects nouveaux du domaine de l'énergie.

**Session partielle de Lausanne, 1964 :**

**Thème :** la lutte contre les pertes dans le domaine de l'énergie.

**Session partielle de Tokyo, 1966 :**

**Thème :** les problèmes de l'utilisation de l'énergie dans les années à venir.

*Septième Conférence mondiale de l'Énergie, Moscou, 1968.*

**Thème :** les ressources énergétiques mondiales et leur utilisation au profit de l'humanité.

*Huitième Conférence mondiale de l'Énergie, Bucarest, 1971.*

**Thème :** le progrès dans la mise en valeur de l'énergie, en particulier par des utilisations complexes.

*Neuvième Conférence mondiale de l'Energie, Detroit, 1974.*

**Thème : les déficits posés à l'économie et à l'environnement par les besoins futurs d'énergie.**

**Rappelons, pour mémoire, qu'une délégation de votre Commission des Affaires économiques, composée de MM. Jean-François Pintat, Jean Filippi, Robert Laucournet et Paul Malassagne, sénateurs, et de M. Jean Laporte, administrateur des Services du Sénat, avait participé à cette neuvième session et qu'un rapport d'information (n° 96, 1974-1975) a rendu compte de cette réunion**

## II. — ORGANISATION DES TRAVAUX

Toutes les réunions officielles de la X<sup>e</sup> Conférence mondiale de l'Énergie ont eu lieu au Centre culturel Atatürk, situé au cœur d'Istanbul, place Taksim. Les congressistes disposaient, dans ce cadre, de toutes les facilités souhaitables et de salles de réunion vastes et bien aménagées où la traduction simultanée des discours était assurée dans les trois langues officielles de la conférence : turc, anglais et français.

Environ 4 500 délégués appartenant à soixante-dix pays ont participé à la conférence qui s'est déroulée du 19 au 23 septembre 1977.

### A. — Thème général et programme.

Le thème général choisi par les organisateurs était *la disponibilité et l'utilisation rationnelle de l'énergie*.

La présentation des aspects principaux de ce vaste sujet a été confiée à quatre divisions, dont les travaux ont été présentés en séances plénières.

Les sujets ainsi sériés se présentent comme suit :

Division I. — *Développement des ressources énergétiques classiques :*

Se situent dans ce cadre les rapports traitant des techniques récemment mises au point pour accroître les réserves connues ou en améliorer l'exploitation.

Division II. — *Préservation dans l'usage de l'énergie :*

Rapports concernant les moyens d'économiser l'énergie par des améliorations technologiques ou un usage plus approprié.

Division III. — *Préservation de l'énergie primaire :*

Etudes traitant plus particulièrement de la conversion de l'énergie primaire en d'autres formes d'énergie afin d'en faciliter l'utilisation et le transport.

Division IV. — *Ressources énergétiques non classiques :*

Rapports relatifs aux énergies dites « nouvelles ».

En dehors des séances techniques axées sur les thèmes définis ci-dessus, étaient organisées sept « tables rondes » spécifiques, consacrées notamment à l'étude des différentes sources énergétiques, classiques ou non : pétrole, gaz, charbon, plutonium, énergies nouvelles.

..

Sur le plan de l'organisation et de la procédure, le grand nombre de participants avait nécessité l'établissement de règles assez strictes.

En ce qui concerne les séances techniques, le bureau était constitué par un président, deux vice-présidents et un rapporteur général.

Le président ouvrait la séance, puis invitait le rapporteur général à présenter un résumé de son exposé avant de donner la parole aux intervenants, eux-mêmes choisis parmi les personnes s'étant fait inscrire avant le début de la réunion.

Pour les « tables rondes », la formule adoptée était sensiblement différente car, en dehors du président et du vice-président et du ou des rapporteurs, siégeait, au bureau, un groupe de spécialistes (dits « panélistes ») qui commentaient le rapport présenté et répondaient éventuellement aux questions des assistants.

En dehors des réunions techniques et des tables rondes, des séances spéciales ont été organisées à la demande de certains comités nationaux. Ces réunions, ouvertes à tous les participants, ont étudié des sujets particuliers, tels que le traitement de déchets, l'utilisation du charbon à coke, les câbles supraconducteurs, la propulsion marine par l'énergie nucléaire, etc.

\*\*

De façon générale, et malgré l'intérêt des rapports présentés, on peut regretter que l'organisation des débats n'ait guère permis d'échanges et encore moins de contestations en dehors des observations faites par les spécialistes.

En effet, la durée réduite des séances et le fait que le président ne « retenait » que les questions jugées (par lui) valables ne laissaient que peu de chances à un intervenant d'obtenir une réponse.

## B. — Déroulement des séances.

*Lundi 19 septembre 1977.*

La X<sup>e</sup> session de la Conférence a été inaugurée à dix heures du matin au Palais Atatürk par M. Suleyman Demirel, Président du Conseil de Turquie, qui lut en préambule un message du Président de la République, M. Fahri Korutürk, attirant l'attention de tous sur le lien existant entre développement social et économique et l'énergie. Ont également pris la parole à cette occasion : M. J. W. Partridge, président de la Conférence et M. Inan, Ministre des Ressources énergétiques et naturelles. Ce dernier souligna l'incidence particulièrement lourde de la crise énergétique sur la situation des pays en voie de développement, thème qui devait fréquemment être repris au cours de la session.

De son côté, M. Gaspard, président du Conseil exécutif international de la Conférence a, en fin de matinée, tenu une conférence de presse avec M. le professeur Mandel (R. F. A.), vice-président appelé à lui succéder.

Au cours de l'après-midi, se sont tenues les réunions suivantes :

13 h 30 - 15 h 30 : séance technique sur le développement des ressources conventionnelles ;

15 h 30 - 17 h 30 : table ronde sur le modèle énergétique turc.

La journée s'est terminée par une réception inaugurale à l'hôtel Hilton.

*Mardi 20 septembre 1977.*

9 heures - 12 heures : séance technique sur le développement des énergies conventionnelles et séances spéciales sur les économies d'énergie et les ressources hydrauliques ;

13 h 30 - 15 h 30 : séance technique sur la préservation et l'usage de l'énergie ; séance spéciale sur les échanges d'informations en matière énergétique ;

15 h 30 - 17 h 30 : table ronde sur la demande et les économies d'énergie.

***Mercredi 21 septembre 1977.***

9 heures - 12 heures : séance technique sur la conservation de l'énergie ; table ronde sur les ressources en pétrole et en gaz ; séance spéciale sur les stratégies alternatives de l'énergie.

13 h 30 - 15 h 30 : table ronde sur le contrôle de l'usage du plutonium ; séance spéciale sur l'utilisation des déchets.

***Jeudi 22 septembre 1977.***

9 heures - 12 heures : séance technique sur les énergies non conventionnelles ; séance spéciale sur le charbon à coke ; séance spéciale sur l'utilisation de l'énergie nucléaire pour la propulsion navale.

13 h 30 - 15 h 30 : table ronde sur la coopération internationale ; table ronde sur le charbon ; séance spéciale sur les supra-conducteurs ; séance spéciale sur l'utilisation combinée de la chaleur et de la puissance.

15 h 30 - 17 h 30 : séance spéciale sur la fiabilité des centrales thermiques.

***Vendredi 23 septembre 1977.***

9 heures - 12 heures : table ronde sur l'énergie nucléaire et les énergies nouvelles.

15 h 30 - 17 h 30 : cérémonie de clôture.

### III. — PRODUCTION, CONSOMMATION ET UTILISATION DES SOURCES ENERGETIQUES CLASSIQUES

Comme nous l'avons indiqué, la disponibilité et l'exploitation rationnelle des ressources énergétiques constituait l'objet essentiel des délibérations des experts réunis à Istanbul.

C'est pourquoi nous estimons indispensable d'indiquer en préambule de cette étude comment a évolué dans un passé récent et pourrait se développer d'ici à la fin du siècle, la consommation mondiale d'énergie.

Nous ferons ensuite le bilan des ressources énergétiques reconnues et escomptées.

#### A. — Evolution de la production et de la consommation mondiale d'énergie de 1960 à 1975.

##### 1° Production.

(Quantités en millions de tonnes équivalent charbon.)

ZONES ET PAYS	CHARBON lignite.	PETROLE brut.	GAZ naturel.	ELECTRICITE hydraulique et nucléaire.	TOTAL énergie.	IMPORTATIONS nettes.	SOUTES
<b>Amérique du Nord :</b>							
1960 .....	401	603	478	32	1 514	130	24
1973 .....	552	912	920	70	2 454	384	31
1974 .....	562	869	879	79	2 389	374	30
<b>Dont :</b>							
<b>Etats-Unis :</b>							
1960 .....	392	564	459	19	1 434	98	21
1973 .....	534	764	820	44	2 162	443	25
1974 .....	544	729	781	52	2 106	424	25
1975 .....	590	700	734	>	>	>	>
<b>Canada :</b>							
1960 .....	9	39	19	13	80	32	3
1973 .....	18	148	100	26	292	—	6
1974 .....	18	140	98	27	283	—	5

ZONES ET PAYS	CHARBON lign. Me.	PETROLE brut.	GAZ naturel.	ELECTRICITE hydraulique et nucléaire.	TOTAL énergie.	IMPORTATIONS nettes.	SOUTES
<b>Amérique du Sud :</b>							
1960 .....	3	26	4	3	36	30	2
1973 .....	4	72	17	9	102	51	3
1974 .....	5	69	17	11	102	53	3
1975 .....	5	66	19	,	,	,	,
Dont :							
Brésil :							
1974 .....	2	13	1	8	24	48	2
<b>Amérique centrale :</b>							
1960 .....	4	263	14	1	282	— 191	15
1973 .....	8	329	37	4	378	— 156	28
1974 .....	8	309	38	5	360	— 142	25
1975 .....	9	276	40	,	,	,	,
Dont :							
Mexique :							
1974 .....	5	48	19	2	74	6	1
1975 .....	5	58	20	,	,	,	,
Venezuela :							
1974 .....	6	234	15	1	250	— 212	5
<b>Europe occidentale :</b>							
1960 .....	499	23	16	28	566	313	35
1973 .....	340	30	194	53	617	1 129	79
1974 .....	316	30	221	57	624	1 098	68
<b>Proche-Orient :</b>							
1960 .....	5	384	3	6	392	— 340	18
1973 .....	8	1 563	46	1	1 618	— 1 464	35
1974 .....	8	1 611	50	1	1 670	— 1 497	36
<b>Extrême-Orient :</b>							
1960 .....	115	39	6	10	170	60	13
1973 .....	119	134	28	17	298	479	53
1974 .....	125	134	33	18	310	473	57
1975 .....	136	131	36	,	,	,	,
Dont :							
Japon :							
1974 .....	20	1	4	11	36	449	35

ZONES ET PAYS	CHARBON lignite.	PETROLE brut.	GAZ naturel.	ELECTRICITE hydraulique et nucléaire.	TOTAL énergie.	IMPORTATIONS nettes.	SOUTES
<b>Océanie :</b>							
1960 .....	29	6	»	1	30	18	3
1973 .....	66	30	6	3	105	— 3	8
1974 .....	69	30	6	4	109	— 2	8
1975 .....	74	32	7	»	»	»	»
Dont :							
Australie :							
1974 .....	67	30	6	2	105	— 16	4
<b>Afrique :</b>							
1960 .....	43	20	6	1	64	12	7
1973 .....	68	426	11	4	509	— 357	11
1974 .....	71	396	13	4	484	— 320	11
<b>Pays communistes :</b>							
1960 .....	1 092	246	77	9	1 424	— 64	»
1973 .....	1 316	733	384	24	2 457	— 87	5
1974 .....	1 349	800	418	26	2 593	112	5
1975 .....	1 381	859	452	»	»	»	»
Europe :							
1974 .....	861	704	414	20	1 999	— 108	5
1975 .....	875	749	447	»	»	»	»
Dont :							
URSS :							
1974 .....	494	675	347	17	1 533	— 184	5
1975 .....	497	719	380	»	»	»	»
Asie :							
1974 .....	488	96	4	6	594	— 4	»
1975 .....	506	110	5	»	»	»	»
Dont :							
Chine :							
1974 .....	445	96	4	4	549	— 7	»
<b>Monde :</b>							
1960 .....	2 191	1 604	598	85	4 478	22	117
1973 .....	2 481	4 229	1 643	185	8 538	— 24	251
1974 .....	2 513	4 248	1 675	205	8 641	— 75	243

(\*) Provisoire (Electricité primaire non comprise).

Source : Nations Unies.

## 2° Consommation.

(Quantités en millions de tonnes équivalent charbon.)

ZONES ET PAYS	COMBUSTIBLES solides.	COMBUSTIBLES liquides.	GAZ NATUREL	ELECTRICITE hydraulique et nucléaire.	TOTAL énergie.	CONSUM- MATION par tête (kg).
<b>Amérique du Nord :</b>						
1960 .....	380	693	475	31	1 579	7 951
1973 .....	524	1 226	899	70	2 719	11 636
1974 .....	521	1 182	873	79	2 655	11 321
Dont :						
Etats-Unis .....						
1960 .....	359	638	460	19	1 476	8 172
1973 .....	502	1 117	839	46	2 504	11 901
1974 .....	501	1 069	811	53	2 434	11 485
Canada :						
1960 .....	21	55	15	12	103	5 750
1973 .....	22	109	60	24	215	9 687
1974 .....	20	113	62	26	221	9 816
<b>Amérique du Sud :</b>						
1960 .....	6	49	4	3	62	507
1973 .....	7	109	17	9	142	844
1974 .....	8	111	18	11	148	848
Dont :						
Brésil :						
1973 .....	4	52	6	7	62	626
1974 .....	4	54	1	8	67	652
<b>Amérique centrale :</b>						
1960 .....	5	48	13	1	67	732
1973 .....	9	109	37	4	159	1 187
1974 .....	9	120	39	4	172	1 246
Dont :						
Mexique :						
1973 .....	5	41	18	2	66	1 168
1974 .....	6	47	19	2	74	1 269
Venezuela :						
1973 .....	6	13	15	1	29	2 509
1974 .....	6	17	16	1	34	2 895

ZONES ET PAYS	COMBUSTIBLES solides.	COMBUSTIBLES liquides.	GAZ NATUREL	ELECTRICITE hydraulique et nucléaire.	TOTAL énergie.	CONSUM- MATION par tête (kg.)
<b>Europe occidentale :</b>						
1960 .....	540	244	17	29	830	2 543
1973 .....	392	918	203	54	1 567	4 336
1974 .....	375	876	233	58	1 542	4 243
<b>Proche-Orient :</b>						
1960 .....	5	19	3	6	27	340
1973 .....	7	67	34	1	109	966
1974 .....	8	73	37	1	119	1 023
<b>Extrême-Orient :</b>						
1960 .....	128	72	6	9	215	238
1973 .....	178	454	26	17	675	563
1974 .....	193	435	31	18	677	552
Dont :						
Japon :						
1973 .....	80	328	8	11	427	3 940
1974 .....	86	313	11	11	421	3 839
<b>Océanie :</b>						
1960 .....	28	17		1	46	2 916
1973 .....	37	47	6	3	93	4 572
1974 .....	39	45	6	4	94	4 544
Dont :						
Australie :						
1973 .....	35	37	6	2	80	6 063
1974 .....	37	35	6	2	80	5 997
<b>Afrique :</b>						
1960 .....	43	25	6	1	69	254
1973 .....	67	57	4	4	132	347
1974 .....	71	60	5	4	140	359
<b>Pays communistes :</b>						
1960 .....	1 071	191	76	10	1 348	
1973 .....	1 282	611	396	24	2 313	
1974 .....	1 307	665	426	26	2 424	
Europe :						
1973 .....	816	553	392	18	1 779	4 983
1974 .....	820	589	422	20	1 851	5 139
Dont :						
URSS :						
1973 .....	471	456	321	15	1 263	5 057
1974 .....	474	460	344	16	1 324	5 252

ZONES ET PAYS	COMBUSTIBLES solides.	COMBUSTIBLES liquides.	GAZ NATUREL	ELECTRICITE hydraulique et nucléaire.	TOTAL energie.	CONSOM- MATION par tête (kg).
Asie :						
1973 .....	466	58	4	6	534	639
1974 .....	487	76	4	6	573	675
Dont :						
Chine :						
1973 .....	428	56	4	4	492	618
1974 .....	444	73	4	5	526	650
Monde :						
1960 .....	2 206	1 358	594	85	4 243	1 423
1973 .....	2 503	3 598	1 622	186	7 909	2 080
1974 .....	2 531	3 567	1 668	205	7 971	2 059

Source : Nations Unies.

Les coefficients d'équivalence retenus par l'ONU pour la conversion en tEC des différentes sources d'énergie sont les suivants :

Charbon : 1,0.	Pétrole brut : 1,47.	Gaz liquéfiés : 1,68.	Gaz de raffinerie
Coke : 0,9.	Essence, kérosène : 1,6.	Gaz naturel (1 000 m <sup>3</sup>	(1 000 m <sup>3</sup> ) : 1,75.
Lignite : 0,3 à 0,6 (selon	Fuel-oils : 1,5.	à 9 000 Kcal) : 1,332.	Electricité (1000 kWh) :
avant pays).			0,123.

Il y a lieu de noter que le coefficient appliqué par l'ONU à l'électricité est très différent de ceux retenus par d'autres organismes.

Si l'on retient pour taux de conversion celui de 0,333 tEC pour 1 000 kWh, les chiffres de consommation électrique indiqués sont à majorer d'environ 16 %.

La lecture de ces tableaux appelle de nombreuses observations concernant aussi bien la nature des produits consommés que leur volume global et leur répartition.

Devant consacrer, dans le cadre de ce rapport, des chapitres particuliers aux principales sources énergétiques, nous nous limiterons à commenter ici les chiffres relatifs à l'évolution de la consommation énergétique par région pour la période considérée au regard de la production.

Sur ce point, l'observation essentielle qui s'impose est la part dominante des pays industrialisés qui, en ne considérant que l'Amérique du Nord, l'Europe occidentale et l'U. R. S. S., consommaient en 1960 : 78 % et en 1974 : 70,5 % du total de la production mondiale. On note cependant que cette domination est un peu moins

marquée, aujourd'hui qu'il y a quinze ans, le taux de progression ayant été, depuis 1960, moins rapide dans les pays parvenus à leur plein développement que dans ceux qui n'ont pas encore atteint cet objectif.

C'est ainsi que l'énergie utilisée n'a augmenté pour la période considérée que de 65 % aux Etats-Unis alors qu'elle a été multipliée par 1,9 en Europe occidentale, 3,5 au Japon et 4,4 au Proche-Orient. Cette distorsion dans l'évolution apparaît, même en Europe où l'énergie consommée a été multipliée par 3 en Espagne et par 1,6 en Suède.

On note cependant que, compte tenu de la progression de la population beaucoup plus rapide dans les pays « pauvres », la consommation d'énergie par tête est restée dans ces nations particulièrement basse et n'a que faiblement progressé.

Une différence sensible apparaît entre pays développés (du type Etat-Unis ou Suède), pays en voie de développement (rapide) : Japon, Brésil, Espagne, Corée, Iran, etc., et pays sous-développés (Inde, Pakistan, Afrique centrale, etc.), ces derniers constituant ce qu'on appelle aujourd'hui le « Quart Monde ».

Pour la période postérieure à 1974, nous ne disposons que d'indications partielles, mais celles-ci font apparaître un ralentissement très sensible de la consommation énergétique, en particulier en Europe occidentale où le niveau de 1973 n'a presque nulle part été dépassé, la baisse de 1975 ayant été à peu près compensée par une certaine reprise en 1976.

Au niveau mondial, on a noté une augmentation nette l'an dernier et moins importante mais encore sensible en 1977 : respectivement + 5 % et + 3 %. Dans l'ensemble, l'évolution a été moins favorable pour les pays de l'O. C. D. E. (- 3,3 % de 1974 à 1975) que dans le reste du monde.

A l'intérieur du Tiers Monde, la consommation actuelle qui s'élève à 2,5 milliards de t. e. c. ne dépasse pas, par habitant, 0,8 tonne, soit la quantité dont disposaient déjà les Français en 1860 et les Anglais en 1789.

C'est aujourd'hui quinze fois moins que la part revenant à chaque Américain et six fois moins que celle dont dispose chaque Français (5 t. e. c. en 1975). Encore convient-il de préciser que cette quantité ne constitue qu'une moyenne recouvrant des diffé-

rences considérables puisque l'énergie par tête ne dépasse pas, par exemple, 0,3 t. e. c. pour l'Inde et l'Egypte, 0,16 t. e. c. pour l'Indonésie, 0,1 t. e. c. pour le Nigeria et sans doute moins encore pour le Bangladesh ou certains pays africains. Même si l'on tient compte des conditions climatiques et du fait que le bois et d'autres produits moins nobles n'entrent pas en ligne de compte, on voit que la différence entre pays pauvres et riches n'est pas près d'être comblée.

### *Dépendance énergétique croissante des pays développés.*

Le rapprochement des chiffres de consommation et de production figurant aux tableaux ci-dessus, fait apparaître une dépendance croissante de l'ensemble des pays industrialisés à l'exception de l'U. R. S. S. A cet égard, la situation du Japon est particulièrement difficile puisque ce pays n'assure ses besoins qu'à concurrence de 7,5 %, mais le taux de couverture énergétique de l'Europe occidentale s'est aussi nettement dégradé en passant de 64,4 % en 1960, à 36 % en 1974 et même les Etats-Unis qui se suffisaient à eux-mêmes jusqu'en 1957 sont devenus importateurs (de pétrole) et sont aujourd'hui tributaires de l'étranger à hauteur de plus de 20 %.

### **B. — Utilisation de l'énergie et part des différentes sources.**

Si l'énergie a, tout d'abord, eu pour objet de seconder l'homme dans son travail, la polyvalence qu'elle a acquise, en particulier, sous forme électrique, en a fait aujourd'hui l'auxiliaire indispensable de toutes nos activités et l'on peut dire que notre niveau de vie se mesure non seulement par la quantité d'énergie consommée mais par la diversité de ses emplois.

Pour apprécier cette utilisation énergétique, la nécessité de présenter des chiffres cohérents nous a obligés à ne retenir que trois rubriques : l'industrie, les transports et les « autres secteurs » (agriculture, résidentiel et tertiaire).

Il convient de plus de préciser que les tableaux ci-dessous ne se rapportent pas, comme celui figurant à la page 16, aux quantités de produits énergétiques consommées par les pays considérés mais

à l'énergie finale (1) utilisée par chaque secteur sous la forme où elle a été livrée à la clientèle. Ainsi, lorsque nous indiquons, par exemple, que l'industrie américaine a consommé 190,21 tonnes d'équivalent-pétrole (t. e. c.) d'électricité, il faut considérer que cette électricité a elle-même été produite en partie par du pétrole, du charbon ou du gaz.

Sous ces réserves, l'utilisation de l'énergie a été la suivante en 1974 dans les principaux pays du monde occidental (*en millions de tonnes d'équivalent-pétrole*) :

**Energie finale consommée (1974).**

(En 10<sup>6</sup> t.e.p.)

	CHARBON	PETROLE	GAZ	ELECTRI- CITE	TOTAL	POURCENT- TAGE par secteur.
<i>Etats-Unis.</i>						
Industrie .....	65,88	85,01	181,10	190,21	522,20	34,7
Transports .....	0,08	394,92	»	1,03	396,03	26,3
Résidentiel, tertiaire et agri- culture .....	5,13	142,71	193,70	244,99	586,53	39
<b>Total .....</b>	<b>71,09</b>	<b>622,64</b>	<b>374,80</b>	<b>436,23</b>	<b>1 504,76</b>	<b>100</b>
Pourcentage par produit éner- gétique .....	4,7 %	41,4 %	24,9 %	29 %		
<i>Japon.</i>						
Industrie .....	36,10	61,28	1,55	55,63	154,56	58,5
Transports .....	0,17	38,47	»	2,65	41,29	15,6
Résidentiel, tertiaire et agri- culture .....	1,71	39,15	5,40	22,11	68,37	25,9
<b>Total .....</b>	<b>37,98</b>	<b>138,90</b>	<b>6,95</b>	<b>80,39</b>	<b>264,22</b>	<b>100</b>
Pourcentage par produit éner- gétique .....	14,4 %	52,6 %	2,6 %	30,4 %		

(1) Compte tenu de l'autoconsommation du secteur énergétique et des pertes diverses, l'énergie finale commercialisée est inférieure d'environ 25 % à la production.

	CHARBON	PETROLE	GAZ	ELECTRICITE	TOTAL	POURCENTAGE par secteur.
<i>Europe occidentale.</i>						
Industrie .....	80,93	141,41	58,04	144,49	424,87	44,3
Transports .....	1,55	157,60	0,18	7,37	166,70	17,4
Résidentiel, tertiaire et agriculture .....	39,31	153,01	49,58	126,22	368,12	38,3
<b>Total .....</b>	<b>121,79</b>	<b>452,02</b>	<b>107,80</b>	<b>278,08</b>	<b>859,69</b>	<b>100</b>
<b>Pourcentage par produit énergétique .....</b>	<b>12,7 %</b>	<b>47,1 %</b>	<b>11,2 %</b>	<b>29 %</b>		

Suivant les indications fournies dans un rapport britannique présenté à Istanbul, la part de la consommation énergétique finale correspondant au secteur résidentiel (chauffage et conditionnement des logements) ressort à 21 % aux Etats-Unis, 8,4 % au Japon et 24 % en Europe occidentale.

A titre de comparaison, l'énergie finale consommée en France se répartissait comme suit en 1974 (en millions de t. e. p.) :

	CHARBON	PETROLE	GAZ	ELECTRICITE	TOTAL	POURCENTAGE par secteur.
Industrie .....	12,85	22,80	6,27	20,52	62,44	42,5
Transports .....	0,06	26,04	0,01	1,48	27,59	18,8
Résidentiel, tertiaire et agriculture .....	5,72	30,34	5,62	15,27	56,95	38,7
<b>Total .....</b>	<b>18,63</b>	<b>79,18</b>	<b>11,90</b>	<b>37,27</b>	<b>146,98</b>	
<b>Pourcentage par produit .....</b>	<b>12,6</b>	<b>53,9</b>	<b>8,1</b>	<b>25,4</b>		<b>100</b>

On notera, de plus, qu'en 1974 les pays ou groupes de pays considérés faisaient appel pour la production d'électricité thermique aux produits énergétiques fossiles dans les proportions suivantes (en 10<sup>6</sup> t.e.p.) :

	ETATS-UNIS	JAPON	EUROPE occidentale.	FRANCE
Charbon .....	231,89	8,55	115,38	(1) 10,28
Pétrole .....	81,93	52,95	83,76	(2) 14,32
Gaz .....	91,92	3,40	31,79	2,20

(1) 7,8 en 1973 et 12 en 1976.

(2) 9,5 en 1977.

Ces indications soulignent la part prédominante prise par les hydrocarbures dans les combustibles utilisés pour les usages domestiques ou industriels, et plus encore dans les transports. Elle fait ressortir *a contrario* le recul du charbon qui joua cependant un rôle essentiel jusqu'aux années 50. Ce dernier conserve cependant la première place aux Etats-Unis et en Europe occidentale pour la production thermique d'électricité.

On remarquera également l'usage important du gaz naturel, notamment aux Etats-Unis où ce produit fournit plus de la moitié de son énergie à l'industrie et au secteur résidentiel et tertiaire. Sur ce point, notre pays est nettement en retard sur ses voisins européens.

Il en est de même au sujet de l'utilisation de l'électricité pour laquelle, malgré la vive progression enregistrée depuis vingt-cinq ans (25 % aujourd'hui contre 12 % en 1950), la France arrive en vingtième position après la plupart des pays industrialisés de l'ouest et de l'est.

#### IV. — PERSPECTIVES D'ÉVOLUTION DES BESOINS MONDIAUX JUSQU'A L'AN 2020.

Les prévisions qui peuvent aujourd'hui être faites concernant l'évolution de la consommation énergétique sont évidemment délicates compte tenu en particulier des incertitudes relatives à l'évolution des prix, au volume des réserves en produits classiques et aux possibilités offertes par les énergies nouvelles (dont l'énergie nucléaire).

C'est, en premier lieu, les contraintes de prix (prix politiques et non prix de revient) qui ont récemment pesé sur la consommation des hydrocarbures en « cassant » ainsi un taux de croissance constamment supérieur à 5 % par an depuis la dernière guerre.

Mais l'histoire dira si cette restriction n'aura pas été salutaire car si les réserves exploitables de produits fossiles sont mal connues, il est certain qu'elles sont limitées et qu'au rythme d'un doublement du prélèvement mondial sur ce stock tous les dix ans, il est mathématiquement certain qu'une situation de pénurie serait apparue à brève échéance, notamment pour le pétrole et le gaz naturel.

Sous ces réserves nous avons pensé cependant utile de présenter ici une évaluation de la consommation énergétique mondiale effectuée à l'occasion de la Conférence mondiale d'Istanbul par un groupe de chercheurs de Cambridge.

Il est précisé cependant que ce scénario repose sur trois hypothèses :

— une croissance économique mondiale de l'ordre de 4 % (inférieure à ce chiffre dans les pays développés, mais pouvant être beaucoup plus vive ailleurs) ;

— une progression démographique lente dans les pays développés, mais restant restant importante dans le Tiers Monde (et surtout dans le Quart Monde) ;

— de fortes économies d'énergie (notamment dans les pays industrialisés).

Ces données conduisent aux chiffres ci-après.

**Evolution de la consommation mondiale d'énergie  
en tonnes d'équivalent pétrole (t.e.p.) (1) de 1972 à 2000 et 2020.**  
(Milliards de tonnes d'équivalent pétrole.)

	1972	2000	2020	1972-2000	2000-2020
<b>Pays industrialisés.....</b>	<b>4,62</b>	<b>11,54</b>	<b>14,56</b>	<b>+ 6,92</b>	<b>+ 3,02</b>
Dont :					
Amérique du Nord.....	1,89	3,91	4,66		
Europe de l'Ouest.....	1,14	2,43	2,95		
Japon, Océanie.....	0,37	1,09	1,45		
Europe de l'Est.....	1,22	4,11	4,50		
<b>Pays en voie de développement :</b>	<b>1,45</b>	<b>5,04</b>	<b>13,16</b>	<b>+ 3,59</b>	<b>+ 8,12</b>
Dont :					
OPEP .....	0,15	0,91	2,80		
Autres pays.....	0,80	2,52	6,16		
Bloc chinois.....	0,50	1,61	4,20		
<b>Monde .....</b>	<b>6,07</b>	<b>16,58</b>	<b>27,72</b>	<b>+ 10,41</b>	<b>+ 11,14</b>

Deux tableaux complémentaires relatifs, le premier à l'évolution de la population mondiale et le second au niveau des consommations par tête, permettent de mieux situer la signification du tableau précédent.

	POPULATION (millions).			CONSUMMATION PAR TÊTE (t.e.p./habitant).		
	1972	2000	2020	1972	2000	2020
<b>Pays développés :</b>	<b>1 067</b>	<b>1 236</b>	<b>1 464</b>	<b>4,33</b>	<b>8,98</b>	
Dont :						
Amérique du Nord..	231	292	333	8,18	13,39	13,79
Europe de l'Ouest..	338	388	428	3,37	6,26	6,92
Japon, Océanie.....	123	154	174	3,01	7,07	8,33
Europe de l'Est....	375	462	523	3,25	8,09	10,45
<b>Pays en voie de développement :</b>	<b>2 793</b>	<b>4 905</b>	<b>7 399</b>	<b>0,53</b>	<b>1,02</b>	<b>1,88</b>
Dont :						
OPEP .....	269	556	904	0,55	1,64	3,10
Autres .....	1 529	3 084	4 906	0,50	0,82	1,25
Bloc chinois.....	865	1 257	1 589	0,58	1,28	2,64
	<b>3 760</b>	<b>6 191</b>	<b>8 863</b>	<b>1,61</b>	<b>2,67</b>	<b>3,15</b>

Si les prévisions chiffrées se vérifiaient, elles signifieraient :  
— pour la période 1972-2000, *une croissance mondiale énergétique restant soutenue avec un taux annuel d'augmentation de*

(1) 1 t.e.p. = 1,5 t.e.c. (tonne d'équivalent charbon).

4 % par an (au lieu de 5 % pour le dernier quart de siècle et une progression cependant nettement plus rapide dans le pays du tiers monde [+ 247 %] que dans le monde industrialisé [+ 149 %]).

— pour la période 2000-2020, une augmentation nettement ralentie, soit + 2,2 % par an seulement, résultant surtout d'un sensible tassement de la progression des nations développées (+ 27%) alors que celle des autres pays resterait presque aussi importante que précédemment (+ 160 % en vingt ans).

Ainsi, dès la vingt-cinquième année du prochain siècle, les pays en voie de développement auraient-ils rejoint sinon dépassé la consommation des pays industrialisés.

On peut, certes, contester cette projection sur l'avenir et, en particulier, la rupture quelque peu artificielle entre les taux de progression d'avant 2000 et après cette date mais si l'on considère les perspectives démographiques, il apparaît en tout cas normal d'envisager que les habitants des pays actuellement défavorisés atteignent un niveau de consommation énergétique qui ne sera encore que la moitié de celui auquel nous sommes aujourd'hui parvenus.

Sans donc contester cette étude, nous serions plutôt portés à croire que la progression des nations industrialisées sera en fait moins rapide et qu'une différence devrait être établie, comme nous l'avons déjà indiqué, entre les pays du tiers monde.

Il est probable, en effet, qu'un reclassement s'effectuera entre ceux-ci suivant les découvertes qui pourront être faites sur leurs territoires ou leurs zones maritimes ou les progrès technologiques éventuellement réalisés. Ne constatons-nous pas, dès maintenant, un taux de croissance spectaculaire dans les pays producteurs de pétrole dont la consommation énergétique, reflet du niveau de vie, est appelée à être multipliée par 6 de 1972 à 2000 et par 3, de 2000 à 2020. En revanche, pour les nations du quart monde, dont la population sera la moitié de celle du globe dès la fin de ce siècle, il est peu probable que cette consommation dépasse dans cinquante ans celle que les Européens avaient atteint avant la guerre de 1914 et cet énorme écart difficilement acceptable au plan humain pourrait bien entraîner des tensions lourdes de conséquence.

## V. — CONTRIBUTION DES PRINCIPALES SOURCES CLASSIQUES D'ENERGIE

### A. — Le charbon.

Fruit d'un long processus de décomposition des produits végétaux, le charbon se rencontre principalement dans les terrains primaires les plus récents (sous ère carbonifère).

Formée de carbone auquel s'ajoute une quantité variable d'autres produits, la houille a été à la base de la première expansion industrielle des pays occidentaux. Du début du <sup>xix</sup><sup>e</sup> siècle à la guerre de 1914, ce fut, en effet, la source énergétique quasi-unique et les pays détenteurs de ce produit lui dirent sa position prééminente. C'est ainsi que la Grande-Bretagne, l'Allemagne, la France et les Etats-Unis produisaient, en 1913, 90 % du charbon extrait dans le monde.

C'est l'apparition du pétrole, dès avant la première guerre mondiale aux Etats-Unis, qui remettra en cause cette domination et la part du charbon va ainsi décroître de 75 % en 1929 à 57 %, en 1930, et moins de 30 % aujourd'hui.

En Europe occidentale, cette réduction est plus sensible encore puisque en quinze ans, de 1958 à 1973, la consommation est tombée de 460 à 281 millions de tonnes et la part du charbon de 60 % à 20 %.

Mais l'exemple le plus frappant est celui de la France où la consommation charbonnière a culminé à 89 millions de tonnes en 1929, pour se retrouver à 45, en 1973, tandis que celle du pétrole passait dans le même temps de 3,5 à 146 millions de tonnes, soit en termes énergétiques de 5 à 174 millions de t. e. c. !

Rien n'illustre mieux ce recul du charbon devant le pétrole et il est bien probable que sans la décision « politique » prise par les pays de l'O. P. E. P., cette tendance à l'effacement de la houille se serait encore accentuée.

Mais, à l'heure où la menace de pénurie, les problèmes de répartition et les préoccupations de sécurité d'approvisionnements conduisent à faire un bilan des ressources énergétiques mondiales, le charbon suscite incontestablement un regain d'intérêt.

1" *Réserves et ressources charbonnières.*

Depuis le début du siècle, de nombreuses enquêtes ont été effectuées concernant les ressources en charbon. Sans vouloir prendre partie dans une controverse sans fin, nous croyons nécessaire de préciser tout d'abord que les « ressources » sont classées en trois catégories : les réserves dites récupérables ou exploitables dans les conditions techniques actuelles, les réserves « prouvées », dont au moins une partie pourrait être exploitée, et les réserves « probables » ou « possibles » calculées sur la base de données géologiques. On conçoit que des écarts importants puissent apparaître entre prospecteurs surtout pour la dernière catégorie.

Quoi qu'il en soit, les études les plus récentes effectuées, en 1974, pour la Conférence mondiale de l'Energie, conduisent aux chiffres suivants (en millions de tonnes).

PAYS OU CONTINENT	RESERVES récupérables.	RESERVES récupérables et prouvées.	RESERVES totales (y compris supposées).
Etats-Unis .....	181 781	363 562	2 924 503
URSS .....	136 600	273 200	5 713 600
Europe .....	126 775	319 807	607 521
Chine .....	80 060	300 000	1 000 000 †
Afrique .....	15 628	50 291	58 844
Océanie .....	24 518	74 699	189 654
<b>Total mondial....</b>	<b>591 191</b>	<b>1 402 274</b>	<b>10 753 880</b>

Si discutables que soient ces évaluations, on peut considérer que les quantités de charbon récupérables se situent entre 600 et 700 milliards de tonnes et pourraient sans doute être portées à 2 000, voire 3 000 milliards de tonnes, chiffre qui représente au moins cinq fois et peut être dix fois les réserves pétrolières.

Sur la base du niveau actuel de consommation (2,3 milliards de tonnes), ceci couvre les besoins mondiaux pendant 500 à 1 000 ans, sous réserve toutefois que le taux de croissance annuel reste dans les limites présentes, soit 1,5 à 2 %.

## 2° Atouts et handicaps du charbon.

En dehors de son abondance déjà signalée, le charbon représente, en outre, l'intérêt de se trouver en *quantité appréciable dans plusieurs pays dépourvus de pétrole* ou dont les réserves d'hydrocarbures sont limitées. Il en est ainsi, par exemple, de l'Allemagne de l'Ouest (réserves totales prouvées : 100 milliards de tonnes), de la Pologne (39 milliards de tonnes), de l'Inde (peut-être 200 milliards), de l'Australie (70 milliards de tonnes) et de l'Afrique du Sud (30 milliards de tonnes), et nous ne citerons que pour mémoire la Grande-Bretagne (99 milliards de tonnes) et les Etats-Unis, dont les ressources pétrolières sont importantes mais limitées, du moins dans le temps.

Par ailleurs, le charbon présente l'avantage d'être aisément et économiquement stockable. C'est, en outre, un produit chimique en même temps qu'un combustible et chacun connaît, par exemple, le rôle essentiel qu'il joue dans la sidérurgie comme réducteur des oxydes ferreux et, en chimie, dans la fabrication de nombreux produits organiques.

En revanche, le charbon souffre de sérieux handicaps. L'exploitation charbonnière exige, en effet, des investissements importants (environ 300 F par tonne en mine souterraine) et longs à réaliser (sept à dix ans). L'exploitation des gisements exige, de plus, une main-d'œuvre abondante et, compte tenu du caractère pénible du travail, difficile à trouver même en consentant des salaires élevés.

De plus, le charbon est relativement difficile à manipuler et son coût de transport (y compris les opérations de chargement et de déchargement) est au minimum de cinq à six fois plus élevé que celui du pétrole. A titre d'exemple, le transport ferroviaire à 500 kilomètres double aux Etats-Unis le prix de vente du produit.

Certes le transport par tuyaux abaisse sensiblement ces coûts mais, en dehors des questions techniques qu'il soulève, il exige d'énormes investissements.

L'utilisation du charbon pose également de nombreux problèmes : dégagement de poussière et de soufre, encrassage des foyers, etc., qui exigent aussi un personnel relativement important et qualifié.

Tous ces inconvénients font que, jusqu'à présent du moins, le charbon a été surtout employé par les pays producteurs et à proxi-

mité même des principaux gisements. C'est pourquoi les quantités exportées sont faibles au regard de la production, soit 7 à 8 % en 1975. Il est, de plus, significatif que, dans les pays développés du moins, son utilisation finale comme source d'énergie ait tendance à se concentrer dans l'alimentation des centrales électriques thermiques et les cokeries. Il a, en revanche, été à peu près éliminé des usages domestiques (1 à 2 % aux Etats-Unis et 10 % en Europe occidentale) et des transports (suppression de la traction à vapeur) et même son utilisation industrielle (hors sidérurgie) a fortement décliné depuis 1950 : de 20 % à 12 % aux Etats-Unis, de 80 % à 6 % dans la Communauté.

Pour freiner cette dégradation de l'usage du charbon qui aggrave dangereusement la dépendance des Européens et même des Américains vis-à-vis des fournisseurs de pétrole, il apparaît donc nécessaire de recourir à des techniques nouvelles à la fois plus économiques, plus souples et susceptibles d'utiliser des gisements d'exploitation techniquement très difficile, voire impossible. Les études, et même les réalisations, sont de plus en plus poussées sur ce point dans les grands pays charbonniers tels que les Etats-Unis et l'Union soviétique.

### 3° Techniques nouvelles d'utilisation

#### *La gazéification :*

L'idée de transformer le charbon en gaz n'est pas nouvelle puisque la plupart des villes étaient alimentées, jusqu'à la dernière guerre, par du gaz produit par distillation de la houille et qu'aujourd'hui encore le gaz provenant des cokeries de l'est de la France est acheminé, par gazoduc, jusque dans la Région parisienne.

De nos jours, les recherches s'orientent toutefois vers la réalisation d'un gaz à fort pouvoir calorifique supposant, en particulier, l'élimination du gaz carbonique et l'enrichissement en méthane.

De nombreux chercheurs et économistes américains préoccupés par l'épuisement prochain des sources de gaz dont les Etats-Unis font une énorme consommation (33 % des besoins) poursuivent activement la mise au point de plusieurs techniques nouvelles (1) qui

---

(1) Procédés Bl Gas, Hy Gas, Synthane, CO<sub>2</sub> Acceptor.

permettraient, selon leur évaluation, de produire de la thermie-gaz à un coût nettement inférieur à celle obtenue à partir du pétrole. Le principe général consiste à utiliser la chaleur (fournie par la combustion d'une partie du charbon) pour briser les molécules des produits organiques constituant de la houille, puis par un apport d'hydrogène de transformer ceux-ci en méthane.

Les programmes actuels visent à obtenir en 1985 40 milliards de mètres cubes (7 % de la consommation actuelle) et certaines prévisions optimistes font état de la possibilité de couvrir 50 % des besoins du pays à la fin du siècle. Il est vrai que ce résultat nécessite de grandes quantités de charbon, toutes ces techniques exigeant, par ailleurs, des filons épais et homogènes.

La formule la plus révolutionnaire récemment étudiée outre-Atlantique consiste à utiliser un réacteur nucléaire à haute température comme source de chaleur. Suivant les inventeurs de ce procédé (Thunder bird), cela conduirait à un abaissement très sensible des coûts de production (de l'ordre de 30 %) et à une suppression presque complète de la pollution causée par les importants rejets de gaz carbonique.

Notons enfin qu'une technique de gazéification entièrement nouvelle est actuellement étudiée par l'Institut national des Industries extractives de Belgique (Iniex) en collaboration avec des spécialistes d'Allemagne fédérale. Elle consiste à injecter de l'air sous pression de 50 atmosphères dans des gisements profonds, et à provoquer ainsi par combustion « imparfaite » de ces filons la formation de gaz récupérable par un sondage annexe. Ce procédé, dont la mise en œuvre industrielle nécessitera de dix à quinze ans, devrait permettre d'utiliser les ressources charbonnières très importantes — inexploitable par les moyens conventionnels — dont disposent encore, entre 1 000 et 1 500 mètres de profondeur des pays tels que la Belgique, les Pays-Bas et la France.

#### *Liquéfaction :*

La liquéfaction a fait jusqu'ici l'objet de recherches moins importantes malgré le débouché évident qu'elle trouverait dans le secteur des transports. Le seul procédé actuellement mis en œuvre, en Afrique du Sud, consiste à partir de la gazéification du charbon, à réaliser la polymérisation des hydrocarbures volatiles obtenus.

Parmi les autres techniques étudiées, citons le raffinage et la dissolution du charbon dans des solvants et l'hydrogénation catalytique directe de la houille.

Aucune de ces formules ne paraît devoir déboucher avant dix ans au moins. On notera d'ailleurs que, comme pour la gazéification, la mise en œuvre de ces procédés suppose l'existence de gisements houillers importants et homogènes dont seul l'éloignement ou la profondeur handicape l'exploitation.

#### *4° Perspectives d'utilisation du charbon à l'horizon 1985.*

Quels que soient les handicaps du charbon, son abondance qui contraste avec les réserves limitées d'hydrocarbures a conduit la plupart des pays à *reconsidérer en hausse leurs perspectives de consommation de ce produit*, quitte à faire appel aux importations si leurs ressources propres ne peuvent faire face à leurs besoins.

Un exemple de cette révision nous est fourni par le nouveau plan énergétique adopté par la Communauté européenne qui prévoit le maintien de la production de houille au niveau actuel de 270 millions de tonnes (au lieu d'une régression à 220 millions de tonnes), le développement de la production de lignite et de tourbe à concurrence de 45 millions de tonnes et l'importation de 60 millions de tonnes des pays tiers. Ainsi, la part du charbon dans l'approvisionnement énergétique de l'Europe des Neuf se maintiendrait-elle, en 1985, à 17 % au lieu des 10 % prévus avant la crise.

La même tendance apparaît aux Etats-Unis où le programme soutenu par le président Carter vise à doubler la production charbonnière en la portant à 1 200 millions de tonnes par an.

Un tel revirement suppose, bien entendu, un développement des utilisations du charbon, notamment pour la production d'électricité et de gaz, mais aussi un accroissement sensible des échanges internationaux. Certains envisagent, en effet, que ceux-ci puissent passer de 200 millions de tonnes actuellement à 450 ou 500 millions de tonnes en 1985 et dépasser le milliard de tonnes à la fin du siècle. Nous ignorons si ces objectifs — qui supposeraient l'existence de surplus importants chez les pays producteurs — pourront jamais être atteints mais leur réalisation poserait, à coup sûr, de redoutables problèmes de transport et de manutention.

En revanche, les grandes nations charbonnières seront vraisemblablement conduites à accroître très sensiblement leur production, ce qui devrait entraîner une augmentation très sensible de la production de houille, insuffisante toutefois, pour éviter une réduction de moitié environ de sa part dans la fourniture énergétique totale.

Le tableau suivant résumant les études effectuées à ce sujet par la Conférence mondiale rend compte de cette perspective d'évolution et des possibilités d'exportation généralement retenues :

**Evolution de la production charbonnière et capacités d'exportation.**  
(Millions de tonnes.)

	1975		1985		2000	
	Pro- duction.	Expor- tation.	Pro- duction.	Expor- tation.	Pro- duction.	Expor- tation.
<b>Etats continents :</b>						
U. S. A. - Canada .....	604	(72)	877	(83)	1 435	(130)
U. R. S. S. ....	614	(26)	851	(37)	1 100	(50)
Chine .....	349	(3)	725	(7)	1 200	(30)
<b>Sous-total .....</b>	<b>1 567</b>	<b>(101)</b>	<b>2 453</b>	<b>(127)</b>	<b>3 735</b>	<b>(210)</b>
<b>Autres producteurs importants :</b>						
Pologne .....	181	(30)	200	(50)	270	(50)
Australie .....	69	(29)	130	(60)	200	(100)
Afrique du Sud .....	69	(3)	119	(23)	233	(55)
<b>Sous-total .....</b>	<b>319</b>	<b>(71)</b>	<b>449</b>	<b>(133)</b>	<b>703</b>	<b>(205)</b>
<b>Reste du monde.....</b>	<b>347</b>	<b>(27)</b>	<b>421</b>	<b>(48)</b>	<b>573</b>	<b>(93)</b>
<b>Monde entier.....</b>	<b>2 233</b>	<b>(199)</b>	<b>3 323</b>	<b>(308)</b>	<b>5 031</b>	<b>(520)</b>
<b>Dont France.....</b>	<b>23</b>	<b>»</b>	<b>14</b>	<b>»</b>	<b>14</b>	<b>»</b>

Comme on peut le constater, les disponibilités charbonnières dont pourraient profiter les nations faiblement pourvues ou totalement démunies sont relativement faibles surtout si on les compare aux vingt-deux milliards de tonnes d'équivalent charbon considérés comme une évaluation minimale des besoins mondiaux à la fin de ce siècle et même aux dix milliards de tonnes nécessaires à la même époque aux pays non producteurs.

On notera cependant que ces chiffres ne prennent en compte que la production charbonnière proprement dite et non les possibilités ouvertes par la gazéification et la liquéfaction dont nous avons souligné ci-dessus l'intérêt.

## B. — Le pétrole.

### 1° *Avantages et handicaps.*

Possédant une densité énergétique élevée — une fois et demie plus importante que celle du charbon — d'un transport aisé et économique, le pétrole qui avait déjà pris une place importante aux Etats-Unis avant la dernière guerre mondiale a supplanté aujourd'hui le charbon dans la plupart des pays industrialisés. Cette évolution amorcée en Europe il y a vingt-cinq ans a été grandement accélérée par la découverte des fantastiques gisements du Moyen-Orient dont le prix de revient particulièrement bas avait mis, jusqu'en 1973, à la disposition des consommateurs américains, japonais ou européens une thermie près de deux fois moins coûteuse que celle obtenue à partir de la houille.

De plus, le pétrole doit à ses qualités d'être utilisable pour de nombreux usages : transports aériens, terrestres et maritimes, production d'électricité, chauffage des immeubles, motorisation industrielle, etc., sans parler de sa chimie particulière, base de la fabrication d'innombrables produits.

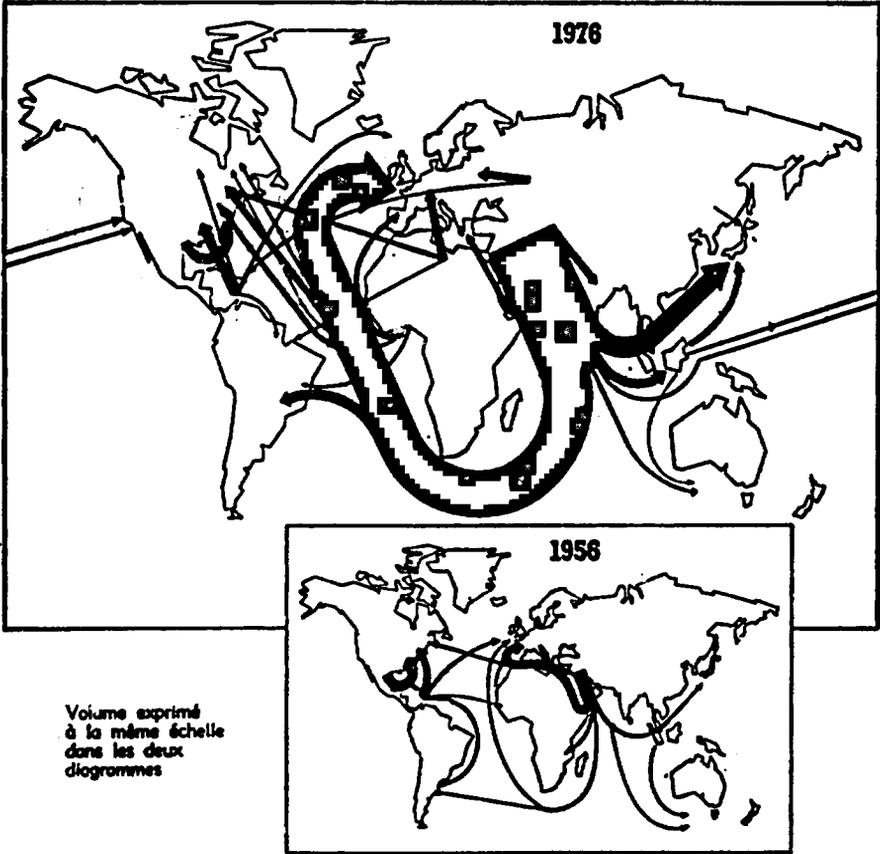
Ces éléments expliquent que la part pétrolière dans l'approvisionnement énergétique mondial soit passée de 26 % en 1950 à 30 % en 1960 et 43 % en 1973 et, pour l'Europe des Neuf, de 24 % à 28 % et 57 %.

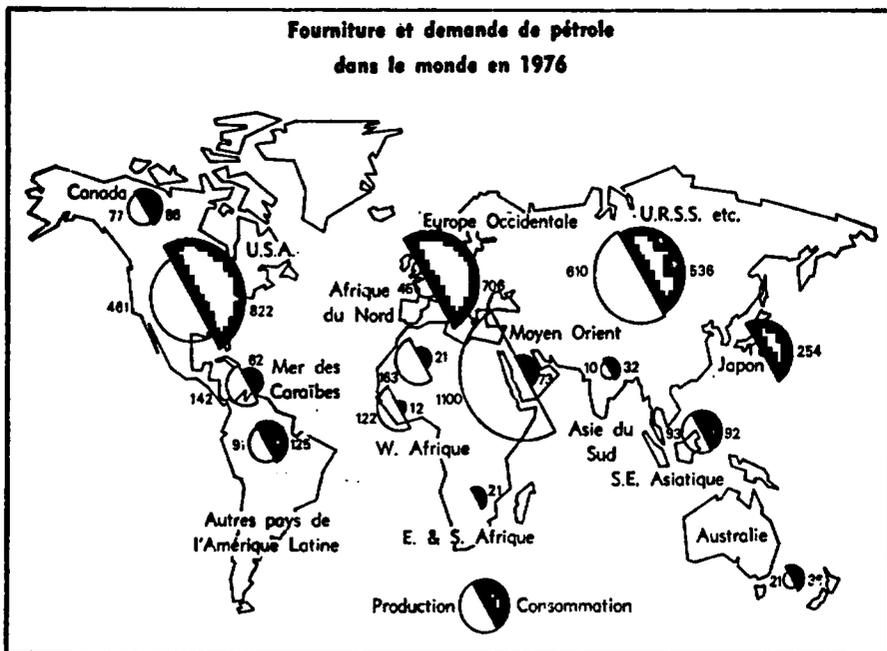
En ce qui concerne la France, l'évolution est plus frappante encore, puisque le pétrole couvre actuellement 66 % de nos besoins contre 24 % il y a vingt-cinq ans.

Du point de vue des transports, la découverte des gisements du golfe Persique, d'Afrique du Nord et du Nigeria a engendré le développement d'un courant énergétique d'un volume inégalé puisque 1 700 millions de tonnes de pétrole sont acheminées par mer, dont les deux tiers du Moyen-Orient principalement vers l'Europe occidentale, les Etats-Unis et le Japon, déplacement quinze fois supérieur en potentiel énergétique à celui du charbon à l'époque où ce produit dominait le monde.

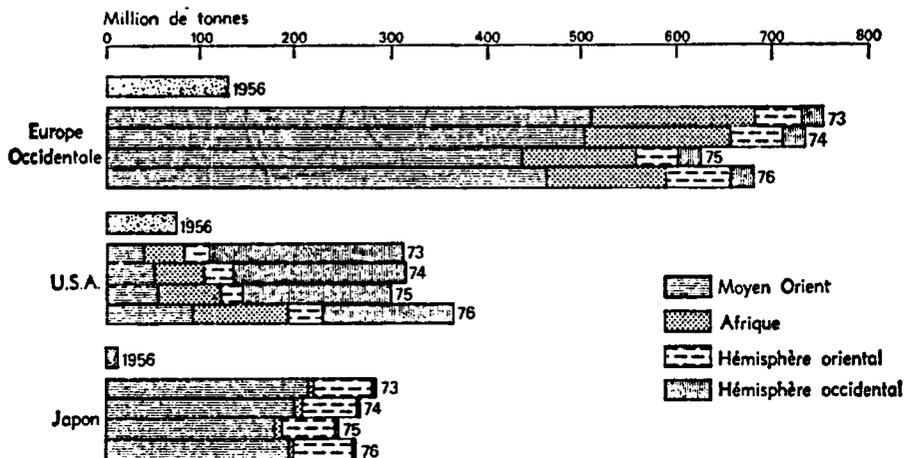
Les figures suivantes rendent compte de l'ampleur de ces courants et de la dépendance croissante des pays développés.

Principaux courants maritimes de pétrole





### Origines des importations de pétrole dans les principales régions consommatrices : 1973-1976



Du côté des importateurs, on note trois régions principales : l'Europe occidentale : 661 millions de tonnes, les Etats-Unis : 365 et le Japon : 254.

En ce qui concerne les producteurs, la principale région exportatrice est le Moyen-Orient dont la part s'est accrue de 10 % en 1947, à près de 40 % en 1976. En revanche, l'U.R.S.S. bien que devenue première productrice mondiale depuis 1975, n'a que peu de disponibilités de vente et on voit par là que la première chance de l'Occident (et du Japon) a été que les principaux gisements d'hydrocarbures soient découverts dans des pays quasi désertiques dont les besoins propres sont faibles.

Mais cet avantage a un revers, c'est la dépendance qui en résulte pour les principaux consommateurs vis-à-vis de pays le plus souvent éloignés et dont les décisions politiques peuvent à tout moment remettre en cause, et la fourniture de cette source précieuse d'énergie et son prix de vente. On pouvait, jusqu'en 1973, considérer une telle éventualité comme une hypothèse d'école mais le quadruplement des prix du pétrole, ou plus exactement de son imposition à la source, permet aujourd'hui de mesurer l'inconvénient de cette situation dont les conséquences, notamment financières et monétaires, ne sont pas encore pleinement appréciées par l'opinion publique.

Un second handicap du pétrole est le caractère limité des réserves d'hydrocarbures liquides dont le monde paraît disposer et dont personne, il faut bien le dire, ne semblait se soucier jusqu'à l'alerte de 1973 tant paraissaient inépuisables les sources découvertes, et prometteuses les recherches entreprises sur terre et sous la mer.

A ce sujet, le remarquable rapport présenté à Istanbul par M. Desprairies, président de l'Institut français du Pétrole, a incontestablement dominé les débats et nous nous référerons à ses indications pour situer l'importance des réserves pétrolières prouvées et prévisibles.

## *2° Ressources prouvées et probables et ressources possibles.*

### Réserves conventionnelles.

Les indications de base fournies par le rapport de M. Desprairies constituent la synthèse des réponses données à un questionnaire très détaillé par 28 sociétés ou instituts spécialisés. Une telle enquête

dite « Delphi » (par référence au célèbre oracle de Delphes) n'avait jamais été entreprises auparavant. Elle est certes entachée d'une large marge d'incertitude mais c'est incontestablement l'étude la plus sérieuse faite à ce sujet à ce jour.

Il est essentiel de préciser que les chiffres indiqués constituent « une évaluation maximale des quantités de pétrole récupérable dans l'état actuel de la technique sur terre, ou à moins de 200 mètres sous la mer, dans la limite d'un prix de revient (à la source) de 20 U. S. dollars (1976) le baril, soit 672 F la tonne.

Compte tenu de ces précisions, les ressources ultimes récupérables de pétrole ont été chiffrées, en moyenne, par les vingt-huit experts à 260 milliards de tonnes, cette évaluation se situant entre un maximum de 350 milliards de tonnes (25 % des réponses) et un minimum de 175 (10 %).

Ces 260 milliards de tonnes se répartissent comme suit :

U.S.A. et Canada .....	11 %
Europe de l'Ouest .....	4,5 %
U.R.S.S., Chine et autres pays communistes .....	23 %
Moyen-Orient et Afrique du Nord .....	42 %
Afrique centrale et méridionale .....	4,5 %
Amérique Latine .....	9 %
Asie du Sud-Est .....	6 %

45 % de ces réserves se situeraient en mer.

A noter que ces chiffres tiennent compte de la possibilité d'améliorer la récupération du pétrole des gisements en portant le taux, actuellement de 25 à 30 %, à 45 % dans les pays industriels, 42 % dans les pays socialistes et 38 % dans le reste du monde.

Sans contester ces évaluations, notons toutefois qu'elles supposent la mise au jour de ressources deux fois supérieures à celles des gisements actuellement reconnus alors qu'on observe déjà un sensible ralentissement des découvertes puisque la capacité des bassins mis en exploitation de 1970 à 1975, soit 1,2 milliard de tonnes, n'a pas « couvert » la moitié de la consommation mondiale pendant la même période.

## Le pétrole non conventionnel.

Les réserves sont, dans ce domaine, naturellement beaucoup plus incertaines, leur rentabilité n'étant pas suffisante pour motiver une prospection sérieuse. On possède cependant quelques données sur certains gisements.

### a) *Les schistes bitumineux :*

Les réserves « potentielles » en place, localisées principalement aux Etats-Unis, sont évaluées à 400 milliards de tonnes dont trente exploitables dans les conditions technologiques présentes.

Compte tenu du coût relativement élevé de vingt à vingt-cinq dollars le baril et des obstacles écologiques, ces schistes ne devraient pas jouer un rôle significatif avant la fin du siècle. De toutes façons, leur rythme de production ne pourra être rapide en raison des masses considérables de roches à manipuler et traiter.

### b) *Sables asphaltiques et huiles lourdes :*

Les réserves mondiales estimées s'élèvent à 300 milliards de tonnes. Les gisements recouverts se situent principalement au Canada et au Venezuela. Au Canada, ces gisements donnent lieu déjà à un début d'exploitation. Le prix de revient est également évalué à 25 dollars le baril.

### c) *Gisements en mer profonde et en zone arctique :*

Les experts soumis à l'enquête « Delphi » sont en général très dubitatifs quant aux possibilités de découvertes importantes dans ces zones et les plus optimistes ne pensent pas y trouver plus de 7 à 15 % des ressources mondiales.

En résumé, ces pétroles non conventionnels apparaissent plutôt comme des ressources du XXI<sup>e</sup> siècle mais ils jouent déjà et pourraient demain plus encore avoir un rôle utile de régulateur des prix en dissuadant les états producteurs d'accroître exagérément leur pression fiscale.

## Incertitudes concernant l'approvisionnement mondial.

Compte tenu des chiffres indiqués ci-dessus, on doit tout d'abord prendre conscience du fait que le taux d'accroissement de la demande, tel qu'il se présentait avant la crise de 1973, ne pouvait matériellement pas se maintenir puisqu'il aurait conduit, d'ici à trente ou trente-cinq ans, à l'épuisement des réserves ultimes de pétrole, en supposant même que le rythme de la production annuelle ait pu être multiplié par quatre avant la fin du siècle, ce qui semble techniquement difficile à imaginer (1).

Toujours dans cette dernière hypothèse, il convient de noter également que cet *épuisement serait atteint en quarante ans* dans le cas d'un accroissement de 4 % de la demande, c'est-à-dire si la part du pétrole dans la couverture des besoins énergétiques mondiaux se maintenait à son niveau actuel.

Un premier butoir se trouve donc posé par le caractère limité des réserves et une réappréciation plus favorable de celles-ci ne pourrait reporter les échéances que d'une décennie tout au plus.

Mais un second obstacle tient à un facteur commercial et politique, c'est-à-dire à la tendance naturelle des producteurs à pratiquer une certaine rétention de leurs fournitures.

Une telle attitude s'explique aisément, les principaux fournisseurs d'hydrocarbure préférant conserver en terre leurs réserves qu'ils peuvent espérer vendre de plus en plus cher, plutôt que de les échanger contre des masses de dollars au cours incertain. Le délégué de l'O. P. E. P. ne nous a-t-il pas indiqué que les nations productrices devraient vendre leur pétrole à 29 dollars le baril (contre 12 actuellement) pour « rentrer dans leurs frais » ?

Une troisième question qui concerne plus particulièrement l'Europe et le Japon est l'évolution de la politique énergétique américaine. En effet, si le président Carter et ses successeurs ne peuvent obtenir de leurs concitoyens qu'ils limitent leur appétit énergétique et plus spécifiquement leur consommation pétrolière, les États-Unis importeront sous peu autant d'hydrocarbures que l'Europe occidentale et une partie du flux d'or noir sera, de ce

---

(1) On estime généralement que la production annuelle ne pourrait pas dépasser 5,5 à 6 milliards de tonnes, soit le double des fournitures actuelles.

fait, détournée vers l'Amérique, sans parler des tensions nouvelles qui s'exerceront sur le marché par le jeu de la loi de l'offre et de la demande.

On ne peut éluder, en effet, le grave problème, lié au précédent, du prix du pétrole. Quelle sera, dans ce domaine également, l'attitude des pays exportateurs et dans quelle mesure la situation économique et monétaire des nations importatrices leur permettra-t-elle de faire face à cette charge ?

Devant tant d'incertitudes, dont il nous semble que les experts ne font pas suffisamment cas, les prévisions sont bien aléatoires. Un début de pénurie se manifestera-t-il en 1985 ou en 1990 ? Il est difficile de le dire. Mais le monde serait bien avisé, dès aujourd'hui, de réserver le pétrole pour des usages où il apparaît irremplaçable tels que la chimie et les transports aériens et terrestres et de lui substituer d'autres sources énergétiques pour satisfaire ses besoins industriels et domestiques.

C. — Le gaz naturel.

Le rapport sur l'approvisionnement mondial en gaz naturel a été présenté par un groupe de spécialistes américains appartenant à l'American Gas Association.

1° Rappel de la production et de la consommation mondiales (1975).

	PRODUCTION	CONSOMMATION
	(En milliards de mètres cubes.) (1)	
Etats-Unis .....	567,2	596,4
Canada .....	70	38,2
Amérique latine .....	51	45
Europe occidentale .....	166,2	183,4
Europe orientale .....	333	340
Dont URSS .....	289	280
Afrique .....	18,5	4
Proche-Orient .....	37,5	28,4
Extrême-Orient .....	32,4	25,8
Dont Japon .....	2,4	7,9
Océanie .....	5,6	4,9
<b>Total .....</b>	<b>1 281,5 10<sup>9</sup> m<sup>3</sup></b>	<b>1 266,1 10<sup>9</sup> m<sup>3</sup></b>
<b>Soit .....</b>	<b>1 192 10<sup>6</sup> tep</b>	<b>1 122 10<sup>6</sup> tep</b>

(1) 1 000 m<sup>3</sup> = 0,93 tep.

Comme on peut le voir, les Etats-Unis se détachent très nettement comme producteur et comme consommateur puisqu'ils utilisent à eux seuls 47 % des fournitures mondiales.

## 2° Réserves et ressources probables de gaz naturel (1975).

REGION	RESERVES confirmées.	RESSOURCES non découvertes.
(En millions de tonnes d'équivalent pétrole (tep).)		
Amérique du Nord .....	7 409	39 196
Europe occidentale .....	3 633	7 528
Japon, Australie, Nouvelle Zélande.	980	5 545
URSS, Europe orientale .....	19 000	53 105
Chine et Asie .....	502	9 082
OPEP, groupe 1 .....	22 394	24 904
OPEP, groupe 2 .....		40 032
Amérique centrale .....	478	3 035
Amérique du Sud .....	526	6 620
Moyen-Orient .....	359	717
Afrique du Nord .....	191	765
Afrique du Sud du Sahara .....	72	287
Asie orientale .....	502	2 868
Asie septentrionale .....	382	1 028
<b>Total</b> .....	<b>56 428</b>	<b>194 712</b>
	ou	ou
	60 675 milliards de m <sup>3</sup>	209 367 milliards de m <sup>3</sup>

Suivant la même étude, la production potentielle de gaz naturel pourrait atteindre 1 835 millions de t. e. p. en 1985 et 3 429 en 2000 contre 1 202 en 1976.

### 3° Perspectives d'approvisionnement mondial.

En rapprochant les chiffres précédents de ceux de la consommation, on constate que les possibilités d'approvisionnement du monde en gaz naturel sont plus favorables que pour le pétrole puisque, sur la base de la production actuelle, les seules réserves prouvées permettraient de satisfaire la demande pendant cinquante ans.

C'est, d'ailleurs, ce que notent les experts américains qui prévoient que la consommation pourrait sensiblement tripler jusqu'en 2020, date à laquelle 50 % seulement des réserves « non découvertes » auraient été entamées.

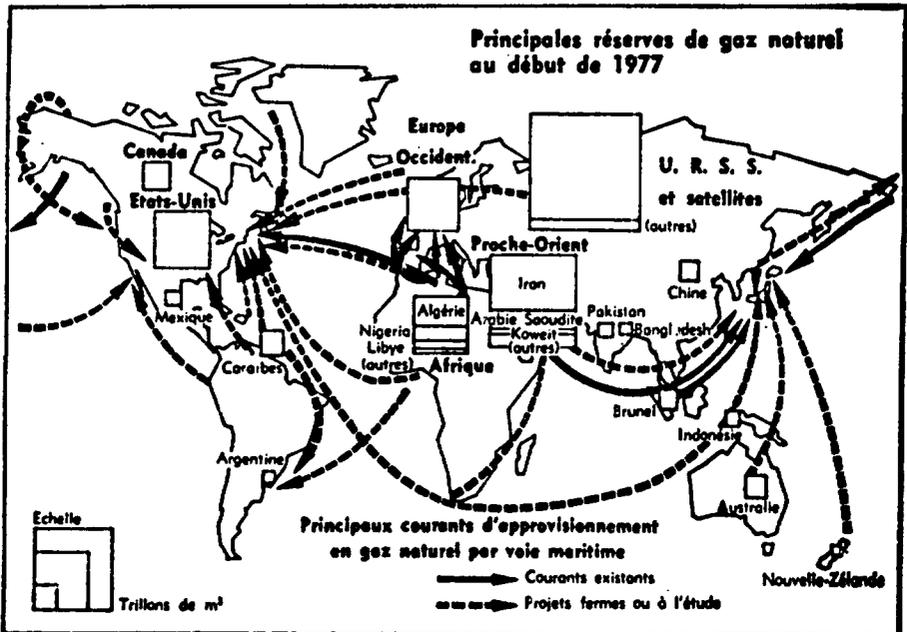
On doit cependant observer que la situation est moins « confortable » qu'il ne paraît, notamment pour les pays industrialisés dont les réserves (et le potentiel productif) seront insuffisants, d'ici dix à quinze ans au plus, pour faire face à leur consommation. C'est en particulier le cas des Etats-Unis dont les réserves prouvées ne

couvrent que onze ans de consommation au rythme actuel. C'est aussi la situation de plusieurs pays occidentaux tels que l'Italie et la France et, bien entendu, du Japon.

Cette insuffisance de ressources devra donc être comblée par les détenteurs de réserves importantes parmi lesquels se détachent les pays de l'O. P. E. P. et l'U. R. S. S. Compte tenu des besoins importants de ce dernier pays, c'est encore finalement surtout du Moyen-Orient que le monde « occidental » dépendra avant la fin de ce siècle

La situation est, certes, moins pressante du moins pour l'Europe en raison de l'existence de gisements substantiels en Hollande et en mer du Nord mais on doit, « *a contrario* », tenir compte du fait que le transport du gaz à longue distance pose des problèmes de transport autrement complexes et coûteux que celui du pétrole.

La figure ci-dessous donne une idée des courants d'approvisionnement existants et à prévoir dans cette optique.



## D. — L'énergie hydraulique.

L'utilisation de l'eau pour créer la force motrice, remonte sans doute au II<sup>e</sup> siècle avant Jésus-Christ. Pendant plus de 2 000 ans, les chutes d'eau naturelles ou artificielles ont été ainsi employées, notamment à moudre le grain et à l'irrigation, et ce n'est que depuis le milieu du siècle dernier que l'eau, devenue « houille blanche », a trouvé sa moderne vocation de productrice d'électricité.

### 1° *Avantages et handicaps.*

Contrairement aux sources énergétiques fossiles examinées précédemment, l'énergie hydraulique présente l'intérêt d'être renouvelable. Elle est de plus non polluante et gratuite, compte non tenu, il est vrai, des frais de construction et d'entretien des barrages et des conduites forcées. Enfin, son potentiel est énorme puisqu'il a été estimé à 26 kilowatts par kilomètre carré, ce qui permettrait, toujours théoriquement, de produire par an 33 000 milliards de kilowattheures soit 43 % de la consommation mondiale actuelle d'énergie.

En revanche, l'énergie hydraulique présente deux inconvénients principaux. En premier lieu, ses centres de production sont liés à des structures géographiques données souvent éloignées des centres de consommation et des régions habitées et cela ne facilite pas son utilisation. On notera, par exemple, que les principales réserves hydro-électriques sont situées au centre de l'Afrique équatoriale et en Amazonie.

En second lieu, l'emploi de l'énergie hydraulique est pratiquement limité à la production d'électricité qui présente certes de nombreux avantages mais ne peut être ni stockée, ni transportée à longue distance.

### 2° *Capacité installée.*

En 1974, 9 % environ de ce potentiel total ou 14,5 % du potentiel utilisable, était mis en œuvre, soit 280 000 mégawatts fournissant 1 426 milliards de kilowattheures (25 % de l'énergie électrique), mais ce pourcentage global recouvre de très grandes différences. On évalue, en effet, la part installée (par rapport au maximum théorique) à 34 % en Europe, 22 % en Amérique du Nord, 4 % en U. R. S. S. et dans les pays communistes et 1 % et moins dans les pays en voie de développement.

### 3° Equipement des principaux pays producteurs et évolution possible.

Répartition du potentiel équipé par grandes zones géographiques.  
En TWh (milliard de kilowattheures).

ZONE GEOGRAPHIQUE	EQUIPABLE	EQUIPE EN 1974 (1)		EQUIPE EN 1985		EQUIPE EN 2000	
	TWh	TWh	Pourcentage du potentiel équipé.	TWh	Pourcentage du potentiel équipé.	TWh	Pourcentage du potentiel équipé.
Europe (sans l'URSS) ....	700	402,3	65	520	73	560	80
URSS .....	1 100	132	12	230	21	550	50
Groenland .....	65	0	0	»	»	»	»
Canada .....	535	210,2 (212,5)	39,2	299	56	900	73
Etats-Unis .....	700 } 1 235	304 (309,9 - 2,4)	43,5	353,6 } 652,6	50 } 53		
Japon .....	130	82,3 (84,8 - 0,3)	63,4	117 (8)	90	117	90
Chine .....	1 320	35	2,6	153	11	350	26,5
Amérique centrale, Amérique du Sud .....	1 850	123,6	6,6	528	10	1 523	30
Afrique .....	2 000	34,3	1,7				
Asie sans le Japon, la Chine et la Sibérie .....	1 200	74,6	6,2				
Océanie .....	200	28,2	14				
	9 800	1 426,5	14,5	2 200	22,4	4 000	41

Comme on peut le voir, le potentiel, économiquement exploitable disponible restait encore important dans de nombreux pays en 1974 et il est même probable qu'il est aujourd'hui plus élevé, certains équipements étant devenus rentables du fait de l'augmentation des prix des hydrocarbures.

Nous extrayons, par ailleurs, du rapport de la Commission des grands barrages les indications suivantes concernant la contribution de l'hydraulique à la fourniture d'électricité dans différents pays :

*Argentine* : 18 % de la production d'électricité soit 5 216 milliards de kilowattheures ;

*Australie* : 28 % de l'électricité fournie (98 % en Tasmanie) soit 15 milliards de kilowattheures ;

*Brésil* : 180 milliards de kilowattheures équivalant à 43 millions de t. e. p. ;

*Canada* : 74 % de l'électricité fournie ;

*Grèce* : 13,6 % de la fourniture de courant ;

*Inde* : le potentiel exploitable est estimé à 25 000 mégawatts dont 10 000 seulement sont utilisés. La production était en 1973-1974 de 29 milliards de kilowattheures représentant 52 % de l'électricité consommée ;

*Japon* : 18,5 % de la fourniture électrique soit 85 milliards de kilowattheures ;

*Nouvelle Zélande* : 80 % de la production électrique ;

*Suède* : 50 % des 140 milliards de kilowattheures produits ;

*Suisse* : dans ce pays, le taux d'équipement est particulièrement élevé puisqu'il dépasse 83 %. L'hydraulique fournit ainsi 78 % de l'électricité ;

*Etats-Unis* : 300 milliards de kilowattheures sur 1916 millions, soit 16 % de la production totale d'électricité. On estime que l'équipement de tous les sites exploitables permettrait d'économiser 50 millions de tonnes de pétrole par an (1 million de barils par jour) ;

*Yougoslavie* : fin 1973, 56 % de la fourniture d'électricité sont d'origine hydraulique.

La même étude fournit d'intéressantes précisions relatives aux principaux ouvrages en service ou en projet dans le monde (en 1974).

**Principaux ouvrages en service et en construction.**

	PUISSANCE utilisée (en mégawatts).	PUISSANCE ultime prévue (en mégawatts).	MISE en service.
Itaipu (Brésil) .....		12 600	
Grand Coulee (U. S. A.).....	3 563	9 780	1941
Paulo Alfonso (Brésil).....	1 299	6 774	1955
Guri (Venezuela) .....	524	6 500	1967
Tucuri (Brésil) .....		6 480	
Sayanskaya (U. R. S. S.) .....		6 400	
Krasnoyarsk (U. R. S. S.) .....	6 096	6 096	1958
La Grande (Canada) .....		5 416	1979
Churchill Falls (Canada) .....	5 225	5 225	1971
Bratsk (U. R. S. S.) .....	4 100	4 600	1964
Sukhhovo (U. R. S. S.) .....		4 500	
Ust Ilimsk (U. R. S. S.).....	720	4 320	1974
Ilha Solteira (Brésil) .....	3 200	4 100	1973
Cabora Bassa (Mozambique) .....	2 000	4 000	1975

**Taux de croissance annuelle par principale zone géographique.**

ZONE GEOGRAPHIQUE	DE 1974 A 1983	DE 1985 A 2000	PRODUCTION escomptée en 2000 (TWh).
	En pourcentage.		
Europe .....	+ 2,35	+ 0,5	900
URSS .....	+ 5,25	+ 6	
Canada .....	+ 3,3	+ 2,2	
USA .....	+ 1,4	+ 2,2	
Japon .....	+ 3,5	»	
Chine .....	+ 14,2	+ 8	
Autres pays .....	+ 6,6	+ 7,25	
<b>Total</b> .....			1 523
			4 000 (milliards de kWh).

La production mondiale attendue en 2000 correspondrait à un pourcentage équipable de 35 à 41 % contre 14,5 % en 1974.

Part de l'hydraulique par zone.

Traduite en millions de tonnes d'équivalent charbon, la part de chaque zone dans la production hydraulique mondiale évoluerait comme suit en quantité et en pourcentage :

	1974		2000	
	10 <sup>6</sup> TEC	%	10 <sup>6</sup> TEC	%
Pays occidentaux .....	339,2	71	525	45,6
URSS et pays de l'Est .....	50,6	10,6	235	20,5
Chine .....	11,7	2,4	35	3
Tiers Monde .....	76,2	15	355	30,9
<b>Total .....</b>	<b>477,7</b>	<b>100</b>	<b>1 150</b>	<b>100</b>

Participation aux bilans énergétiques de chaque zone et du monde.

	1974	2000
	(Pourcentage.)	
Pays occidentaux .....	6,7	4,2
U. R. S. S. et pays de l'Est.....	2,7	3,4
Chine .....	2,2	1,5
Tiers Monde .....	9,2	6,2
Ensemble du monde .....	5,8	4,2

On voit ainsi qu'en dépit d'un accroissement très sensible (+ 141 %), en valeur absolue, la contribution de l'hydraulique aux besoins énergétiques mondiaux restera sinon marginale du moins assez faible et ne sera pas de nature à combler le déficit éventuel des ressources en produits fossiles.

## VI. — L'ÉNERGIE NUCLÉAIRE

**Le problème de la mise en œuvre de l'énergie nucléaire a incontestablement dominé avec celui du pétrole les travaux de la Conférence.**

Nous estimons donc nécessaire de faire, tout d'abord, le point des équipements existants et du rôle qu'ils jouent dans la fourniture énergétique.

### A. — Bref rappel historique.

Ce n'est pas ici le lieu de développer la nature de cette technique. Rappelons toutefois qu'il s'agit d'utiliser l'énergie produite par la fission atomique découverte en 1938 et réalisée expérimentalement pour la première fois en 1942 par trois physiciens européens : Fermi, Szilard et Wigner, émigrés aux États-Unis.

La première application « pratique » de cette césure de l'atome aura malheureusement été la destruction d'Hiroshima et de Nagasaki les 6 et 9 août 1945.

C'est seulement après la guerre qu'apparurent les premiers projets d'utilisation pacifique de cette force, essentiellement aux États-Unis, en Grande-Bretagne et en U. R. S. S., puis en France, mais les premiers prototypes industriels n'ont guère vu le jour qu'après 1960 et la véritable phase d'expansion est postérieure à 1970.

Il s'agit donc d'une énergie que l'on pourrait qualifier de « nouvelle » si cet adjectif n'avait été, depuis lors, utilisé pour désigner d'autres techniques.

## B. — Avantages et handicaps.

### 1° Avantages.

L'énergie nucléaire présente l'avantage de pouvoir être obtenue à partir d'une quantité de combustible extrêmement réduite puisqu'une tonne d'uranium équivaut au plan énergétique à 11 000 tonnes d'équivalent pétrole. Ceci rend l'implantation des centrales indépendantes de toute voie de communication (mais non de toute source de refroidissement).

Elle permet également, avec des installations limitées d'obtenir des puissances très élevées de l'ordre de 950 à 1 300 mégawatts et davantage. Par ailleurs, comparée à la combustion du charbon et du pétrole, la réaction nucléaire ne pollue pas l'environnement, les dégagements de gaz et de matières volatiles étant à peu près négligeables.

### 2° Handicaps.

En dehors du handicap psychologique que constitue la « paternité » de la bombe atomique, l'énergie nucléaire nécessite la mise en œuvre, en amont et en aval des centrales, de techniques complexes, coûteuses, relativement dangereuses et fortement dépensières en énergie.

En amont, la technique actuellement mise en œuvre exige que l'uranium naturel extrait soit ensuite enrichi en isotope radioactif (U. 235) et cet enrichissement nécessite des installations de grande taille consommant beaucoup d'électricité dont le bilan est cependant largement positif.

En aval, le combustible utilisé contient des matières irradiées de très haute, haute et moyenne activité et dont la durée de vie radioactive dépasse pour certaines plusieurs milliers d'années. Il est donc nécessaire de traiter ces déchets et, en particulier, d'isoler les produits les plus nocifs et de les mettre hors de portée des générations présentes et futures, ce qui pose, on s'en doute, de sérieux problèmes.

On peut considérer, toutefois, que toutes ces difficultés ont été aujourd'hui industriellement résolues dans des conditions de sécurité à la mesure des dangers encourus.

**C. — Situation actuelle des équipements nucléaires  
et perspectives de développement.**

Nous extrayons du rapport sur les ressources nucléaires présenté à Istanbul les renseignements suivants :

*1° Puissance installée actuelle et future.*

REGIONS DU MONDE	1977	1985	2000	2020
	(En mégawatts électriques.)			
Monde industriel .....	96	247	955	2 423
Dont les Etats-Unis.....	50	165	»	»
Pays communistes .....	9	33	402	1 610
Reste du monde .....	2	23	186	1 000
Total .....	107	303	1 543	5 033

Ces chiffres, déduits des programmes nucléaires des différentes nations, font apparaître une croissance très rapide de l'énergie nucléaire, le taux annuel de progression étant de 15 % environ pour l'ensemble du monde de 1978 à 2020, beaucoup plus fort pour les pays en voie de développement que pour les nations industrialisées.

*2° Participation aux besoins énergétiques.*

Sur ces bases, la part du nucléaire dans la fourniture totale d'électricité passerait de 4 % aujourd'hui à 50 à 60 %. Ceci représente une progression également beaucoup plus forte dans les pays du tiers monde puisque dès maintenant le nucléaire assure 8 % et plus de la fourniture d'électricité dans plusieurs pays industrialisés.

Quant à la participation du nucléaire aux besoins énergétiques totaux, elle évoluerait comme suit par zone géographique (suivant une étude effectuée par EDF en mars 1977) :

Participation de l'énergie nucléaire.

	1974		2000	
	Quantité (10 <sup>6</sup> TEC).	Pourcentage de l'énergie.	Quantité.	Pourcentage de l'énergie.
Pays occidentaux .....	72,8	1,4	3 430	27,5
U. R. S. S. et Europe de l'Est..	3,9	0,2	1 030	14,9
Chine .....	0	,	130	5,4
Tiers monde .....	1,2	0,2	860	15
Total .....	77,9	0,9	5 450	19,9

On voit qu'à partir de l'an 2000 du moins le nucléaire devrait commencer à jouer un rôle important dans les pays occidentaux et, déjà significatif, dans le reste du monde, sous réserve, comme nous allons le voir, que les ressources et la production d'uranium permettent son développement.

#### D. — Le problème de l'approvisionnement en uranium.

L'uranium joue, toutes choses égales par ailleurs, pour les centrales nucléaires, le rôle du charbon, du pétrole et du gaz dans les centrales thermiques.

Pour fixer les idées, rappelons qu'il faut environ 140 tonnes d'uranium naturel pour alimenter chaque année une tranche de 1 000 mégawatts utilisant la technique aujourd'hui la plus généralement employée dite « à eau légère ».

Ceci précisé, les besoins en uranium (ou en thorium) sont susceptibles de varier de façon très substantielle suivant les procédés mis en œuvre et l'utilisation qui sera ainsi faite des produits radioactifs.

Le rapport canadien présenté à Istanbul a retenu cinq scénarios :

— absence de retraitement des produits irradiés ;

— retraitement mais recours à long terme aux surrégénérateurs ; mise en œuvre à moyen terme (à partir de 1990) des surrégénérateurs ;

— recours complémentaire au thorium.

Dans la première hypothèse, une faible partie seulement de l'uranium naturel se trouve utilisée ; l'isotope 235 de ce métal, seule matière fissile consommée par les réacteurs à eau, ne représentant que sept pour mille de la masse totale.

Selon la seconde et la troisième hypothèse, en revanche, une partie importante de l'uranium naturel est progressivement transformée en plutonium fissile dans les réacteurs à neutrons rapides, dits communément surrégénérateurs, et pour une puissance comparable à celle mise en œuvre dans le premier cas on estime que le combustible nécessaire est de cinquante à soixante fois moins important.

Toutefois, l'utilisation des surrégénérateurs ne peut pratiquement se concevoir qu'à partir d'un parc minimum de réacteurs à eau au cœur desquels « naît » le plutonium. Quel que soit l'intérêt des surrégénérateurs, ils ne pourront donc, dans un premier temps, représenter qu'une partie du parc nucléaire en service (1).

Quant à l'utilisation du thorium, elle permettrait, bien entendu, d'économiser une partie de l'uranium.

Dans ces conditions, la demande cumulative mondiale d'uranium se présenterait comme suit à l'horizon 2000 et 2020, suivant les quatre premiers scénarios évoqués ci-dessus conventionnellement numérotés de « a » à « d ».

### 1° Demande mondiale cumulée d'uranium.

SCENARIO de croissance nucléaire.	PAYS de l'O. C. D. E.		PAYS socialistes.		AUTRES PAYS	
	2000	2020	2000	2020	2000	2020
	(En millions de tonnes.)					
a .....	2,0	7,8	0,6	2,9	0,5	2,2
b .....	2,0	6,6	0,6	2,6	0,5	2,2
c .....	2,0	5,3	0,6	2,0	0,5	2,2
d .....	2,0	4,6	0,6	1,8	0,5	2,2

(1) 25 %, en France, en l'an 2000.

Comme on peut le constater, l'incidence de l'utilisation des surrégénérateurs ne se manifesterait donc, au plan mondial, qu'après l'an 2000, époque où la consommation totale d'uranium atteindrait 3,1 millions de tonnes. On notera toutefois qu'au niveau français l'introduction plus rapide de ce type de réacteur aura un impact sensible sur la consommation d'uranium dès la fin de ce siècle.

En l'an 2020, le recours progressif aux surrégénérateurs ramènerait la consommation mondiale cumulée de 12,9 à 9,9 millions de tonnes permettant ainsi une économie de 3 millions de tonnes.

Pour donner, par ailleurs, une idée de la croissance annuelle des besoins, précisons que, selon une étude récemment publiée par le CEA, la demande annuelle d'uranium du monde « occidental » (Japon inclus) évoluerait comme suit de 1976 à 1990 (en milliers de tonnes) :

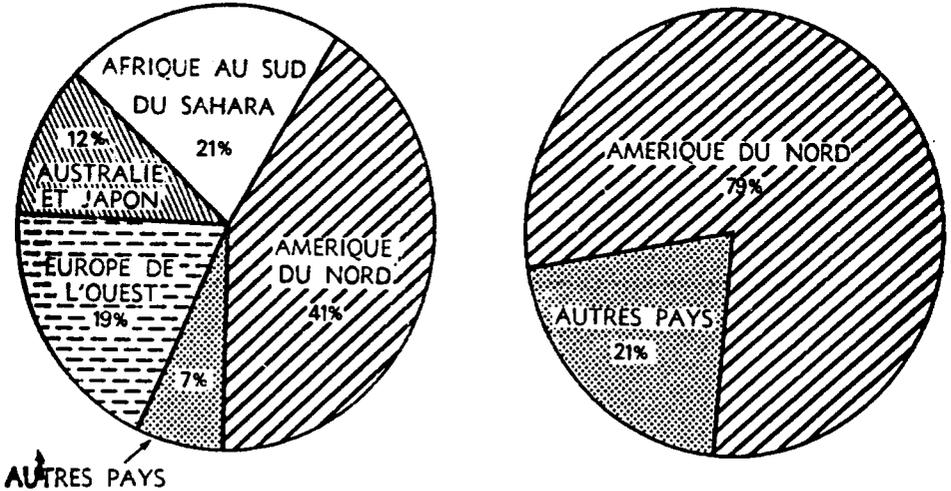
	1976	1980	1985	1990
Europe .....	7,5	18,5	33,9	46
U. S. A.....	8,4	20,9	37,3	58,7
Japon .....	2,5	2,8	6,3	10,3
Autres pays .....	0,8	3,9	10,4	19,4
<b>Total .....</b>	<b>19,2</b>	<b>46,1</b>	<b>87,9</b>	<b>134,4</b>

En estimant à 20 % environ la part des pays socialistes on peut considérer que la demande mondiale d'uranium progressera de 1976 à 1990 de 24 000 à 160 000 tonnes en franchissant la barre des 100 000 tonnes vers 1987.

Face à cette demande en croissance rapide, quelles sont les réserves et les capacités productives des gisements ? Nous allons nous efforcer de situer ce problème.

2° Réserves et capacités de production des gisements d'uranium.

Les ressources mondiales prévues d'uranium pouvant être extraites à des coûts ne dépassant pas 625 F par kilogramme se présentaient comme suit au 1<sup>er</sup> janvier 1977 pour le monde « occidental » :



RESSOURCES raisonnablement assurées (en tonnes).	REGION DU MONDE	RESSOURCES supplémentaires estimées (en tonnes).
Tonnes d'uranium.		Tonnes d'uranium.
825,000	1. Amérique du Nord.....	1 709,000
388 800	2. Europe de l'Ouest.....	90,100
244,700	3. Australie, Nouvelle-Zélande et Japon..	42,000
57,000	7. Amérique latine .....	194,400
32,100	8. Moyen-Orient et Afrique du Nord.....	69,600
427,800	9. Afrique (au Sud du Sahara).....	134,500
2,400	10. Asie de l'Est.....	,
29,200	11. Asie du Sud.....	23,300
<b>2 007,000</b>	<b>Total mondial .....</b>	<b>2 162,900</b>

Ces ressources apparaissent faibles au regard des besoins évoqués ci-dessus, mais on doit tenir compte du fait que l'exploration systématique des gisements potentiels n'en est encore qu'à ses débuts et que les quantités réellement exploitables sont sans doute beaucoup plus importantes.

Nous avons noté, d'ailleurs, que les experts américains rencontrés par une délégation de notre commission à Washington en 1973 avaient déjà chiffré, à cette époque, les seules réserves des Etats-Unis en oxyde d'uranium à 3,5 millions de tonnes.

Une évaluation nettement plus optimiste est fournie par M. Felden, dans son livre *Le Défi nucléaire* qui, se basant notamment sur les études de l'O. C. D. E., estime les ressources mondiales ultimes d'uranium exploitables dans les conditions actuelles, à 10 millions de tonnes, quantité qui permettrait d'assurer le fonctionnement des réacteurs à eau jusqu'à la généralisation des surrégénérateurs, cinquante fois moins dépensiers en combustible.

On évaluera l'importance de ce potentiel en combustibles nucléaires en notant qu'il correspond à plus de 100 milliards de tonnes d'équivalent pétrole lorsque l'uranium est « brûlé » dans un réacteur à eau, et à 5 000 milliards de tonnes, s'il est utilisé dans un surrégénérateur (quantité supérieure au potentiel de toutes les autres ressources fossiles).

On notera enfin que ces chiffres sont susceptibles d'importantes réévaluations si l'on accepte des prix de revient nettement plus élevés, ce que la faible incidence du combustible dans le coût de l'énergie produite permet d'envisager.

### 3° Capacité productive des gisements d'uranium.

Si le niveau des réserves d'uranium ne devrait donc pas poser de sérieux problèmes, il n'en est pas de même pour celui de la production. En effet, les difficultés qu'a rencontrées le marché de ce métal jusqu'en 1973 n'a pas incité les producteurs à développer leur activité et l'inertie des travaux à entreprendre est telle qu'il faudra un effort important pour atteindre à bref délai le rythme de production souhaitable.

La gravité du problème est illustrée par le tableau suivant concernant le potentiel productif des gisements reconnus jusqu'en 1990 (en tonnes d'uranium par an) :

**Possibilités prévues de production mondiale d'uranium jusqu'en 1990.**

REGION DU MONDE	1977	1980	1985	1990
	(Tonnes d'uranium par an.)			
1. Amérique du Nord.....	20.800	31.550	48.500	58.250
2. Europe de l'Ouest.....	2.560	3.520	5.950	6.150
3. Australie et Japon.....	650	790	7.330	15.030
7. Amérique latine .....	200	680	1.600	600
8. Moyen-Orient et Afrique du Nord.	(1)	100	100	100
9. Afrique (au Sud du Sahara)....	9.300	16.900	19.700	19.200
10. Asie de l'Est.....	(1)	30	(2)	(2)
11. Asie du Sud.....	(2)	(2)	(2)	(2)
<b>Total mondial .....</b>	<b>33.510</b>	<b>53.570</b>	<b>83.380</b>	<b>99.330</b>
		(3)	(3)	(3)

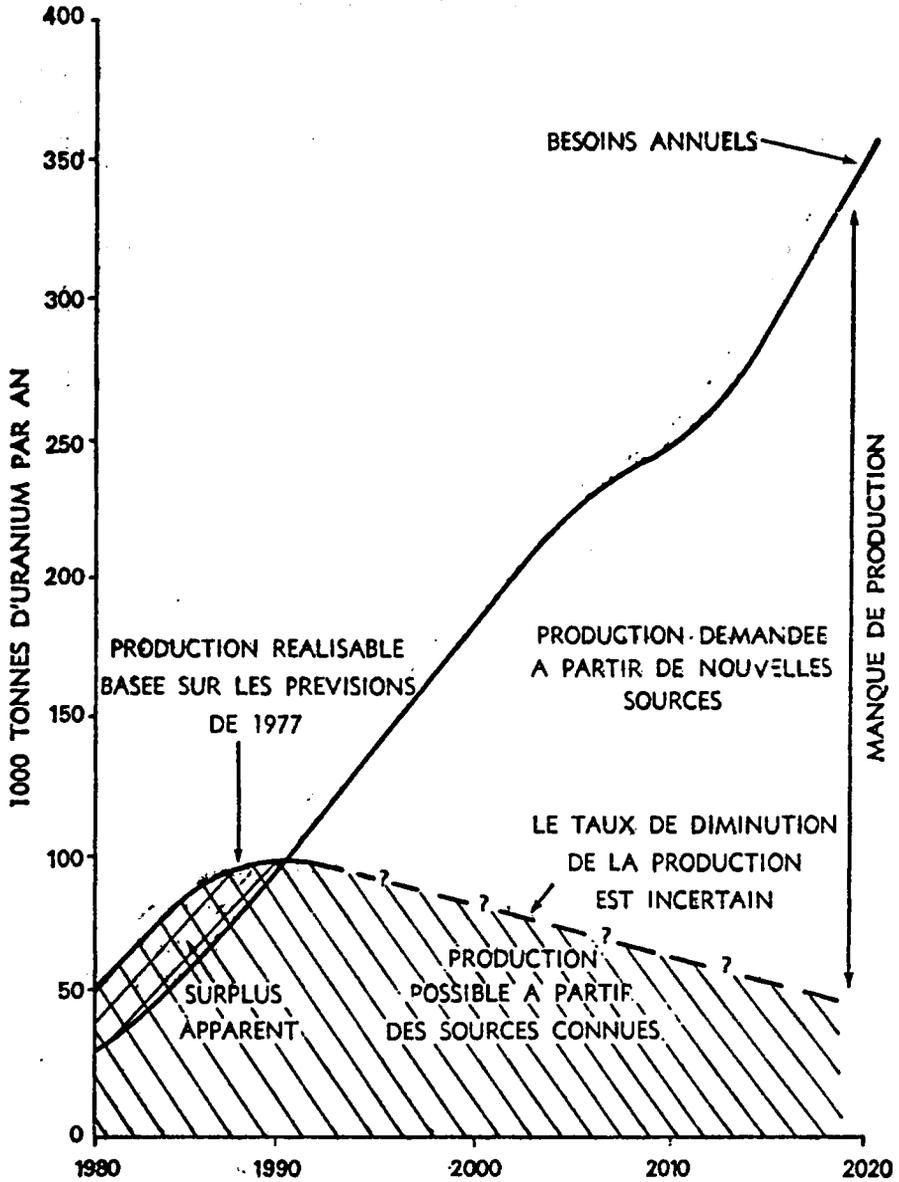
(1) Nulle.

(2) Aucune prévision connue.

(3) Selon des évaluations plus récentes les capacités de production pourraient atteindre 55 000 tonnes en 1980, 62 000 tonnes en 1985, 110 000 tonnes en 1990.

Comme on peut le constater, il est urgent de mettre, dès aujourd'hui, en chantier de nouvelles exploitations minières, faute de quoi la production indiquée ci-dessus ne pourra pas couvrir les besoins au-delà de 1990.

4° Relation entre l'offre et la demande d'uranium.



Ce tableau souligne l'urgence du développement des recherches de gisements nouveaux et de leur exploitation.

### E. — Recours possible au thorium.

Le thorium 232 est un métal rare qui peut être employé dans le cycle de combustible des réacteurs nucléaires. Associé à l'uranium 233, il est utilisé comme élément fertile ; c'est en quelque sorte l'équivalent de l'uranium 238 dans le cycle uranium-plutonium. En effet, l'uranium 233, isotope fissile, de propriétés voisines de celles de l'uranium 235, n'existe pas à l'état naturel et est produit à partir du thorium par capture neutronique, comme l'est le plutonium à partir de l'uranium 238. La mise en œuvre d'un cycle thorium-uranium 233 implique donc, dans une première étape, la production d'uranium 233 à partir de réacteurs thermiques utilisant du combustible mixte thorium-uranium 235 ou, éventuellement, de réacteurs à neutrons rapides utilisant par exemple une « couverture » en thorium.

*Les ressources mondiales de thorium raisonnablement assurées (1) et probables sont estimées respectivement à 490 000 tonnes et 833 000 tonnes (source O. C. D. E. 1977). Elles seraient donc nettement inférieures à celles d'uranium. Cependant, compte tenu des faibles prospections réalisées, il est certain que les ressources de thorium réelles sont plus élevées. De même, le niveau de production n'est pas significatif.*

Enfin, la faiblesse du marché fait qu'il n'existe pas actuellement de prix réel pour ce métal ( $\approx 150$  F/kg).

Le cycle thorium 233 uranium est étudié depuis longtemps, en particulier dans le cas des réacteurs à haute température (R. H. T.). La mise en œuvre industrielle de ce cycle reste cependant à réaliser, *ce qui implique des délais de l'ordre de quinze à vingt ans.*

Concernant l'utilisation du thorium, il faut noter, en particulier, l'émission de rayons gamma durs issus des « descendants » de l'uranium 232 toujours présents, même à faible pourcentage, avec l'uranium 233. Cette caractéristique complique grandement la manipulation du combustible, mais représente par contre un

---

(1) Les pays les plus riches en thorium sont l'Inde, le Canada, l'Égypte, les États-Unis et le Brésil.

élément favorable sur le plan de la non-prolifération (difficulté du détournement clandestin). Cependant, contrairement à une idée couramment avancée à l'étranger, il faut noter que l'uranium 233 peut convenir au moins aussi bien que l'uranium 235 à la réalisation d'engins militaires de destruction.

\*  
\* \*

Les trois principales conclusions qui se sont dégagées de l'examen du rapport sur l'énergie nucléaire peuvent se résumer comme suit :

— cette technologie apparaît mieux que toute autre en mesure de répondre, dans des conditions économiquement acceptables (1), aux besoins énergétiques du monde et, en particulier, de remédier à la décroissance fatale des fournitures pétrolières qui couvrent actuellement plus de 40 % des besoins ;

— le développement de cette source nouvelle nécessite des efforts considérables de prospection des ressources et d'exploitation des gisements ;

— la mise en œuvre dans les délais les plus brefs de réacteurs à neutrons rapides (surrégénérateurs) est absolument essentielle pour permettre une utilisation rationnelle des matières fissiles pendant un délai suffisamment long et, plus précisément, jusqu'à la mise au point de technologies nouvelles (telles que la fusion nucléaire) susceptibles d'apporter une solution définitive aux problèmes énergétiques mondiaux d'ici cinquante à soixante ans.

---

(1) Selon les déclarations faites à notre groupe d'étude de l'énergie par M. le directeur général d'E. D. F. le coût du kilowattheure fourni par les centrales nucléaires françaises en 1977 a été de 9,3 centimes contre 13,5 à 14,5 centimes pour celui produit par les centrales au fuel.

## VII. — LES ENERGIES ET TECHNOLOGIES NOUVELLES

Les menaces qui pèsent, depuis 1973, sur l'approvisionnement du monde en hydrocarbures liquides ou gazeux a remis en valeur les énergies dites, à tort, « nouvelles ». Qu'il s'agisse, en effet, de l'énergie solaire, éolienne, géothermique ou biologique, elles mettent en œuvre des forces de la nature utilisées, directement ou non, depuis la plus haute antiquité. On doit donc plutôt parler, en ce qui les concerne, de renouveau plus que d'innovation.

Quoi qu'il en soit, ces énergies bénéficient incontestablement auprès de certains secteurs de l'opinion publique soucieux d'écologie de leur caractère généralement non polluant et du caractère bénéfique qui s'attache, parfois abusivement, à tout produit « naturel » (1). Elles sont donc, et trop souvent à notre gré, jugées et appréciées par certains par simple opposition aux centrales nucléaires.

En dehors de ces énergies « nouvelles », il nous faut également évoquer les technologies nouvelles parmi lesquelles ont été principalement évoqués à Istanbul la fusion nucléaire et le rôle de l'hydrogène. Ces différentes questions ont été développées en particulier dans l'excellent rapport du docteur Tolha Yarman, maître de conférences à l'Institut technique d'Istanbul.

### A. — L'énergie solaire.

Ainsi que le rappelle l'auteur du rapport turc, qui fait d'ailleurs la synthèse des observations présentées sur le même sujet par de nombreux pays, l'énergie solaire est connue depuis plus de deux mille ans puisqu'on raconte qu'Archimède utilisa des miroirs concaves pour enflammer les navires romains du consul Marcellus attaquant Syracuse en 212 avant Jésus-Christ.

*C'est en tout cas aujourd'hui l'énergie qui bénéficie du plus grand engouement et dont l'utilisation apparaît la plus séduisante bien qu'elle tire sa source de l'énergie nucléaire du soleil.*

---

(1) Cf. les nombreux accidents et dommages causés par la foudre, les inondations, les avalanches, la sécheresse, les tremblements de terre et autres phénomènes « naturels ».

### 1° *Un potentiel illimité mais diffus et irrégulier*

Les physiciens nous apprennent que la terre et son atmosphère absorbent une puissance solaire moyenne de l'ordre de 120 milliards de mégawatts thermiques couvrant 16 500 fois les besoins énergétiques du monde. Malheureusement, cette énergie est très diluée et les mesures effectuées au niveau du sol conduisent à des valeurs réelles moyennes variant de 290 à 93 watts par mètre carré selon les régions. A titre d'exemple, la France reçoit ainsi de 1 225 à 1 925 kilowatts-heure par an et, en adoptant un rendement de conversion de 10 %, l'aire théorique nécessaire à la satisfaction de nos besoins actuels en électricité exigerait une aire de captation de 1 100 kilomètres carrés.

Tout le problème de l'exploitation de l'énergie solaire est exprimé par ces chiffres. Il faudrait y ajouter le fait que la quantité de chaleur dispensée par le soleil est inverse de celle des besoins puisqu'elle culmine dans les régions désertiques inhabitées, en été et de jour, et qu'elle est beaucoup plus faible dans les pays industrialisés, situés sous les latitudes moyennes, en hiver et pendant la nuit.

### 2° *Principales techniques d'utilisation.*

Les principaux systèmes employés sont les panneaux capteurs, les miroirs réflecteurs et les cellules photovoltaïques (conversion photovoltaïque).

a) *Les panneaux capteurs* utilisent, on le sait, l'effet de serre qui se développe entre une surface noire et un vitrage laissant passer la lumière. Ces installations présentent l'intérêt d'être simples à réaliser et à entretenir, de ne prévoir aucune pièce en mouvement et de pouvoir être aisément intégrables dans la construction (toitures ou murs solaires). Toutefois, elles ne dispensent généralement pas de l'obligation de disposer d'un chauffage d'appoint (1 mètre carré de panneau porte 100 litres d'eau par jour de 20 °C à 60 °C).

Selon certaines estimations des spécialistes français de cette technique, il serait possible de couvrir ainsi 30 % de nos besoins nationaux en chauffage domestique d'ici à la deuxième décennie du prochain siècle et d'économiser en conséquence 8 à 10 % de nos

*dépenses d'énergie.* Les Australiens pensent, pour leur part, que l'énergie solaire pourrait satisfaire à 40 % leurs besoins thermiques vers l'an 2000, et, dès maintenant, certaines maisons, écoles, institutions, piscines sont ainsi alimentées en eau chaude pour un coût direct de 2 à 4 centimes par kWh, les dépenses d'investissement étant évalués à 125 dollars (US) par mètre carré de capteur, y compris le réservoir de stockage. Ce dernier cas illustre l'intérêt de cette formule dans un pays chaud de fort ensoleillement.

De nombreux rapports citent les principales réalisations ou projets à l'étranger :

*Etats-Unis* : 1 600 unités de chauffage ou de réfrigération en service ; 4 000 prévues en 1980 ; coût actuel : 220 dollars par mètre carré. Objectif : couverture de 35 % des besoins thermiques domestiques en 2020 ;

*Japon* : 2 millions d'unités (surtout pour le chauffage d'eau sanitaire) ; programme « Sunshine » de 3 milliards de dollars d'ici à l'an 2000 ;

*Israël* : 100 000 unités (chauffage individuel) ;

*Pays nordiques* : nombreux projets bénéficiant du long ensoleillement des étés où le chauffage reste souvent nécessaire ;

*Royaume-Uni* : prévision (pour 2000) d'économiser 4 000 mégawatts (1,8 % du bilan énergétique actuel).

#### b) *Les miroirs réflecteurs.*

Ce procédé, contrairement au précédent, exige une importante machinerie mais permet, en revanche, d'obtenir des températures infiniment plus élevés conduisant à des utilisations industrielles soit directes (fusion de matériaux réfractaires), soit indirectes (génération d'électricité).

La France est en bonne place dans ce domaine avec le four d'Odeillo (Pyrénées-Orientales) qui concentre la chaleur réfléctée par 2 500 mètres carrés de miroirs. Il en existe, toutefois, un autre cinq fois plus puissant à Erevan en Arménie.

Bien entendu, la climatisation solaire des immeubles exige, comme le chauffage électrique, son complément idéal, une excellente isolation thermique, compte tenu du coût élevé du stockage des calories.

Les miroirs réflecteurs peuvent également être utilisés comme source de chaleur pour une centrale thermique électrique. Sur ce plan aussi, notre pays est bien placé avec son prototype de centrale de 60 kW électriques d'Odeillon destinée à démontrer la « faisabilité » de telles installations et d'autres projets de 100 à 1 000 kWe associant des miroirs paraboliques et des collecteurs et des centrales à capteurs plans (construites par Sofretes). Enfin le C. N. R. S. a étudié une centrale de 10 mégawatts dont la chaudière placée au sommet d'une tour de 100 à 150 mètres serait chauffée par 2 500 miroirs répartis sur 250 000 mètres carrés.

Au Japon, la mise en service d'une centrale de 1 000 kWe est envisagée pour 1980 et un centre de 10 000 kWe est à l'étude.

Un effort important est aussi poursuivi et amplifié dans ce sens aux Etats-Unis :

— projet de l'université d'Arizona d'une centrale de 1 000 mégawatts utilisant comme source chaude un métal liquide (5 kilomètres carrés de miroirs collecteurs) ;

— projet Meinel (3,5 kilomètres carrés de collecteurs) ;

— projet de réalisation d'une centrale à gaz (porté à 1 700° C) utilisant un miroir d'un kilomètre carré de surface (!).

### c) *Conversion directe en électricité.*

Cette méthode présente un intérêt évident puisqu'en évitant les pertes inhérentes au passage par l'énergie thermique (principe de Carnot), elle permet d'obtenir un rendement très élevé et d'éviter toute pollution thermique annexe. Malheureusement le prix des cellules photo-voltaïques est très élevé, 30 à 50 dollars par watt et la surface importante de panneaux nécessaire (100 kilomètres carrés pour 2 000 mégawatts) constitue un second handicap.

Vingt années d'expériences spatiales donne évidemment sur ce point une avance considérable aux Etats-Unis où il est prévu que le coût des cellules pourrait être réduit à 50 centimes par watt d'ici à 1985, suivant les étapes de développement suivantes :

1° Réduction du coût de production de silicium à l'usage nucléaire ;

2° Diminution du taux de silicium non utilisé dans la fabrication de cellules (75 % actuellement) ;

3° Amélioration du rapport de la surface des cellules à la surface totale du capteur ;

4° Développement satisfaisant d'encapsulages des matériaux pour accroître la durée de vie d'un module ;

5° Automatisation de la production des panneaux au silicium.

Il est également fait mention des cellules solaires gallium arsenic qui amélioreront le rendement.

Des recherches sont poursuivies dans le même sens au Japon, en Allemagne fédérale et en France.

\*  
\* \*

En conclusion de ce chapitre (il apparaît que l'énergie solaire est appelée à jouer *un rôle non négligeable à moyen terme (1985) mais surtout à long terme (au-delà de 2000)* sans qu'elle puisse pour autant remédier au déficit énergétique important qui pourrait résulter d'une grave pénurie d'hydrocarbures liquides ou gazeux. Dans la meilleure hypothèse, en effet, le Soleil ne pourrait fournir que 10 à 15 % des besoins en chaleur des pays industrialisés à partir de 2020. Encore convient-il de noter que cette contribution bénéficierait principalement au secteur domestique et tertiaire et resterait sans doute marginal au plan industriel.

## B. — L'énergie géothermique.

1° *Un potentiel considérable mais difficile à exploiter.*

Comme l'énergie solaire, l'énergie géothermique est théoriquement en mesure de satisfaire et au-delà les besoins de l'humanité. Toutefois, le potentiel effectivement exploitable est infiniment plus faible et le rendement des gisements est gravement hypothéqué par le degré thermique généralement faible des sources chaudes. Cela conduit à établir une distinction essentielle entre la géothermie à haute énergie utilisant des sources de chaleur à 300 ° C et plus et la géothermie à basse énergie utilisant de l'eau dont la température se situe entre 60 et 90 ° C.

## *2° La géothermie haute énergie et ses applications industrielles.*

Les gisements géothermiques à haute température sont relativement peu nombreux et difficilement utilisables. Cependant une vingtaine sont aujourd'hui exploités totalisant une puissance électrique de 1 257 mégawatts, dont 417 en Italie, 190 en Nouvelle-Zélande, 75 au Mexique et 502 aux Etats-Unis.

On escompte que ce montant sera porté à 1 865 mégawatts en 1980.

Le prix de revient était de l'ordre de 3 centimes par kWh en 1973.

Pour l'avenir, les Etats-Unis ont des projets ambitieux et certains spécialistes avancent des chiffres de 3 500 à 10 000 mégawatts pour la fin du siècle (2 % de leurs besoins énergétiques).

Malheureusement les gisements à haute énergie sont limités et on n'en connaît guère aujourd'hui que cinq (Larderello en Italie, deux aux Etats-Unis, deux au Japon). On étudie toutefois la possibilité d'utiliser des roches « chaudes » au sein desquelles serait injectée de l'eau récupérée ensuite sous forme de vapeur.

## *3° La géothermie, basse énergie.*

Cette technique a évidemment un rendement assez faible mais les nappes d'eau souterraine « tièdes », très nombreuses entre 1 000 et 2 000 mètres de profondeur dans ces terrains sédimentaires, fournissent une solution appropriée au chauffage des appartements, des piscines et des cultures sous serres, et même à certaines activités industrielles.

Diverses réalisations existent depuis longtemps, notamment en Islande (chauffage de Reykjavik), en Hongrie (600 mégawatts installés), en U. R. S. S. (600 mégawatts), aux Etats-Unis et en France (à Melun et à Creil).

Pour l'avenir, les pays s'intéressant à cette technique prévoient un recours croissant à la géothermie, essentiellement pour le chauffage des immeubles collectifs, mais il apparaît que les progrès seront lents, cette technique exigeant, pour être économiquement valable, la présence d'une zone d'habitat dense à proximité des sources chaudes.

En conclusion, on peut dire que la géothermie sera certainement une solution énergétique intéressante pour certains pays bénéficiant, comme les Etats-Unis, le Japon, le Mexique ou la Nouvelle-Zélande, de sites géologiques particuliers mais qu'elle ne jouera qu'un rôle d'appoint partout ailleurs. Au total, on estime, au mieux, à 100 000 mégawatts la puissance qui pourrait être exploitée en l'an 2000, dont sans doute largement plus de la moitié aux Etats-Unis.

### C. — L'énergie éolienne.

Plus encore que pour les autres énergies « naturelles », il n'existe aucune commune mesure entre la force potentielle des vents et celle qui est effectivement utilisable.

Cependant de nombreux pays ont, depuis 1973, étudié ou réétudié avec soin les différentes solutions qui permettraient de réaliser et d'utiliser valablement des aérogénérateurs suffisamment fiables.

La plupart se montrent aujourd'hui, après quelques expériences peu encourageantes, extrêmement réservés surtout quant aux possibilités offertes par les grandes éoliennes à destination industrielle.

Suivant de récentes études il faudrait, par exemple, pour produire une énergie équivalente à 1 million de tonnes de pétrole, mettre en œuvre 5 000 éoliennes de 150 mètres de haut couvrant une superficie de 5 000 hectares.

Il apparaît, en revanche, que des appareils simples de dimensions réduites peuvent alimenter valablement des installations individuelles isolées, étant entendu qu'une source d'énergie complémentaire restera nécessaire.

### D. — Les biomasses.

Un des rapports les plus originaux présentés à Istanbul a été celui traitant de la possibilité d'utiliser la formation des déchets organiques, notamment pour obtenir du méthane ou de l'oxyde de carbone. Cette méthode est particulièrement utilisée aux Indes où fonctionnent déjà 35 000 unités de production de « biogaz »

obtenu surtout à partir du fumier. On note que, malgré ce développement remarquable, 800 millions de tonnes de fumier qui pourraient être une source suffisante de gaz de cuisine pour 150 millions de personnes sont encore séchés et brûlés comme combustible. Mentionnons également qu'il existe à Katmandou (Népal) une usine alimentée par les déchets des toilettes publiques et des égouts et qu'à partir de ceux-ci sont produits à la fois du gaz et des engrais de valeur.

Le rapport présenté à Istanbul mentionne, par ailleurs, la construction en Chine de nombreuses fabriques de biogaz et les travaux poursuivis dans plusieurs pays pour utiliser les déchets organiques domestiques ou industriels.

..

Si intéressante que puisse être cette technique de récupération des déchets, notamment pour des pays dépourvus de toute source classique de force ou de chaleur, elle ne paraît pas de nature à changer sensiblement les données du problème énergétique mondial.

#### E. — La fusion nucléaire.

La fusion nucléaire consiste dans la réunion de deux noyaux d'isotopes de l'hydrogène, opération qui libère une énorme quantité d'énergie, soit 45 millions de tonnes d'équivalent pétrole pour une fusion d'une tonne de deutérium avec une tonne et demie de tritium.

Si l'on considère qu'il existe un kilogramme de cet hydrogène « lourd » pour 30 tonnes d'eau, on voit que cette technologie est théoriquement susceptible de fournir une solution définitive aux besoins énergétiques mondiaux.

Malheureusement, la réalisation de ces réactions se heurte à de sérieuses difficultés dont les principales sont l'obtention d'une température extrêmement élevée et un confinement de la matière ainsi chauffée (qui devient alors un plasma) exigeant un champ magnétique d'une intensité considérable.

On mesurera le chemin qui reste à parcourir en notant que la température atteinte jusqu'à maintenant est de 20 millions de degrés pendant 5/100 de seconde pour un plasma contenant  $10^{18}$  ions

par centimètre cube alors qu'il faudrait atteindre 100 millions de degrés pendant une seconde avec une densité de  $10^{14}$  ions par centimètre cube.

Pour obtenir les champs magnétiques de l'intensité recherchée, on utilise, soit des appareils à circuit fermé, dits tokomaks ou stellarators, soit des dispositifs en circuit ouvert nommés miroirs magnétiques.

Le rapport présent à Istanbul fait le point des appareils existants utilisant ces deux techniques. Il cite, en particulier, parmi les installations les plus puissantes, le réacteur expérimental de Princeton (coût 218 millions de dollars), la machine à miroirs de Livermore et le nouveau dispositif également à miroirs étudié par l'ERDA.

On voit donc que les U. S. A. disposent dans ce domaine d'une certaine avance sur les Européens, avance que la réalisation décidée par la Communauté de l'appareil à circuit fermé J. E. T. devrait permettre de combler.

En France, le tokomak de Fontenay-aux-Roses a donné des résultats remarquables et permis d'atteindre 20 millions de degrés et une densité ionique considérable.

De leur côté, les Russes s'orientent surtout vers une autre méthode faisant appel au laser qui pourrait réduire sensiblement la puissance à mettre en œuvre.

Dans l'état actuel des choses, la « faisabilité » de la fusion n'est pas encore prouvée mais de considérables progrès sont escomptés quand les grandes machines de 40 à 100 térawatts (1 tW = 1 milliard de kW) seront disponibles (vers 1980-1983) dans les laboratoires de Kharkov et de Kurchatov, en U. R. S. S., et de Sandie aux Etats-Unis.

En dehors des obstacles techniques, on doit également tenir compte du coût très élevé des recherches entreprises. A titre d'exemple, le rapporteur fait état de crédits programmés aux Etats-Unis pour la fusion qui atteindraient 15 à 20 milliards de dollars dont 400 millions ont été dépensés pour la seule année 1977 (1) !

En dépit de ces difficultés de tous ordres, les techniciens sont confiants et espèrent que des réacteurs de démonstration pourront être opérationnels à partir de 1990, ce qui laisse entrevoir une utilisation industrielle vers 2020.

---

(1) Chiffre à rapprocher des 150 millions de dollars dont devrait disposer Euratom pour 1978.

On voit donc qu'il ne peut être question d'attendre de la fusion qu'elle vienne relayer les autres formes d'énergie, et notamment celle de la fission atomique, avant, au mieux, quarante ou cinquante ans.

#### F. — Deux carburants d'avenir : l'hydrogène et le méthanol.

Comme nous l'avons indiqué à propos de l'utilisation des produits énergétiques classiques, seuls le pétrole et, dans une moindre mesure, le gaz naturel conviennent à des usages polyvalents et peuvent, notamment, être employés dans les transports. Par ailleurs, certaines énergies comme l'électricité ne sont pas susceptibles d'être aisément stockées. Il était donc normal que les recherches s'orientent vers la production de carburants relativement faciles à obtenir, à transporter et à conserver et possédant des qualités énergétiques comparables aux hydrocarbures gazeux ou liquides.

##### *L'hydrogène.*

Gaz à haut pouvoir énergétique, l'hydrogène, principalement utilisé aujourd'hui dans l'industrie chimique, présente l'avantage d'être obtenu aisément, sinon économiquement, à partir de l'eau, notamment par l'électrolyse (1). Bien que le rendement de cette opération soit médiocre, ceci permet d'utiliser le courant électrique excédentaire aux heures creuses et d'obtenir ainsi un produit susceptible d'être conservé liquide sous une pression, il est vrai, très élevée. Cependant, des efforts importants restent à faire pour abaisser le prix de revient de l'énergie ainsi produite, qui est plus de trois fois supérieur à celui de la calorie obtenue à partir du pétrole.

##### *Le méthanol.*

Le méthanol (ou alcool méthylique) a sur l'hydrogène l'avantage d'être liquide à la température ordinaire. Il est donc susceptible de remplacer l'essence dans les moteurs à combustion interne. Avant la dernière guerre, il a d'ailleurs été utilisé comme tel par addition au carburant auto dans la proportion de 10 à 12 %.

Sa production peut être réalisée à partir du bois ou par oxydation du méthane. C'est ainsi qu'en République fédérale il constitue une voie prometteuse d'utilisation de la gazéification du charbon.

---

(1) Il existe actuellement en Colombie britannique une installation de 90 mégawatts électriques de puissance, qui fournit 700 000 mètres cubes d'hydrogène par jour.

Le méthanol peut donc être considéré comme un vecteur très intéressant de deux produits fossiles puisque, contrairement au gaz et à la houille, il est facilement et économiquement transportable et se prête, comme eux, à de nombreuses utilisations énergétiques ou chimiques. Il est, en outre, moins polluant que les carburants classiques, sa combustion produisant beaucoup moins d'oxyde d'azote.

La commercialisation de ce produit se heurte cependant à deux obstacles principaux : nécessité de mise au point de matériels spécifiques (moteurs à méthanol) et prix de revient sensiblement deux fois plus élevé que celui de l'essence. Il faudrait donc que le « brut » atteigne au moins 20 dollars le baril (contre 12 actuellement) pour rendre cet alcool compétitif.

La production mondiale actuelle est de l'ordre de 10 millions de tonnes. Il faudrait donc accroître ce chiffre dans des proportions considérables pour que ce produit prenne vraiment place parmi les sources énergétiques.

#### *Autres formes d'énergies.*

Nous n'avons pas jugé utile de traiter dans ce rapport des autres formes d'énergie telles que celles fournies par la marée, la chaleur des mers ou les vagues, ces techniques ne paraissant pas devoir fournir mieux qu'un appoint non significatif au bilan énergétique mondial.

## CONCLUSION

Les principales observations faites par les membres de votre commission ayant suivi les différents exposés présentés et discutés à Istanbul peuvent se résumer comme suit :

### **Intérêt marqué dans l'ensemble du monde pour les problèmes énergétiques :**

La participation de 4 500 délégués appartenant à soixante-dix pays aux travaux de la Conférence et le grand nombre des rapports présentés marquent l'intérêt que tous les pays portent aux problèmes de l'énergie. De nombreux orateurs, à commencer par nos hôtes turcs, ont souligné *le lien entre l'énergie et le niveau de vie et celui de l'emploi*, le facteur de l'augmentation de la population étant également à prendre en compte.

En dépit des éléments d'incertitude affectant les prévisions à moyen et long terme, les experts estiment qu'ainsi la *consommation mondiale d'énergie* devrait passer de 6,5 milliards de tonnes d'équivalent pétrole (tep) actuellement, à 16,6 en l'an 2000.

### **Rôle croissant des pays en voie de développement :**

Le fait que la Turquie ait tenu à accueillir cette fois la Conférence alors que la session précédente s'était tenue à Detroit revêt une signification certaine.

En effet, les besoins des pays en voie de développement qui ne consommaient encore, en 1972, que 24 % de l'énergie mondiale sont destinés à s'accroître d'ici à l'an 2000 beaucoup plus rapidement que ceux des pays industriels (5,1 % par an au lieu de 2,5 à 3,5 %) et cette différence de rythme devrait s'accroître ultérieurement au point que leur part devrait atteindre 47 à 50 % en 2020 (soit en quantité plus de deux fois la consommation mondiale d'aujourd'hui).

Il ne faut donc pas surestimer la portée des économies d'énergie pouvant être réalisées par les Occidentaux sur le volume global de la demande. On ne peut méconnaître également le souci des nations de l'O. P. E. P. de se préoccuper en priorité de leurs besoins économiques propres (voir les interventions du secrétaire général de cet organisme).

**Les ressources en énergie fossile classique sont limitées :**

Le rapport de M. Desprairies sur les *ressources pétrolières* a, sur ce point, dominé les travaux de la Conférence. Il a présenté les conclusions d'une vaste enquête auprès des experts de tous les pays du monde, montrant que les ressources en pétrole conventionnel, c'est-à-dire pouvant être extrait dans des conditions techniques possibles et économiquement raisonnables (pas plus de 20 dollars le baril), étaient de l'ordre de 300 milliards de tonnes.

En ce qui concerne la production, celle-ci culminerait à 5 milliards de tonnes/an vers 1990, décroîtrait lentement, ensuite, retrouverait le niveau actuel, 3 milliards de tonnes, vers l'an 2010, et diminuerait alors plus rapidement. Encore convient-il de préciser que ces évaluations tiennent compte aussi bien des anciens gisements que des ressources nouvelles découvertes, inférieures de 1970 à 1975 à la consommation.

Ces conclusions de M. Desprairies sont d'autant plus à considérer que le pétrole couvre encore aujourd'hui plus de 40 % des besoins mondiaux et devrait encore en assurer 36 % en l'an 2000.

Par ailleurs, pour les pays occidentaux, la situation est beaucoup plus sérieuse qu'au plan mondial, les réserves des plus favorisés d'entre eux (U.S.A. et Grande-Bretagne) ne couvrant pas vingt ans de consommation dans la meilleure hypothèse.

Il convient donc de réserver, par priorité, dès maintenant le pétrole à ses usages spécifiques : transport et pétrochimie (40 % de son usage actuel).

Pour le gaz (20 % des besoins actuels), la situation est moins sérieuse puisque 10 % des réserves seulement ont été consommés. Mais, compte tenu de la croissance très rapide de la consommation, le potentiel productif ne croîtrait que jusqu'en 2020. Comme pour le pétrole, les ressources occidentales seraient alors près d'être épuisées et nous dépendrions en quasi-totalité des pays de l'Est et des pays en voie de développement.

Le charbon reste l'énergie fossile la plus abondante et la mieux répartie (43 % en Occident, 32 % dans les pays de l'Est, 25 % dans le Tiers Monde).

L'abondance des ressources (350 à 700 ans) est malheureusement contrebalancée par les difficultés inhérentes à l'exploitation des gisements et au transport. Ce produit est donc destiné surtout à être consommé sur place par les pays les mieux pourvus.

A ce sujet la technique de gazéification des gisements profonds conduit à reviser en forte hausse les réserves utilisables en permettant, par exemple, d'exploiter des ressources dont l'Europe occidentale est abondamment pourvue, et qui ne peuvent être actuellement utilisées par les moyens traditionnels.

Quoi qu'il en soit, sa part dans la consommation mondiale d'énergie, aujourd'hui de 30 % (après avoir atteint 60 % en 1950), ne devrait pas dépasser 20 % en 2000, ce qui suppose cependant un doublement de sa production qui passerait de 2,5 milliards à 5,6 milliards de tonnes.

En ce qui concerne l'hydraulique, on estime que les sites économiquement exploitables ont été presque totalement équipés dans les pays occidentaux mais que les ressources importantes restent disponibles dans les pays du Tiers Monde ainsi qu'en U.R.S.S. et au Canada. De ce fait, la production pourrait doubler d'ici l'an 2000, ce qui ne couvrirait cependant qu'un peu plus de 4 % des besoins mondiaux.

#### **Quasi-unanimité pour le « nucléaire » et le recours aux réacteurs rapides :**

Technique relativement neuve, le nucléaire devrait voir sa part passer de 1 % (1974) à 15 % en l'an 2000 en liaison avec la pénétration croissante de l'électricité, son relais normal (22 % de l'énergie utilisée en 1974, 50 % à la fin du siècle) : croissance là aussi plus rapide dans les pays en voie de développement (+ 6,9 % par an) qu'en Occident (+ 4,2 %).

Mais ce développement du « nucléaire », destiné à suppléer pour l'essentiel la carence des produits énergétiques fossiles, est lui-même tributaire des ressources en uranium.

A ce sujet, la présentation d'un rapport élaboré par un groupe d'experts canadiens a constitué un autre temps fort de la conférence.

Selon cette étude, en effet, la demande d'uranium devrait dépasser 90 000 tonnes en 1990, dans l'hypothèse du recours aux seuls réacteurs à eau légère, 200 000 tonnes en 2000 et 600 000 tonnes en 2020 alors que la production mondiale prévisible de ce métal est estimée à 100 000 tonnes en 1990 et, sur la base des réserves actuellement connues, ne pourrait guère dépasser ce chiffre.

En revanche, la mise en œuvre progressive des réacteurs rapides consommant cinquante fois moins de combustible casse la courbe de la demande à partir de 1995 et ramène les besoins mondiaux à 140 000 tonnes/an environ en 2000 et la demande d'uranium ne devrait pas, dans ces conditions, dépasser 180 000 tonnes avant d'entamer une sensible décroissance.

Presque tous les experts présents à Istanbul faisant la même analyse estiment indispensable de *recourir dans les meilleurs délais aux surrégénérateurs* (1), seul moyen de permettre à l'énergie nucléaire de remédier à la réduction fatale des ressources énergétiques fossiles et d'assurer ainsi un relais essentiel jusqu'à la mise au point de la fusion thermo-nucléaire.

Seul, le *délégué américain* a exposé un avis contraire en développant, *sans conviction apparente*, la position du président Carter hostile au surrégénérateur, la mise en œuvre de celui-ci supposant le retraitement des combustibles irradiés et l'utilisation du plutonium.

Il est symptomatique que *tous les pays en voie de développement, producteurs de pétrole ou non, ont marqué leur souhait de recourir au « nucléaire »* et qu'il n'existe pas de différence à ce sujet entre pays de l'Est et pays de l'Ouest, pays « riches » et pays « pauvres ».

### **La fusion : espoir suprême mais technique difficile à maîtriser :**

La fusion thermo-nucléaire apparaît comme la seule technique théoriquement susceptible de résoudre le problème énergétique mondial de façon définitive, puisqu'elle utilise comme matière première des isotopes de l'hydrogène (deutérium et tritium) qui existent dans la nature en quantités incommensurables.

Malheureusement, la mise en œuvre de cette technique exige des conditions, notamment très haute température et confinement, très difficiles à réaliser et dont il est seulement possible mais pas

---

(1) Ce qui suppose retraitement et usage du plutonium.

certain qu'elles pourront l'être, en laboratoire, d'ici à quinze ou vingt ans. Il est donc illusoire de penser qu'une mise en œuvre industrielle de la fusion puisse intervenir avant 2010 à 2020.

**Les énergies nouvelles : un simple appoint à court et moyen terme :**

Qu'il s'agisse de la géothermie, du soleil, du vent ou des marées, ces énergies ont toutes en commun de présenter un potentiel théorique très élevé mais un rendement très faible et une capacité d'utilisation limitée et coûteuse en l'état actuel de la technique.

Il s'agit donc, pour le moment, de sources locales d'appoint dont le rôle va rester, à moyen terme, marginal et aucun technicien qualifié ne les crédite à l'horizon 2000 de plus de 4 à 5 % de la couverture des besoins énergétiques mondiaux, les pourcentages les plus élevés apparaissant probablement dans les pays industrialisés.

En revanche, ces énergies devraient voir leur part s'accroître sensiblement dès les premières années du siècle à venir surtout si les menaces qui se profilent concernant les ressources fossiles viennent à se concrétiser.

**Intérêt de l'utilisation des « biomasses ».**

Un des rapports les plus originaux présentés à Istanbul concerne l'utilisation des produits organiques, qu'il s'agisse de leur décomposition (production de gaz) ou de leur combustion.

Comme pour les autres énergies nouvelles, le potentiel théorique est considérable mais la mise en œuvre se heurte à de sérieuses difficultés. On notera cependant l'intérêt qu'a suscité ce rapport auprès des pays du tiers monde démunis de ressources énergétiques conventionnelles.

**Nécessité d'une planification énergétique à l'échelle mondiale :**

A quelques exceptions près, *aucun pays ne peut actuellement prétendre régler seul ses problèmes énergétiques*. Les répercussions de la demande des uns sur la fourniture aux autres sont, en effet, telles qu'elles exigent une coordination de plus en plus étroite au niveau de l'exploitation et des recherches.

A titre d'exemple, de larges fractions de l'opinion publique ont pris conscience du fait que les ressources énergétiques fossiles constituent un bien commun de l'humanité qu'il importe de préserver et d'employer au mieux.

### **Recours indispensable à toutes les sources énergétiques :**

Il nous apparaît enfin nécessaire de préciser qu'*aucune source énergétique ne peut et ne doit répondre seule aux besoins de l'humanité*. Il ne faut donc rien négliger pour tirer parti des produits et des techniques qui s'offrent à nous et *se méfier surtout des solutions miracles*.

La part excessive faite au pétrole par les pays industrialisés séduits par le bon marché et la facilité d'utilisation de ce produit doit constituer pour tous une leçon et un avertissement salutaire.

### **Renchérissement inévitable de l'énergie :**

Compte tenu de l'accroissement des besoins énergétiques que la politique la plus volontariste d'économie ne pourra que freiner, et d'une réduction fatale des ressources fossiles, dont le rôle est et sera longtemps encore prédominant, *le coût de l'énergie est appelé à croître, et sans doute sensiblement, au cours des cinquante années à venir*. La déclaration du représentant de l'O.P.E.P. affirmant, à Istanbul, que le prix du pétrole devrait logiquement être porté, dès aujourd'hui, de 12 à 20 dollars le baril est, à ce sujet, significative. Quels que soient les progrès techniques réalisables, le facteur énergétique sera donc à prendre de plus en plus en considération dans nos activités industrielles et commerciales, comme dans nos budgets familiaux, et toute politique d'aménagement devra prendre en compte cette donnée sous peine de remettre en question notre compétitivité et notre niveau de vie.

## ANNEXE

### PRODUCTION D'ELECTRICITE DANS LE MONDE EN 1976 ET PART DU NUCLEAIRE

La production nette d'électricité dans le monde est évaluée en 1976 à environ 6 400 milliards de kWh (TWh) dont plus de 6 % ont été fournis par les centrales nucléaires en fonctionnement dans dix-neuf pays.

La répartition entre ceux-ci est la suivante :

PAYS	PRODUCTION NETTE D'ELECTRICITE en TWh.		
	Totale.	Nucléaire.	Pourcentage nucléaire total.
Etats-Unis .....	2 113	191,1	9,0
U. R. S. S. ....	1 051	?	(a)
Japon .....	487	31,4	6,4
R. F. d'Allemagne .....	313	22,8	7,3
Canada .....	295	16,4	5,6
Royaume-Uni .....	258	31,2	12,1
France .....	195	15,0	7,7
Italie .....	156	3,6	2,3
Inde .....	89	3,0	3,4
Espagne .....	86	7,3	8,5
Suède .....	84	15,3	18,2
R. D. d'Allemagne .....	81	4,8	5,9
Tchécoslovaquie .....	58	0,3	0,5
Pays-Bas .....	56	3,7	6,6
Belgique .....	45	9,3	21,1
Suisse .....	36	7,6	21,1
Argentine .....	31	2,4	7,7
Bulgarie .....	26	4,7	18,1
Pakistan .....	?	0,5	