



**SOURCES  
NOUVELLES  
D'ÉNERGIE  
ET PRODUCTION  
D'ÉNERGIE**

**RAPPORT SUR LES TRAVAUX DE LA CONFÉRENCE DES NATIONS UNIES  
SUR LES SOURCES NOUVELLES D'ÉNERGIE**

**ÉNERGIE SOLAIRE • ÉNERGIE ÉOLIENNE • ÉNERGIE GÉOTHERMIQUE**

**ROME, 21-31 AOÛT 1961**

**NATIONS UNIES**

DÉPARTEMENT DES AFFAIRES ÉCONOMIQUES ET SOCIALES

SOURCES NOUVELLES D'ÉNERGIE  
ET  
PRODUCTION D'ÉNERGIE

Rapport sur les travaux de la Conférence des Nations Unies  
sur les sources nouvelles d'énergie

Energie solaire. Energie éolienne. Energie géothermique

Rome, 21 - 31 août 1961



NATIONS UNIES

New York, 1962

## NOTE

Les cotes des documents de l'Organisation des Nations Unies se composent de lettres majuscules et de chiffres. La simple mention d'une cote dans un texte signifie qu'il s'agit d'un document de l'Organisation.

Dans le présent rapport, sauf indication contraire, le terme « tonne » désigne la tonne métrique et le terme « dollar » le dollar des Etats-Unis.

Les désignations utilisées dans cette publication et la présentation des données qui y figurent n'impliquent de la part du Secrétariat de l'Organisation des Nations Unies aucune prise de position quant au statut juridique de tel ou tel pays ou territoire, ou de ses autorités, ni quant au tracé de ses frontières.

---

E/3577/Rev.1  
ST/ECA/72

PUBLICATION DES NATIONS UNIES

Numéro de vente : 62. I. 21

Prix : 0,75 dollar (USA)  
(ou l'équivalent en monnaie du pays)

## AVANT-PROPOS

La Conférence des Nations Unies sur les sources nouvelles d'énergie a eu lieu à Rome du 21 au 31 août 1961, en exécution des résolutions du Conseil économique et social et sur l'invitation du Gouvernement italien. Elle s'est tenue au siège de l'Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture.

En approuvant les dispositions relatives à l'organisation de la Conférence, dans sa résolution 779 (XXX), le Conseil avait invité le Secrétaire général à lui faire rapport lors de sa trente-troisième session sur les travaux et les résultats de la Conférence. Le rapport présenté ci-après sous le titre *Sources nouvelles d'énergie et production d'énergie* a été établi en exécution de la résolution précitée.

Il se divise en deux parties. Dans la première partie, on passe en revue brièvement les origines et l'organisation de la Conférence (chap. 1<sup>er</sup>) et on résume les principaux aspects des travaux (chap. 2); on y examine également, au chapitre 3, les conclusions qui se dégagent de la Conférence, en indiquant dans leurs grandes lignes les mesures à prendre sur le plan international et à d'autres échelons.

La deuxième partie groupe des renseignements complémentaires de caractère plus technique. Elle présente une synthèse systématique des mémoires soumis à la Conférence et des débats dont ils ont fait l'objet. Après une étude générale dans laquelle est exposée la situation d'ensemble des nouvelles sources d'énergie, l'énergie géothermique, l'énergie éolienne et l'énergie solaire sont examinées tour à tour.

L'ordre du jour, la liste des présidents et des rapporteurs, la liste des personnes qui ont participé à la Conférence et l'index des mémoires et de leurs auteurs figurent en annexe.

La documentation complète de la Conférence, comprenant 250 communications et 20 rapports généraux et résumés présentés par les rapporteurs, sera imprimée prochainement. Ces documents seront publiés en plusieurs volumes. Le premier volume contiendra ceux qui concernent les sources nouvelles d'énergie et la production d'énergie, l'emploi combiné de diverses sources d'énergie et les problèmes d'emmagasinage de l'énergie; les volumes suivants contiendront les documents concernant l'énergie géothermique, l'énergie solaire et l'énergie éolienne.

## TABLE DES MATIÈRES

<i>Chapitres</i>	<b>Première partie</b>	<i>Pages</i>
1. — Origine et organisation de la Conférence . . . . .		3
2. — Exposé général des travaux . . . . .		5
3. — Conclusions générales . . . . .		14

### **Deuxième partie**

Introduction . . . . .	19
Energie géothermique . . . . .	24
Energie éolienne . . . . .	33
Energie solaire . . . . .	40
Emploi combiné de diverses sources d'énergie et problèmes d'emmagasiner de l'énergie	55

### **ANNEXES**

1. — Ordre du jour . . . . .	59
2. — Bureau de la Conférence . . . . .	61
3. — Nombre de personnes ayant pris part à la Conférence . . . . .	64
4. — Liste des documents de séance . . . . .	65
5. — Liste des documents de séance classés selon leur cote . . . . .	72

# **PREMIÈRE PARTIE**



## Chapitre premier

### ORIGINE ET ORGANISATION DE LA CONFÉRENCE

La première des initiatives officielles qui aboutirent à la réunion de la Conférence fut prise le 4 mai 1956 quand le Conseil économique et social recommanda que les Nations Unies portent « le même intérêt à toutes les sources nouvelles d'énergie » qu'aux sources d'énergie dites conventionnelles et qu'à l'énergie atomique (sujet d'une résolution connexe). Dans sa résolution 598 (XXI), le Conseil priait le Secrétaire général de préparer un rapport sur l'utilisation pratique des sources nouvelles d'énergie, y compris l'énergie solaire, l'énergie éolienne et l'énergie géothermique.

Pour donner suite à cette résolution, le Secrétaire général a présenté une étude intitulée « Nouvelles sources d'énergie et développement économique »<sup>1</sup> qui fut préparée avec le concours de cinq spécialistes éminents. Dans sa résolution 653 III (XXIV) du 26 juillet 1957, le Conseil a demandé que l'on prépare un rapport sur les faits nouveaux intervenus dans ces domaines, « ainsi que des recommandations concernant ... une conférence internationale sur les sources nouvelles d'énergie autres que l'atome et sur leurs applications économiques, cette conférence devant alors être réunie aussitôt que possible ».

Après avoir examiné ce nouveau rapport<sup>2</sup>, le Conseil, dans sa résolution 710 A (XXVII) du 17 avril 1959, pria le Secrétaire général de prendre, dans le cadre des Nations Unies, les mesures nécessaires à la réunion, en 1961, d'une conférence sur l'énergie solaire, l'énergie éolienne et l'énergie géothermique, considérées spécialement du point de vue de leurs applications dans les pays insuffisamment développés.

Pour préparer cette Conférence, on a organisé en 1960 trois réunions de spécialistes de l'énergie solaire, éolienne et géothermique : une à Madrid (23 au 28 mai), une à Grenoble (14 au 17 juin) et une à Rome (27 juin au 2 juillet). Lors de ces réunions on a établi l'ordre du jour définitif de la Conférence et formulé des directives générales pour la rédaction des mémoires qui pourraient éventuellement être présentés. Le 3 août 1960, dans sa résolution 779 (XXX), le Conseil a approuvé les dispositions proposées en vue de la convocation de la Conférence, du 21 au 31 août 1961, et accepté avec satisfaction l'offre faite par le Gouvernement de l'Italie d'accueillir la Conférence.

On a créé dans le cadre des Nations Unies un secrétariat de la Conférence dont M. A. G. Katzin fut nommé secrétaire exécutif. En octobre 1960, ce secrétariat a

publié un Bulletin d'information<sup>3</sup> destiné à présenter des renseignements d'ordre général, l'ordre du jour et les méthodes de travail de la Conférence et à fournir des directives pour la rédaction des mémoires. Les personnes invitées à rédiger des mémoires et celles invitées à assister à la Conférence ont été choisies sur des listes établies au cours des réunions préparatoires ou sur la proposition de gouvernements d'Etats Membres et de diverses organisations<sup>4</sup>.

Sur les nombreux mémoires présentés, on a accepté exactement 250 mémoires individuels qui portaient sur tous les points de l'ordre du jour approuvé par le Conseil et rendaient compte de l'expérience acquise par des participants de 29 pays<sup>5</sup>. Les 447 personnes inscrites qui ont assisté aux séances représentaient une très grande variété de disciplines et des organismes très divers ; elles venaient de 74 pays et territoires<sup>6</sup>. Des institutions spécialisées des Nations Unies, telles que l'Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture (FAO), le Bureau international du Travail (BIT), l'Organisation des Nations Unies pour l'éducation, la science et la culture (UNESCO), l'Organisation mondiale de la santé (OMS) et l'Organisation météorologique mondiale (OMM) étaient également

<sup>3</sup> Document E/CONF.35/1, publié sous forme imprimée en anglais, en français et en espagnol.

<sup>4</sup> Bien que l'on ait envoyé certaines invitations en se fondant sur les recommandations de gouvernements d'Etats Membres, tous les participants, y compris les auteurs de mémoires (qui ne pouvaient pas tous assister à la Conférence), ont pris part aux travaux à titre personnel et non en qualité de représentants de leur pays.

<sup>5</sup> Classées par pays d'origine, ces communications se répartissaient comme suit : Afrique du Sud, 1 ; Australie, 5 ; Belgique, 1 ; Brésil, 2 ; Canada, 2 ; Chili, 1 ; Danemark, 6 ; Espagne, 3 ; Etats-Unis, 57 ; France, 31 ; Grèce, 1 ; Hongrie, 1 ; Inde, 9 ; Islande, 9 ; Israël, 8 ; Italie, 24 ; Japon, 16 ; Mexique, 1 ; Nouvelle-Zélande, 29 ; Pays-Bas, 4 ; Portugal, 1 ; République arabe unie, 6 ; République fédérale d'Allemagne, 6 ; Royaume-Uni, 10 ; Salvador, 3 ; Suède, 1 ; Suisse, 1 ; Union des Républiques socialistes soviétiques, 4 ; et Uruguay, 2 ; sur les cinq autres mémoires, trois avaient été rédigés conjointement par des experts d'Australie et des Etats-Unis, de Belgique et de Grèce, de l'Inde et des Etats-Unis, tandis que deux provenaient respectivement de l'Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture et de l'Organisation météorologique mondiale. On constate dans cette répartition le rôle prépondérant joué par l'Islande, l'Italie et la Nouvelle-Zélande dans les progrès de l'énergie géothermique, du Danemark dans l'utilisation de l'énergie éolienne et de la France et des Etats-Unis dans le domaine de l'énergie solaire. (On trouvera à l'annexe 4 et à l'annexe 5 la liste et l'index des documents.)

<sup>6</sup> Parmi les participants à la Conférence, 50 venaient d'Afrique (11 d'entre eux d'Algérie), 61 d'Asie (y compris le Moyen-Orient) et 24 d'Amérique centrale et d'Amérique du Sud. Dix venaient d'Australasie, 67 d'Amérique du Nord et 219 d'Europe. (On trouvera à l'annexe 3 la liste des participants classés par pays d'origine.)

<sup>1</sup> Publication des Nations Unies, n° de vente : 57.II.B.1.

<sup>2</sup> Documents officiels du Conseil économique et social, vingt-septième session, Annexes, point 5 de l'ordre du jour, document E/3218.

représentées à la Conférence ainsi que l'Agence internationale de l'énergie atomique (AIEA). De plus, 267 visiteurs accompagnaient les participants et quelque 30 correspondants avaient été spécialement accrédités<sup>7</sup>.

Etant donné que la Conférence devait s'intéresser surtout aux besoins des régions du monde les moins développées, il est intéressant de noter que près d'un tiers des participants venaient de pays appartenant à ces régions. Pour assurer cette participation à laquelle on tenait particulièrement et fournir aux auteurs de mémoires et aux autres participants l'aide financière qui leur permettrait de suivre les travaux, des bourses d'assistance technique ont été accordées, sur demande des gouvernements, à 47 personnes venant de 32 pays ou territoires.

La Conférence a respecté strictement l'ordre du jour initial approuvé par le Conseil<sup>8</sup>. Après avoir déterminé l'orientation de ses travaux lors d'une séance générale d'introduction sur les sources nouvelles d'énergie et la production d'énergie, la Conférence a tenu deux séries parallèles de séances techniques. Une série de neuf séances a été essentiellement consacrée à l'utilisation de l'énergie géothermique, de l'énergie éolienne et de l'énergie solaire pour la production d'énergie mécanique et d'électricité; l'une de ces séances a été réservée à l'emploi combiné de diverses sources d'énergie et aux problèmes d'emmagasinage de l'énergie. L'autre série a consisté en sept séances où l'on a traité de l'utilisation de l'énergie solaire à des fins autres que la production d'énergie mécanique et d'électricité. Les débats qui ont eu lieu à ces séances techniques ont été passés en revue et résumés au cours de quatre séances plénières<sup>9</sup>.

M. Philippe de Seynes, sous-secrétaire aux affaires économiques et sociales, a ouvert la Conférence au nom

<sup>7</sup> Pendant qu'elle siégeait, la Conférence a fait l'objet de centaines d'articles de journaux et d'autres reportages diffusés par divers moyens d'information dans le monde entier. Peu après l'achèvement des travaux, des articles plus techniques, souvent écrits par les participants eux-mêmes, ont commencé de paraître en nombre croissant dans divers périodiques spécialisés. Les participants à la Conférence et les correspondants étaient tenus pleinement au courant des travaux par un journal intitulé « L'énergie quotidienne » et par des communiqués de presse.

<sup>8</sup> On trouvera à l'annexe 1 l'ordre du jour de la Conférence.

<sup>9</sup> L'interprétation simultanée à partir de l'anglais, du français, du russe et de l'italien — langue du pays hôte — et vers ces langues a été assurée à toutes les séances, et des auxiliaires visuels ont été fournis pour les séances techniques. Les débats ont été enregistrés sur bandes magnétiques, mais aucun compte rendu sténographique ni aucun compte rendu analytique officiel n'a été établi.

du Secrétaire général. S. E. M. Egidio Ortona, directeur général du Département des affaires économiques du Ministère des affaires étrangères de l'Italie, qui représentait le gouvernement hôte, a présidé la séance d'ouverture. La séance générale d'orientation et la séance de clôture ont été respectivement présidées par sir Vincent de Ferranti, président du Conseil exécutif international de la Conférence mondiale de l'énergie, et M. David Owen, président-directeur du Bureau de l'assistance technique des Nations Unies.

Vingt et un présidents et 17 rapporteurs ont été nommés et ont fait bénéficier la Conférence de leur expérience. Afin que les participants puissent consacrer le plus de temps possible aux échanges de vues pendant les trois heures prévues pour chaque séance, les mémoires ont été distribués à l'avance et n'ont pas été présentés oralement par leurs auteurs. Les rapporteurs ont présenté les questions en donnant un bref aperçu du contenu des mémoires et en proposant des sujets de discussion. Ils ont également présenté un résumé de débats en séance plénière en insistant sur les problèmes d'application pratique à l'intention des pays insuffisamment développés. Enfin, lors de la séance de clôture, les présidents des différentes séances ont souligné les principaux résultats et conclusions de la Conférence.

Le Gouvernement italien a organisé pendant la Conférence diverses réceptions pour les participants. Grâce aux dispositions prises par ce gouvernement, Sa Sainteté le pape Jean XXIII leur a donné audience à Castelgandolfo le 28 août; il leur a, à cette occasion, parlé des sources nouvelles d'énergie dans leurs rapports avec le développement économique et la protection sociale.

Sur l'invitation de la société Larderello une visite de ses installations géothermiques à Larderello en Toscane a été organisée. Plus de 200 participants ont saisi cette occasion pour aller visiter ces installations modernes dont la puissance nette est d'environ 300 000 kilowatts entièrement produits à partir de vapeur naturelle. Le Laboratoire national de physique d'Israël exposait dans les environs immédiats de Rome un nouveau type de générateur solaire d'une puissance de 5 CH, qui a fait l'objet d'une autre visite à laquelle plus de 300 participants ont pris part. Ce générateur a suscité un très grand intérêt et fait l'objet de vifs éloges car il constitue un progrès important dans la mise au point d'appareils modestes de production d'énergie solaire qui peuvent être utilisés dans des régions insuffisamment développées. Quelques modèles et panneaux illustrant les emplois des sources nouvelles d'énergie étaient, en outre, exposés au siège de la Conférence.

## Chapitre 2

### EXPOSÉ GÉNÉRAL DES TRAVAUX

Les objectifs de la Conférence apparaissent dans l'exposé de ses travaux : échange de vues et d'expérience sur les applications de l'énergie solaire, éolienne et géothermique ; étude des moyens grâce auxquels on pourrait élargir l'utilisation des techniques, en particulier au bénéfice des régions peu développées ; apport de renseignements récents sur les progrès réalisés et sur les possibilités et les limitations que comporte l'utilisation de ces trois sources d'énergie, en particulier dans les régions où les ressources classiques font défaut ou sont très coûteuses<sup>1</sup>.

#### UTILISATION DE SOURCES NOUVELLES D'ÉNERGIE DANS DIFFÉRENTES SITUATIONS ÉNERGÉTIQUES

Les hypothèses qui serviraient de base aux débats et le cadre dans lequel ceux-ci se dérouleraient ont été dégagés lors de la séance d'ouverture et de la première séance générale, au cours desquelles l'ampleur des problèmes à débattre et la façon dont ils seraient traités ont été déterminées. On a fait observer que l'existence de ressources disponibles d'énergie sous de nombreuses formes différentes est l'une des conditions du développement économique et que, en répondant aux besoins en énergie, il faut soigneusement distinguer entre les diverses sources selon les caractéristiques qui les différencient les unes des autres et celles qui leur donnent une valeur particulière dans le cadre socio-économique dans lequel elles doivent être exploitées et utilisées. Ainsi, lorsqu'on examine les sources non conventionnelles d'énergie et leurs possibilités d'exploitation, il faut tenir compte des autres sources d'énergie utilisables et du degré de développement économique de chaque région et pays ou groupe de pays.

En rappelant les données de base pertinentes, on a souligné que la consommation mondiale d'énergie — d'énergie commerciale seulement — atteint actuellement 4 milliards de tonnes d'équivalent-charbon par an. A ce chiffre il faut ajouter 15 p. 100 pour tenir compte des sources « non commerciales » (déchets agricoles, bois et autres) qui fournissent jusqu'à 50 p. 100 de l'énergie consommée dans les continents insuffisamment développés. On prévoit que la consommation totale quadruplera d'ici la fin du siècle. Si l'on considère le taux de consommation par habitant, on constate que la consommation d'énergie varie considérablement selon les régions du monde et ce sensiblement dans les mêmes proportions que le revenu moyen : c'est là un autre indice du rôle indispensable de l'énergie dans le

développement économique. Toutefois, si les chiffres montrent que la consommation moyenne est faible dans les pays en voie de développement, ils ne font pas apparaître un autre écart, celui qui existe entre les grandes zones urbaines et les régions rurales où 2 milliards de personnes, soit les deux tiers de la population mondiale, vivent sans électricité et souvent peuvent à peine subvenir à leurs besoins.

On a donc plus particulièrement appelé l'attention sur différentes situations énergétiques qui, dans les pays sous-développés, peuvent être rangées dans trois catégories du point de vue de l'approvisionnement en électricité : les régions exceptionnelles où les centrales des centres industriels et urbains sont reliées par un réseau interconnecté d'une capacité suffisante pour garantir, dans une zone limitée, un approvisionnement continu d'un niveau souvent comparable à celui des pays développés ; les régions où des centrales isolées répondent, en partie au moins, aux besoins en électricité les plus urgents, et les régions — les plus nombreuses — où l'électricité fait entièrement défaut. Tout au long des débats de la Conférence, on a retrouvé cette division en trois catégories. Elle a été utile pour examiner et évaluer les sources nouvelles d'énergie non seulement du point de vue de la production d'électricité, mais aussi, dans une certaine mesure, du point de vue des autres utilisations de l'énergie.

D'une manière générale, on a conclu que dans les régions de la première catégorie — celles où il existe des réseaux interconnectés et où les ressources en électricité sont exploitées — l'énergie éolienne et l'énergie solaire peuvent n'avoir guère d'importance, à moins que l'étude du prix de revient ne montre qu'elles peuvent fournir de l'électricité et d'autres types utiles d'énergie à des taux concurrentiels, tandis que l'énergie géothermique peut, lorsqu'elle est exploitable, être beaucoup plus économique que toute autre source d'énergie.

Dans les régions de la deuxième catégorie, où le coût des combustibles et celui de la production sont généralement élevés, l'énergie solaire et l'énergie éolienne pourraient être utiles comme sources d'appoint et permettre de réaliser des économies sur les combustibles, tandis que l'énergie géothermique, si elle est exploitable, fournirait de l'énergie à bon marché.

L'énergie éolienne ou solaire peut seule fournir de l'électricité à bien des régions de la troisième catégorie, qui sont de loin les plus communes dans les pays insuffisamment développés et où l'électrification des campagnes et des villages ne pourra généralement être envisagée avant longtemps. L'énergie solaire ou éolienne peut devenir un facteur important qui favorise l'amélioration de conditions de vie non satisfaisantes et pro-

<sup>1</sup> Pour un compte rendu des aspects techniques de la Conférence et pour plus de détails, voir l'analyse et la synthèse présentées dans la deuxième partie.

voque des transformations économiques en fournissant de l'électricité pour les télécommunications, la conservation des denrées alimentaires périssables, le pompage de l'eau et des opérations simples de transformation et de fabrication.

A ce propos, et eu égard notamment aux nombreuses utilisations possibles de l'énergie solaire, on a noté que, du point de vue de certains objectifs sociaux de grande envergure, les sources nouvelles n'étaient pas limitées par les considérations de viabilité économique qui s'imposent aux sociétés industriellement développées. On a également estimé qu'il n'était pas nécessaire que le développement de l'énergie suive la même voie que dans les pays industrialisés. Il s'agissait plutôt, soit de ne fournir aucune énergie, soit d'en fournir, même de façon imparfaite et limitée, pour créer du travail utile et susciter des efforts productifs du point de vue social et économique.

On a abondamment précisé que les sources nouvelles ne sont pas une panacée et souffrent de certaines limitations dues à leur emplacement géographique. On a fait valoir que des obstacles tels que les coutumes, les traditions et le manque de formation pourraient être surmontés, en partie du moins, par la création de centres de démonstration, l'octroi d'une assistance technique ainsi que l'amélioration et la diffusion des connaissances relatives à la disponibilité et aux usages possibles des trois sources d'énergie.

#### ENERGIE GÉOTHERMIQUE

Jusqu'à présent, on n'a guère apprécié, dans l'ensemble, l'intérêt que présentent la découverte et l'utilisation de la vapeur naturelle et de l'eau chaude provenant du sous-sol. Il est fort possible que les séances consacrées par la Conférence à l'étude de l'énergie géothermique marquent un tournant dans ce domaine. C'est la première fois que des personnalités compétentes, poursuivant un même but, ont fait un effort concerté pour rassembler toutes les données intéressant ce champ d'action et, partant, pour ouvrir de nouvelles perspectives et susciter un intérêt nouveau pour la question.

A l'heure actuelle, la vapeur naturelle alimente des centrales électriques d'une puissance de près de 400 000 kilowatts (les trois quarts environ en Italie et le reste dans des centrales installées récemment en Nouvelle-Zélande, aux Etats-Unis, au Mexique et dans d'autres pays). L'énergie géothermique permet également de chauffer les logements de quelque 45 000 personnes en Islande, et elle a encore bien d'autres utilisations, que ce soit dans des couveuses avicoles au Kenya, pour le chauffage de transformation dans les usines de papier et de pâte à papier, ou pour la production de sel ou de sous-produits chimiques. Cependant, si l'on en juge d'après les débats de la Conférence, l'utilisation de l'énergie géothermique en est encore au stade embryonnaire, mais elle peut être appelée à revêtir la plus haute importance, notamment au point de vue de la production d'énergie dans les pays qui ont déjà commencé à explorer ce domaine et dans bien d'autres pays qui commencent se rendre compte des possibilités offertes et des techniques à employer.

L'un des obstacles les plus sérieux à l'utilisation de l'énergie géothermique est qu'on possède peu de données sur l'emplacement des réserves d'énergie, à part les endroits où il se rencontre des eaux thermales ou d'autres manifestations apparentes, par exemple à l'intérieur et aux alentours de l'ensemble du bassin du Pacifique, de la dorsale atlantique, de la traînée des Grands Lacs en Afrique orientale et dans quelques autres zones, pour la plupart volcaniques. Toutefois, on a constaté que l'existence de la vapeur n'était pas nécessairement limitée aux régions volcaniques ni aux endroits où il y a des manifestations de surface. L'Italie en fournit la preuve. On a souligné qu'il pourrait y avoir des ressources géothermiques insoupçonnées dans de nombreux pays où des recherches n'ont pas encore été faites et qu'il serait possible d'aider à vérifier si l'exploitation serait rentable. La Conférence a fait preuve d'un grand optimisme en ce qui concerne la découverte de ressources d'énergie géothermique.

Pour découvrir et exploiter l'énergie géothermique, on utilise des techniques qui se rapprochent par bien des côtés des méthodes appliquées dans l'industrie du pétrole, bien qu'elles en diffèrent sur certains points fort importants. Il s'agit notamment de prospections effectuées à la suite d'enquêtes géologiques, géophysiques et autres, ainsi que de forages de puits. A l'heure actuelle, les techniques de prospection sont très au point, mais les connaissances acquises et les résultats obtenus restent relativement restreints; la cause en est, dans une large mesure, que les travaux d'enquête et de forage, qui seuls peuvent apporter des preuves définitives, n'ont été jusqu'ici entrepris que sur une échelle très réduite. Par exemple, les puits forés pour trouver de l'énergie géothermique ne représentent que 400 000 mètres au total (la moitié en Italie), alors qu'on fore chaque année des millions de mètres de puits pour extraire du pétrole. Cependant, les techniques permettant de sélectionner des champs géothermiques qui se prêteraient à des enquêtes de vaste envergure ne sont pas encore très répandues. Aussi a-t-on estimé que l'assistance technique fournie par l'intermédiaire des Nations Unies pourrait jouer un rôle particulièrement important dans ce domaine. En facilitant la mise au point et l'exécution de programmes bien conçus, on encouragerait les travaux de recherches dans les zones qui semblent présenter le plus d'intérêt d'après les connaissances géologiques générales et du point de vue des besoins en matière d'énergie.

Une fois que les puits à vapeur ont commencé à être exploités, il subsiste — on le sait — quelques incertitudes quant à la durée de leur vie. D'où la nécessité de comprendre l'origine de la vapeur géothermique. Dans les débats qui ont eu lieu sur ce thème, on a semblé admettre qu'une grande partie de la vapeur vient de l'eau de pluie qui s'infiltre lentement jusqu'aux roches chaudes, réapprovisionnant ainsi les sources géothermiques, qui s'apparentent donc davantage aux sources d'énergie hydraulique qu'aux gisements de pétrole ou à d'autres produits non renouvelables. De nouvelles recherches devraient être effectuées et, en même temps, il faudrait multiplier les programmes de forage de puits afin de perfectionner les connaissances et d'intensifier l'utilisation de cette ressource naturelle.

Les techniques d'utilisation de la vapeur géothermique ont atteint un stade de développement avancé grâce à l'expérience acquise dans les divers types de centrales actuellement en fonctionnement. Pour les régions non encore exploitées, l'un des systèmes les plus intéressants est le groupe monobloc simple ; il comporte une turbo-génératrice d'une puissance de 3 500 kilowatts et facilement transportable, qui est alimentée directement par la vapeur sortant du puits, laquelle est ensuite rejetée dans l'atmosphère. Des installations plus importantes fonctionnent aussi : on fait passer la vapeur par plusieurs cycles pour obtenir davantage d'énergie ou pour récupérer des sous-produits chimiques. Exception faite de l'Islande, l'énergie géothermique servira sans doute surtout à produire de l'électricité. L'expérience acquise en Islande montre que, dans certaines régions, on peut se servir de la vapeur géothermique pour fournir de l'eau chaude, chauffer les habitations et les usines et pour appliquer divers procédés industriels exigeant une température de 100 à 300 °C.

La Conférence est parvenue à la conclusion que la production d'énergie géothermique présente de grands avantages : absence de chaudières et de combustible (notamment de combustible importé), permanence des réserves, simplicité de l'installation et faibles dépenses de fonctionnement. L'énergie effectivement utilisable peut également se révéler très peu coûteuse : dans certains cas, le prix de revient du kilowattheure varie de 0,2 à 1 cent des Etats-Unis, ce qui peut être avantageusement comparé aux prix obtenus dans n'importe quelle centrale classique. Dans des conditions favorables, l'énergie géothermique peut donc faire concurrence à l'énergie provenant de toute autre source et elle devrait intéresser à la fois les pays industrialisés et les pays en voie de développement.

Toutefois, de l'avis de la Conférence, les frais de premier établissement, notamment pour la construction de la centrale et surtout les travaux de prospection et de forage, sont tels que, pour être rentable, l'installation doit avoir une puissance minimale de 1 000 kilowatts environ. Une puissance de cet ordre, ou même plus considérable, peut facilement être absorbée dans les zones où il existe soit un réseau interconnecté soit des débouchés groupés autour de centrales isolées, mais elle est plus difficilement utilisable dans les zones reculées où il n'y a pas actuellement l'électricité. Afin que les opérations soient rentables, il est en outre nécessaire d'utiliser la puissance à un coefficient de charge élevé pour tirer pleinement profit des investissements initiaux, qui sont assez considérables, et du niveau assez bas des dépenses courantes. Avant d'investir dans un programme de travaux de prospection et, bien entendu, avant de consacrer des capitaux au forage des puits et à la construction des centrales, il faut commencer par étudier les chances d'utilisation d'une quantité minimale d'énergie et effectuer des enquêtes préliminaires pour déceler les manifestations de surface et autres symptômes de l'existence de ressources géothermiques.

A l'heure actuelle, étant donné que les techniques sont perfectionnées et que le prix de revient semble devoir être peu élevé, les perspectives d'une utilisation

sur une plus grande échelle dépendent, dans une large mesure, de l'intensification des travaux de prospection. Il est probable que de nombreux pays possèdent à leur insu des ressources géothermiques fort intéressantes grâce auxquelles ils pourraient produire de grandes quantités de chaleur et d'énergie.

Il n'est pas douteux que les travaux de la Conférence susciteront un intérêt accru pour le rôle de l'énergie géothermique dans bien des pays qui en possèdent peut-être des réserves. Les résultats obtenus et l'expérience acquise, que ce soit à l'Occident (en Californie), à l'Orient (au Kamtchatka et au Japon), au Nord (en Islande), ou au Sud (en Nouvelle-Zélande), laissent croire que des ressources géothermiques existent partout et représentent une source d'énergie pleine de promesses.

### ENERGIE ÉOLIENNE

Les séances consacrées à l'utilisation de l'énergie éolienne ont montré qu'il y a une recrudescence d'intérêt à l'égard de cette source d'énergie et des techniques nouvelles permettant de l'exploiter à des fins productives. Quinze pays ont rendu compte des progrès réalisés, depuis l'utilisation de petits appareils pour le pompage de l'eau et la production d'électricité, jusqu'à l'emploi de machines plus importantes (10-50 kilowatts) destinées aux collectivités isolées et de machines d'une puissance encore supérieure (à l'heure actuelle, de 100 jusqu'à 900 kilowatts) débitant sur les grands réseaux d'énergie électrique. Plusieurs participants originaires de pays sous-développés ont souligné l'intérêt que l'énergie éolienne présente pour les régions de l'intérieur et, à cette occasion notamment, ils ont demandé qu'on les aide à effectuer des études anémométriques, à former des techniciens, à négocier des contrats et à mettre en place des installations expérimentales.

Les travaux ont porté surtout sur les progrès et les concepts les plus récents et peut-être les plus complexes dans ce domaine. Cependant, on a reconnu que de vastes possibilités s'offrent encore pour les moulins à vent simples de type classique, surtout pour le pompage de l'eau dans les régions sous-développées où les campagnes sont insuffisamment électrifiées, comme c'est le cas en Inde, où un projet visant à installer environ 200 moulins à vent de conception locale est actuellement en cours d'exécution. On a fait observer que, dans les régions rurales privées d'énergie électrique, les petits moulins à vent peuvent se révéler très économiques et qu'en tout cas leurs avantages directs et indirects l'emportent souvent de loin sur les considérations purement économiques.

On a également étudié l'utilisation des éoliennes électriques pour le pompage de l'eau et pour d'autres travaux. A propos du pompage de l'eau, on a observé que les puits se trouvent généralement dans des creux de terrain où les vents sont assez faibles ; toutefois, en plaçant les éoliennes électriques sur des hauteurs venteuses de façon à ce qu'elles captent des vents plus forts et plus réguliers, et en les reliant par des câbles électriques à des pompes actionnées par un moteur, on peut résoudre aisément ce problème et desservir plusieurs puits à la fois.

Ce qui précède est un exemple parmi beaucoup d'autres de l'importance accordée au choix des emplacements et à la mesure des vents. On a souligné l'utilité des observations de longue durée recueillies par les stations météorologiques. Les mesures du vent effectuées par ces stations ne sont pas conçues pour l'étude des besoins en énergie éolienne et il faut donc, en général, les compléter par des études anémométriques préparées en vue d'applications pratiques et par des mesures spéciales destinées à servir aux essais. A ce propos, on a insisté sur la nécessité de créer plus de stations, de recueillir plus de renseignements utiles, de normaliser les instruments et les méthodes de mesure et d'intensifier les recherches et les échanges de renseignements sur les critères d'après lesquels il faut choisir un emplacement convenant à la production d'énergie éolienne. Cependant, on peut considérer comme encourageants les résultats des premières études anémométriques et autres mesures préliminaires qui doivent aboutir à une utilisation rationnelle et moderne de l'énergie éolienne dans plusieurs pays dont l'expérience a été exposée en détail à la Conférence.

Pour ce qui est de la conception technique et du fonctionnement des centrales éoliennes, on s'accorde à penser que les connaissances actuelles sont suffisantes pour permettre la production et l'installation d'un grand nombre d'appareils et que, sur le plan technique, il ne se pose plus de problèmes fondamentaux et il n'y a plus lieu de s'attendre à de grandes découvertes révolutionnaires. De nombreux progrès techniques ont été exposés au cours des conférences — par exemple, l'utilisation de matière plastique renforcée de fibre de verre dans la fabrication des pales, l'adaptation des profils aux toutes dernières théories de l'aérodynamique et de nombreuses innovations techniques concernant les différents éléments qui composent la centrale — mais il s'agissait dans la plupart des cas d'améliorations qui seront apportées aux installations futures pour en augmenter l'efficacité et pour réduire les frais d'exploitation.

On a ainsi montré que la production d'énergie éolienne présente des possibilités techniques certaines. Il faut cependant les distinguer des possibilités économiques. Les experts ont insisté pour que, du point de vue économique, l'on distingue aussi les grandes centrales éoliennes des petits appareils de moins de 5 kilowatts environ qui peuvent être utilisés dans une ferme ou dans d'autres cas où on a besoin de peu d'énergie. Les machines plus importantes devraient être employées dans les régions où il existe un réseau de transport d'énergie, c'est-à-dire dans les régions industrialisées et, dans ces conditions, elles ne se justifient que sur le plan de la concurrence, par exemple par l'économie de combustibles correspondante. On a mentionné plusieurs appareils dans cette catégorie (dont la puissance est de 100 kilowatts environ) : il s'agit surtout de machines expérimentales, mais grâce auxquelles on approche du but recherché, c'est-à-dire un prix de 140 dollars par kilowatt, ce qui les rend utilisables dans des régions où les combustibles coûtent relativement cher. Cependant, il faudra procéder à d'autres essais avant de pouvoir établir de façon convaincante si oui ou non les grandes centrales éoliennes comme celles qui sont actuellement à l'essai en France

sont économiquement viables sur un marché de l'énergie marqué par une concurrence serrée.

Les éoliennes de taille moyenne, d'une puissance comprise entre 10 et 50 kilowatts et généralement prévues pour fonctionner dans un village en liaison avec un groupe électrogène à moteur diesel ou d'autres installations de secours permettant de compenser l'irrégularité du vent, pourraient très bien se révéler économiques, pour autant qu'elles permettent une économie de combustibles, et avantageuses, surtout du fait que, contrairement aux groupes diesel, elles n'exigent pas une surveillance et un entretien constants.

Toutefois, on s'est surtout intéressé aux petits appareils dont on a signalé les nombreuses utilisations possibles dans les régions sous-développées. On a indiqué que le coût de l'énergie produite serait évidemment plus élevé dans le cas des petits appareils que dans celui des appareils puissants, mais, dans les situations énergétiques considérées, le coût relatif de l'énergie est moins important. Dans bien des cas, on pourrait même tolérer l'irrégularité de la source d'énergie ou une capacité d'emmagasinage en batteries limitée. On a souligné que les quelques premiers kilowatts débités sont les plus importants, non seulement par leur contribution sur le plan économique, mais aussi parce qu'ils allègent le fardeau du travail manuel et améliorent les conditions de vie de la population. Pour déterminer quels sont les petits groupes anémoélectriques qui conviennent le mieux à l'utilisation dans les villages, on a tout intérêt à pousser encore les recherches de façon à pouvoir abaisser le coût de l'énergie éolienne grâce à la normalisation et à la fabrication en série des appareils. Pour cela, il faut rapprocher les deux parties intéressées à cette évolution : le fabricant et l'utilisateur éventuel. A ce propos, pour intensifier considérablement l'utilisation de cette énergie, on a suggéré que les Nations Unies jouent le rôle de « catalyseur ». Une des solutions proposées consisterait à demander aux Nations Unies d'établir, en collaboration avec les pays intéressés, des centres de démonstration et d'expérimentation sur l'énergie éolienne et sur l'énergie solaire dans différentes parties du monde.

#### ENERGIE SOLAIRE

La Conférence a consacré bon nombre de ses séances à l'étude de l'énergie solaire. Par la diversité des questions traitées, ces séances ont été le reflet des efforts accomplis dans le monde dans ce domaine comme des nombreuses possibilités d'application dont plusieurs ont été jugées très importantes pour les régions peu développées. Ces possibilités, qui sont grandes, et les difficultés, qui ne le sont pas moins, ont fait l'objet de discussions approfondies qui se sont appuyées sur 118 mémoires communiqués par des personnes appartenant à 22 pays différents. La Conférence marque de ce fait une étape dans une longue série d'efforts ardues visant à découvrir un moyen pratique d'utiliser l'énergie solaire différant des techniques traditionnelles connues de longue date, tels l'évaporation et le séchage à grande échelle, utilisées dans la pêche, l'agriculture et la production de sel marin. Les spécialistes de l'énergie solaire

ont tenu depuis des années de nombreuses réunions scientifiques spécialisées, mais la Conférence leur a permis de passer en revue les progrès dans un contexte différent<sup>2</sup>. Cette fois, ils se sont trouvés en présence de personnes venues de tous les pays du monde et représentant les utilisateurs éventuels. Ils ont donc pu se pénétrer de la nécessité de trouver sans tarder des applications de l'énergie solaire afin de répondre à des besoins particuliers, comme la production de petites quantités d'énergie, la fabrication de glace destinée à conserver les aliments, la distillation d'eau de boisson et la fourniture d'autres produits et services appropriés aux besoins des pays peu développés.

Dans les pays industrialisés, l'énergie solaire sera vraisemblablement utilisée à des fins telles que fours solaires destinés à la recherche, moteurs solaires pour les véhicules spatiaux et chauffage de l'eau. Mais c'est, de l'avis général, dans les pays peu développés qu'elle trouvera son utilisation la plus importante. Deux raisons principales ont été avancées: en premier lieu, on peut prévoir que le rayonnement solaire sera une source complémentaire plutôt que concurrente d'énergie particulièrement utile dans les régions où l'énergie classique fait défaut et, en second lieu, le rayonnement solaire est le plus intense aux latitudes comprises entre 40° N et 40° S, où se trouvent la plupart des pays sous-développés.

L'évaluation de la quantité d'énergie solaire disponible dépend de l'existence de réseaux de stations de jaugeage, d'instruments de mesure, etc. Les débats ont fait apparaître clairement la nécessité de combler les sérieuses lacunes du réseau mondial de stations, lesquelles sont actuellement très rares dans les pays sous-développés en général et dans les régions arides et semi-arides en particulier, ainsi que la nécessité de s'intéresser de près aux conditions micro-climatiques et au jaugeage dans les centres expérimentaux, où l'on pourrait peut-être former des chefs de village capables de diriger les travaux de jaugeage avec des instruments simples. La Conférence a conclu qu'on devait aborder la question sur deux fronts, les météorologues devant, d'une part, tenir compte des directives pratiques communiquées par les utilisateurs de données et, d'autre part, donner des conseils en matière de jaugeage et d'interprétation des résultats au niveau de l'application.

Le captage des rayons solaires de faible intensité nécessite la mise au point de moyens plus efficaces et l'abaissement du prix de revient des collecteurs. Le flux énergétique étant faible, la surface de collection doit être vaste, et le prix du collecteur parabolique ou plan entre pour une grande part dans le coût de l'énergie utilisable; il s'ensuit que l'élévation du coefficient de conversion permet de réduire la superficie nécessaire pour obtenir une quantité donnée d'énergie utilisable. Les recherches portent donc essentiellement sur les moyens d'accroître le rendement et sur le perfectionnement des collecteurs et des divers appareils destinés à utiliser la chaleur ou la lumière solaires. Les discussions

ont montré que l'amélioration du rendement dépend en partie des propriétés d'absorption, de transparence ou de réflexion des matériaux de revêtement utilisés, dont l'étude progresse rapidement grâce à l'amélioration des procédés techniques. C'est ainsi que dans les 10 dernières années le rendement des cellules photovoltaïques qui transforment directement la lumière solaire en électricité a centuplé. De même, on a signalé des progrès importants dans le domaine des surfaces dites sélectives, qui maintenant absorbent mieux la chaleur et réduisent davantage les déperditions de chaleur, en sorte qu'on abaisse le prix de revient en diminuant la surface du collecteur. La mise au point de matériaux nouveaux, tels que les matières plastiques transparentes spécialement adaptées à cet usage et les surfaces réfléchissantes en plastique aluminé, a contribué également à réduire le prix de revient par unité de surface.

Une séance spéciale a été consacrée aux progrès réalisés dans le domaine des matériaux nouveaux et dans celui de l'adaptation de matériaux classiques dont dépend le développement de l'utilisation de l'énergie solaire. Ces progrès sont avant tout le corollaire des immenses efforts de recherche consacrés aux véhicules spatiaux et à d'autres applications, efforts qui toutefois profitent largement à l'utilisation de l'énergie solaire. Les participants à la Conférence ont été très optimistes quant à la réduction des prix de revient, mais ils ont insisté en même temps sur la nécessité de poursuivre les recherches touchant l'adaptation des matériaux locaux disponibles dans les régions peu développées ou le plus grand avenir est ouvert aux applications de l'énergie solaire.

La plupart des applications de l'énergie solaire sont actuellement au stade expérimental ou des « usines pilotes ». Certaines cependant sont commercialisées (comme il est indiqué plus loin) mais d'autres efforts sont nécessaires pour généraliser leur emploi dans des conditions réalistes de fonctionnement. Une coopération internationale s'avère indispensable pour passer des grands espoirs à la réalisation effective. Il convient de noter que les programmes de recherche et de développement dans ce domaine sont financés par des fonds publics et privés et que, dans la plupart de leurs aspects, ils sont encore établis à une échelle modeste, la plupart des laboratoires travaillant indépendamment et comptant sur les contacts personnels et la documentation courante pour les échanges de renseignements. De plus, les travaux de recherche en matière d'énergie solaire appliquée se poursuivent surtout dans les pays qui ont relativement peu de besoins dans ce domaine. Il faut donc coordonner et intensifier les efforts de mise au point et mettre la plupart des applications à l'essai sur place dans les régions où les combustibles classiques font défaut ou sont onéreux et où le besoin d'énergie solaire est le plus grand. Etant donné que les applications solaires se caractérisent par une dépense d'investissement initiale relativement élevée et des dépenses d'exploitation assez basses, elles semblent promises au plus grand avenir sous forme de moteurs d'assez petite dimension capables de tirer parti de l'omniprésence de l'énergie et de réduire au minimum les coûts de transmission et de distribution.

<sup>2</sup> La dernière réunion plus ou moins analogue avait eu lieu en 1955 à l'occasion du colloque mondial organisé par l'Association for Applied Solar Energy à Phoenix (Arizona).

Il faut évidemment évaluer les besoins et les possibilités en matière d'utilisation de l'énergie solaire en fonction de la situation particulière à cet égard de chaque région du monde. Le résumé des débats de la Conférence ne peut traiter qu'en termes assez généraux des applications particulières, de leur valeur, des progrès actuels et de leur évolution, et mettre l'accent sur les applications et leurs aspects qui, selon les participants, présentent une importance particulière et de belles perspectives d'avenir dans les pays sous-développés. Il est peut-être approprié par conséquent de parler plus longuement des utilisations de l'énergie solaire qui paraissent les plus intéressantes pour les pays sous développés comme, par exemple, la production d'électricité ou le chauffage, la réfrigération et la distillation.

#### ENERGIE MÉCANIQUE ET ÉLECTRICITÉ D'ORIGINE SOLAIRE

La possibilité de produire de l'énergie mécanique et de l'électricité d'origine solaire a été l'un des points les plus importants signalés à la Conférence, notamment en reconnaissant le rôle essentiel que peuvent jouer les petits moteurs en matière de télécommunications, d'éclairage, de pompage, etc., dans les régions peu développées où l'énergie classique fait défaut. On a examiné deux façons d'aborder le problème de la production d'énergie et d'électricité solaires, l'une qui fait appel à des moteurs thermiques de type plus ou moins classique actionnés par l'énergie recueillie par des collecteurs solaires, et l'autre qui repose sur le principe de la transformation directe de l'énergie solaire en électricité au moyen de divers appareils.

Bien qu'on cherche depuis longtemps à produire de l'énergie mécanique et électrique au moyen de moteurs thermiques solaires, et qu'on ait construit de nombreux modèles, on n'a guère employé l'énergie solaire dans ce but. Quelques idées nouvelles présentées à Rome, notamment par des savants israéliens, laissent espérer une solution au moins partielle du problème. Ces savants ont en effet mis au point une petite génératrice électrique solaire d'une puissance de 2 à 10 kilowatts dans laquelle ils ont incorporé une turbine de type nouveau, actionnée par des vapeurs organiques, et de rendement exceptionnellement élevé, un collecteur plastique à miroir en forme de ballon de conception également nouvelle, et un système d'emmagasinage de la chaleur capable de fonctionner la nuit à charge réduite. D'un coût estimatif d'environ 1 000 dollars par kilowatt de puissance installée, cette génératrice, qui peut, d'après les estimations, fournir de l'énergie au prix de 0,05 dollar ou moins le kilowattheure dans les pays ensoleillés, promet d'être réellement compétitive dans nombre de pays. Le prototype en état de marche qui a été exposé à la Conférence a suscité un vif intérêt.

Les discussions relatives à d'autres techniques intéressantes ont révélé des détails d'un type nouveau de système de chauffage dans lequel un « bassin solaire » joue le rôle de collecteur d'énergie solaire. Ce système, qui n'en est encore qu'au premier stade de la mise au point, pourrait en cas de succès produire de l'électricité solaire par mégawatt à un prix de revient comparable à celui des grandes centrales classiques. Un autre

système de chauffage, que l'on a considéré entrant dans la catégorie des turbines et des moteurs alternatifs, envisage une utilisation nouvelle de l'énergie solaire dans les moteurs dits Stirling (ou à gaz régénérateur à cycle fermé). Il sera sans doute possible de réaliser des adaptations des moteurs solaires actuellement mis au point à grands frais pour être utilisés dans l'espace extra-atmosphérique, mais on ne dispose pas encore de connaissances suffisantes à ce sujet pour établir des projections.

La conversion directe de l'énergie solaire en électricité au moyen d'appareils thermo-électriques ou photovoltaïques est un autre aspect du problème auquel on consacre peut-être les plus grands efforts de développement grâce à l'impulsion donnée par la recherche spatiale. Si la conversion directe, qui évite le cycle de vapeur traditionnel et les pièces mobiles, a l'avantage d'être simple, silencieuse et de fonctionnement sûr, sa grande limitation est le prix de revient. Les appareils sont si onéreux qu'à l'exception de ceux qui sont destinés à produire de très petites charges, comme ceux utilisés dans le domaine de la radio et d'autres moyens de communication, l'application en sera très limitée, à moins que le progrès scientifique et technique ne contribue à réduire les coûts. Il est permis d'être optimiste car dans les trois dernières années seulement ceux-ci ont été abaissés des deux tiers environ.

C'est peut-être dans la mise au point des générateurs thermo-électriques qu'on a réalisé les progrès les plus riches de promesses. Ces appareils reposent sur le principe de la création, par écart de température, d'un courant électrique entre deux soudures de matériaux semi-conducteurs dans un générateur ou entre une cathode chauffée et une anode refroidie dans un convertisseur thermo-ionique. Puisqu'on peut capter la chaleur dans un collecteur solaire parabolique ou l'obtenir d'une autre source de chaleur à haute température, les personnes qui s'intéressent également à une utilisation plus efficace des carburants consacrent aussi à ces appareils une grande somme de travail. Il se peut donc que de petits générateurs solaires paraissent prochainement sur le marché pour répondre à des besoins tels que le pompage de l'eau dans les régions isolées, et il faudra certainement les mettre à l'essai dans des centres expérimentaux. De plus, dans ces petites applications, le collecteur solaire parabolique peut servir également à d'autres heures de la journée, par exemple pour la cuisson solaire et la régénération du réfrigérant des petits réfrigérateurs solaires.

Des progrès remarquables ont été accomplis en ce qui concerne les appareils photovoltaïques qui transforment directement en électricité la lumière solaire ou les photons à haute énergie. Aux Etats-Unis seulement, la vente de ces appareils, plus communément appelés cellules ou piles solaires, dépasse 10 millions de dollars par an. Les cellules au silicium, par exemple, ont trouvé une vaste application dans les moyens de communication, la radio, les phares isolés et de multiples emplois qui nécessitent une puissance de quelques watts seulement. On les emploie dans les satellites extra-atmosphériques ou tout simplement aussi dans les haut-parleurs

radio des villages isolés. L'avenir réserve une utilisation plus vaste encore aux cellules photovoltaïques pour le pompage, l'usage domestique et les petites industries où la puissance demandée se mesure en kilowatts plutôt qu'en watts ; mais il faudra réduire très sensiblement le prix de revient, qui est actuellement de 100 000 dollars ou plus par kilowatt. Plusieurs propositions et expériences considérées lors de la Conférence en vue d'améliorer le rendement ou d'utiliser des matériaux ou des procédés de fabrication entièrement nouveaux rendront possible l'usage généralisé de ces appareils, ou tout au moins contribueront largement à réduire leur prix de revient des quelque 99 p. 100 ou plus nécessaires pour que l'énergie ainsi produite soit compétitive.

Lors de l'examen des résultats déjà acquis, on a estimé généralement que l'énergie mécanique ou électrique d'origine solaire produite par divers moyens sort de la phase théorique et peut désormais, en dehors des applications spécialisées, être utilisée effectivement sur une échelle réduite dans les régions peu développées de manière à rendre meilleures les conditions de vie, rompre l'isolement et aider à améliorer l'état de santé et à élever le niveau d'instruction des populations. Avec un soutien financier suffisant et des essais locaux, il est raisonnable d'escompter un développement des applications même s'il faut attendre longtemps sans doute avant que la production en grand d'énergie devienne économiquement possible.

#### EMPLOI DE L'ÉNERGIE SOLAIRE POUR LA PRODUCTION DU FROID, LE CHAUFFAGE ET D'AUTRES BESOINS

L'ordre du jour de la Conférence montre qu'il y a de nombreuses possibilités d'appliquer l'énergie solaire à des fins autres que la production d'énergie mécanique et électrique. En dehors de la remarquable exception des chauffe-eau solaires, la plupart de ces applications sont encore en cours d'expérimentation et de mise au point, et les recherches dans ce domaine appellent des vérifications et des progrès nouveaux dans les laboratoires, les projets pilotes et les essais sur place à grande échelle dans les régions où ces applications ont les plus grandes chances d'être utilisées.

La réfrigération et d'autres méthodes pour la conservation des aliments par l'énergie solaire sont peut-être, comme les débats de la Conférence ont permis de le constater, l'application la plus importante autre que la production d'énergie mécanique et électrique dans les régions peu développées. L'emploi de l'énergie solaire pour la réfrigération et le refroidissements des locaux a un avantage apparent : c'est généralement aux endroits où on en a le plus besoin que cette source d'énergie est la plus répandue. Les denrées alimentaires sont perdues surtout dans les pays chauds, où la simple réfrigération pourrait assurer la conservation de grandes quantités de denrées tout en permettant une distribution plus équitable des ressources alimentaires et des prix plus stables. Une des solutions les plus intéressantes consisterait à commencer par fabriquer de la glace au moyen de moteurs solaires dans de petites installations dont les prototypes existent déjà et se sont révélés capables de produire à un prix comparable même à celui

de la glace fabriquée par d'autres moyens. Pour des raisons de rendement, d'entretien et de financement, on a proposé d'orienter principalement les efforts vers la construction de glaciers destinées à des collectivités ou à des villages comme cela se fait actuellement en Birmanie. (Un participant birman a fait observer que l'appareil serait rentable même s'il fabriquait de la glace à un coût deux fois plus élevé que le coût indiqué par le constructeur du prototype français.)

Les participants ont été moins optimistes en ce qui concerne les réfrigérateurs solaires à usage familial dont les prototypes existants fonctionnent suivant un cycle de rechargement intermittent d'environ deux heures par jour. Les problèmes techniques qui ne manqueront pas de se poser aux utilisateurs non avertis et le problème financier qui se posera aux familles peu aisées sont considérables. De même, la climatisation solaire ne serait possible que pour les bâtiments publics. Mais, quoi qu'il en soit, le problème du refroidissement des locaux au moyen de l'énergie solaire est moins avancé et doit faire l'objet de recherches et d'expérimentation poussées et nécessite en même temps une étude approfondie des questions d'architecture des maisons avant qu'on puisse espérer soulager de la chaleur et de l'humidité, même partiellement, ceux qui y vivent.

Le séchage solaire, qui a fait l'objet d'une autre séance, a été lui aussi assez négligé bien qu'il joue traditionnellement un grand rôle dans le séchage des céréales, des fruits, des légumes, du poisson et d'autres produits. On pourrait économiser de grandes quantités de denrées et beaucoup d'argent en adaptant aux conditions modernes les techniques et le matériel traditionnels.

On a estimé que le problème était quelque peu différent en ce qui concerne la distillation solaire d'eau de mer ou d'eau saumâtre. Les distillateurs à usage familial destinés à fabriquer de l'eau de boisson sont bien connus et d'un prix abordable ; on peut les construire facilement sur place au prix de 10 à 30 dollars peut-être le mètre carré pour une capacité annuelle de production d'environ 1 500 à 2 000 litres. S'il paraît difficile d'améliorer leur rendement, on peut sans doute abaisser leur prix grâce à l'emploi de matériaux nouveaux, au perfectionnement des modèles et à la fabrication en série. Etant donné l'aggravation de la pénurie d'eau et le rôle croissant qu'on attribue à l'eau de boisson dans l'état de santé des populations, l'importance de ces petits distillateurs ne cesse de grandir et ils méritent de retenir davantage l'attention. Les grandes distilleries solaires (capables de produire journellement, par exemple, pour les zones urbaines, plus de 50 000 litres d'eau destinée à l'usage industriel et à l'irrigation) sont d'une utilité plus contestable puisqu'il existe d'autres méthodes de production, apparemment moins onéreuses. Le problème des coûts est bien plus grave et les modèles présentés n'ont pas suscité autant d'optimisme de la part des participants.

Sur ce point, cependant, la Conférence a permis d'apprécier la situation à un moment opportun du fait qu'elle a rassemblé un grand nombre d'ouvrages théoriques récents sur le fonctionnement des distillateurs solaires, précisé les besoins et présenté quelques

techniques nouvelles. En résumé, malgré un certain découragement quant aux résultats réels en matière de fonctionnement, il n'est nullement question de ne plus penser à la distillation solaire de grandes quantités d'eau. Il reste à mettre à l'essai plusieurs techniques comme le procédé dit de Claude ou celui des « bassins solaires » qui combinent la production d'eau et celle d'énergie mécanique et électrique, et d'autres idées entièrement nouvelles grâce auxquelles on pourra peut-être produire de l'eau douce en grande quantité à un prix abordable.

Le chauffage de l'eau au moyen de l'énergie solaire, comme il a été noté plus haut, est la principale application courante établie actuellement sur une base commerciale. Au Japon, on vend annuellement jusqu'à 100 000 chauffe-eau ; le prix minimal est d'environ 6 dollars mais il est bien plus élevé pour les installations complexes plus durables. Sous leur forme la plus simple et la moins onéreuse, les chauffe-eau solaires doivent certainement trouver un emploi dans les régions peu développées pour le bain, le blanchissage et d'autres besoins ou d'autres applications plus importantes puisqu'on peut les amortir en quelques mois ou en quelques années au plus du fait des économies en combustible qu'ils permettent de réaliser. Il est possible aussi qu'ils deviennent d'un emploi plus courant dans les pays avancés du fait qu'ils permettent d'économiser du combustible, comme le démontre la recrudescence des ventes dans le sud des Etats-Unis, au Japon et en Israël, où leur concurrence a provoqué, indique-t-on, une réduction du prix de l'électricité destinée au chauffage de l'eau. L'avenir des chauffe-eau solaires est donc brillant mais on peut encore le rendre meilleur par la standardisation, la simplification et la diminution des prix.

La question du chauffage des locaux par l'énergie solaire, peu importante dans les régions chaudes, n'a pas à être approfondie ici, si ce n'est pour noter que ce mode de chauffage, encore au stade expérimental, n'est généralement pas encore rentable. Toutefois, étant donné les connaissances scientifiques actuelles, et moyennant de nouveaux progrès, ces perspectives peuvent devenir plus brillantes, en particulier si l'on réussit à combiner le chauffage et la climatisation et à perfectionner les procédés d'emmagasinage de la chaleur afin de remédier au décalage entre la période d'ensoleillement et celle où on a besoin d'énergie.

En matière de cuisinières solaires on semble être arrivé au point où l'utilisation pratique de ces appareils serait imminente. On a construit plus d'une vingtaine de modèles fonctionnant effectivement, dont huit ont été présentés à la Conférence. Plusieurs paraissent capables, du point de vue technique, d'accroître sensiblement les possibilités de cuisson des populations des pays ensoleillés. Mais l'emploi généralisé des cuisinières solaires dépend avant tout d'une réduction du prix du matériel, qui coûte actuellement environ 15 dollars. Il apparaît également nécessaire d'instituer un système de crédit à l'achat. Enfin il paraît souhaitable de mettre au point des modèles, des matériaux et des procédés de fabrication nouveaux tant pour améliorer le fonctionnement que pour abaisser les prix de fabrication.

Les fours solaires, que l'on peut assimiler à des cui-

sinières solaires de grande dimension (jusqu'à 1000 kilowatts), ont des qualités exceptionnelles pour le traitement des minéraux à haute température et la recherche. De l'avis des spécialistes, leur emploi va se généraliser, de sorte que les grands fours solaires à très haute température pourront concurrencer les fours classiques pour le traitement de produits de grande valeur. Il sera toutefois limité à quelques cas spéciaux dans les pays peu développés où il est vraisemblable que l'on s'intéressera de préférence aux installations à basse température destinées au séchage des briques et à la production de glace et d'énergie mécanique et électrique par exemple.

#### PROBLÈMES D'EMMAGASINAGE DE L'ÉNERGIE ET EMPLOI COMBINÉ DE DIVERSES SOURCES D'ÉNERGIE

Il a paru évident, à toutes les séances, que les participants étaient très conscients du grand inconvénient de l'énergie éolienne et de l'énergie solaire : le caractère intermittent de la source d'énergie. Le problème essentiel est donc la nécessité de surmonter cet obstacle par l'accumulation d'énergie et d'autres moyens. Dans plusieurs applications cependant, le pompage de l'eau par exemple, il importe assez peu d'établir un horaire précis d'emploi de l'énergie, et l'on peut utiliser celle-ci au fur et à mesure des disponibilités. A cet égard, les participants ont souligné qu'il est important d'utiliser effectivement l'énergie quand elle est disponible en ajustant la demande à la production et de calculer le prix de revient réel (représenté essentiellement par l'intérêt et l'amortissement de la mise de fonds initiale) plutôt en fonction de la quantité utilisée que de la quantité produite.

Il faut rechercher les moyens d'améliorer les conditions et de réduire sensiblement le coût de l'emmagasinage de la chaleur et de l'énergie mécanique et électrique d'origine solaire ou éolienne et découvrir des procédés nouveaux afin de remédier au problème de l'intermittence. Il conviendrait d'orienter les recherches, par exemple vers la mise au point de batteries plus simples, moins coûteuses et plus durables et vers la réalisation des cellules à combustible qu'on n'a pas encore estimées prêtes à être utilisées dans les pays sous-développés. Presque toutes ces activités de recherches pourraient se faire dans les pays industrialisés qui disposent de meilleurs moyens et du personnel nécessaire pour entreprendre les études de base. Il est vraisemblable que les progrès faits dans ce domaine rendront l'énergie solaire et l'énergie éolienne de plus en plus compétitives.

Actuellement, en fait, les seuls appareils, ou presque les seuls, dont on dispose pour emmagasiner directement l'énergie sont les batteries d'accumulateur classiques, utiles quand il s'agit de fournir de petites charges, mais d'un prix prohibitif quand on a besoin de grandes quantités d'électricité, et les appareils d'emmagasinage de la chaleur à basse température. Il existe des moyens simples d'accumuler celle-ci tout en chauffant l'eau et les locaux au moyen de l'énergie solaire pendant de brèves périodes, mais on ne s'est pas suffisamment intéressé aux questions de l'emmagasinage de la chaleur à des températures élevées pour d'autres applications et

de l'emmagasinage de la chaleur pour des périodes plus longues, comme par exemple de l'été à l'hiver.

On peut également résoudre le problème de l'intermittence par l'emploi combiné de diverses sources d'énergie. On peut, par exemple, alimenter de façon intense mais intermittente des réseaux électriques, quand l'énergie est disponible, ou l'utiliser pour pomper de l'eau dans un réservoir et inverser ensuite le sens de circulation pour produire de l'énergie hydro-électrique.

Plus intéressantes toutefois pour les régions peu développées sont les propositions, examinées lors de la Conférence, concernant l'établissement de programmes détaillés, au niveau du village, relatifs à l'emploi combiné de l'énergie solaire, de l'énergie éolienne et d'autres

sources d'énergie locales, comme les déchets de matériaux, en vue de répondre aux divers besoins d'énergie. L'énergie éolienne et l'énergie solaire ont un caractère intermittent mais on peut accumuler l'énergie produite par les déchets végétaux pour l'utiliser quand on ne dispose pas d'énergie mécanique ou électrique d'origine éolienne ou solaire. Parce qu'elle tient bien compte des caractéristiques de ces différentes sources et de la nature, de l'horaire et de l'importance des besoins d'énergie dans un village sous-développé typique, on a généralement admis que l'idée était bonne. Pour mettre l'opération en pratique dans des conditions réelles, on a proposé d'entreprendre des programmes d'essai en combinaison avec les projets pilotes destinés à certaines régions sous-développées.

## Chapitre 3

### CONCLUSIONS GÉNÉRALES

Comme on l'a constaté au cours des débats, quand on a évoqué les réalisations et l'expérience pratiques déjà obtenues, l'énergie solaire, l'énergie éolienne et l'énergie géothermique peuvent apporter une contribution appréciable à la production d'électricité et à l'expansion économique, surtout dans les pays insuffisamment développés.

La Conférence s'est attachée à évaluer ces possibilités et à déterminer jusqu'à quel point — et après avoir surmonté quels obstacles — on pourrait accroître l'utilisation de ces sources. Bien que la Conférence se soit bornée à des échanges de vues et d'expérience et n'ait pas cherché à formuler des recommandations ni à aboutir à des accords, elle a montré, implicitement du moins, que les services et organes intéressés, et notamment l'ONU et certaines institutions spécialisées, devraient prendre des mesures à divers échelons pour résoudre des problèmes tels que ceux qui sont analysés ci-dessous.

Les mesures proposées vont de l'encouragement à la recherche et de la prospection des ressources à la création de stations pilotes et à l'amélioration des échanges de renseignements. Comme on l'a souligné, notamment à la séance de clôture de la Conférence, l'assistance technique et d'autres moyens d'action sur le plan international peuvent à cet égard jouer un rôle important.

#### RECHERCHE

La recherche scientifique et la recherche technique sont indispensables, à des degrés divers, si l'on veut accroître l'utilisation des trois formes d'énergie. Le problème, dans le domaine de l'énergie géothermique, outre les recherches fondamentales sur les origines de la vapeur, est de diffuser les connaissances acquises et assurer une formation technique pour garantir que les moyens techniques disponibles seront convenablement sélectionnés et utilisés. La technique de l'énergie éolienne est également avancée, mais elle pourrait être mieux adaptée aux conditions locales, ce qui permettrait de faire plus largement appel aux matériaux et aux compétences disponibles sur place et de réduire ainsi les frais d'installation et de fonctionnement.

En revanche, dans le domaine de l'énergie solaire, les chercheurs ont encore un long chemin à parcourir et ils se heurtent à nombre d'obstacles et de problèmes non résolus. Sur le plan technique, la plupart des applications de l'énergie solaire n'en sont encore qu'au premier stade. Il faut à cet égard multiplier les recherches théoriques et pratiques, notamment pour résoudre le problème difficile que pose l'emmagasinage de l'énergie. Il faut également adapter les procédés et faire des essais pratiques dans des conditions qui correspondent à celles

des pays insuffisamment développés. Une initiative intéressante a été prise dans ce sens aux termes d'un accord conclu récemment entre une université canadienne et l'Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture; deux documents de travail établis par des consultants ont déjà été publiés.

Les débats de la Conférence ont montré qu'il serait possible de beaucoup mieux coordonner les travaux de recherche et d'utiliser plus efficacement, en même temps que d'accroître, les fonds et la main-d'œuvre hautement qualifiée déjà affectés aux recherches sur l'énergie solaire, notamment dans les pays industrialisés. Le domaine de l'énergie solaire est si vaste et les sujets de recherche scientifique si nombreux qu'il faut systématiquement tenter de dégager les éléments prometteurs de ces recherches en se fondant sur les besoins et les possibilités mis en évidence lors de la Conférence. Une telle analyse faite du point de vue de la recherche scientifique, par l'Organisation des Nations Unies pour l'éducation, la science et la culture (UNESCO) par exemple, pourrait permettre d'établir une liste utile de projets de recherche parmi lesquels les universités et autres organismes pourraient choisir les plus indiqués afin d'y consacrer l'essentiel de leurs travaux; elle servirait aussi de base à une coordination plus efficace des efforts déployés dans ce domaine. Une liste de priorités pour les recherches sur l'énergie solaire, qui pourrait être établie soit par l'UNESCO, soit par l'International Association for Applied Solar Energy (AFASE), soit peut-être même conjointement par ces deux organismes, serait un prolongement efficace des documents de la Conférence et marquerait un progrès par rapport au répertoire des activités mondiales et à la bibliographie, certes fort utiles, publiés par l'AFASE en 1959.

#### PROSPECTION DES RESSOURCES ET RASSEMBLEMENT DES DONNÉES

La Conférence a clairement montré qu'on avait besoin de renseignements beaucoup plus abondants sur les ressources en énergie solaire, éolienne et surtout géothermique, ainsi que de renseignements complémentaires sur les autres sources possibles d'énergie et de données et analyses économiques connexes.

En ce qui concerne l'existence même des ressources, le rassemblement de données générales fait, ou devrait faire, partie des activités normales des services géologiques dans le cas des ressources géothermiques et des services météorologiques pour ce qui est du régime des vents et des rayonnements solaires. Grâce à l'outillage dont on dispose actuellement pour la prospection géothermique, les services géologiques intéressés devraient pouvoir, sans grande difficulté, entreprendre une étude

tout au moins préliminaire des phénomènes de surface et autres indices géologiques connexes de la présence de champs géothermiques et déterminer alors s'il faut entreprendre une exploration plus poussée. Comme on l'a rappelé à la séance de clôture de la Conférence, ces services pourraient dans ce but faire appel à des équipes de l'assistance technique des Nations Unies, constituées par des spécialistes venus des pays qui ont le plus d'expérience dans ce domaine.

Pour ce qui est des vents et des radiations solaires, on remédie peu à peu à l'insuffisance des données générales disponibles en développant le réseau de stations météorologiques, mais cette expansion ne se produit peut-être pas au rythme — ni dans les régions (zones arides et lieux microclimatiques) — le plus satisfaisant du point de vue de l'utilisation de l'énergie.

Il convient de noter que l'Organisation météorologique mondiale (OMM) ne se contente pas de faciliter la création de réseaux de stations et de coordonner les statistiques; elle s'emploie à favoriser les recherches et la formation météorologiques touchant les rayonnements solaires et les études du comportement des vents, ainsi qu'à aider les ingénieurs à utiliser des données et connaissances météorologiques. Pour ce qui est d'autres questions d'ordre météorologique, qui sont plus spécifiquement liées aux enquêtes sur les ressources en énergie, il est encourageant de noter que la Commission d'aérodynamique de l'OMM a déjà répondu aux besoins mis en évidence lors de la Conférence de Rome en adoptant une résolution portant création d'un Groupe de travail sur les sites des installations éoliennes. Ce Groupe doit préparer un rapport technique sur le débit d'air au-dessus des collines et proposer des études contenant des indications générales sur le choix des sites. Ce Groupe de travail n'est pas le seul exemple que l'on puisse citer: maintenant que la Conférence a plus clairement défini les besoins pratiques en ce qui concerne la mesure des rayonnements solaires, les travaux en ce sens ont été intensifiés par des groupes de travail, dans le cadre de la Commission des instruments et des méthodes d'observation (CIMO) de l'OMM, en collaborant, le cas échéant, avec la Commission des rayonnements de l'Association internationale de météorologie et de physique de l'atmosphère.

L'acquisition de connaissances générales sur les ressources existantes ne constitue, toutefois, qu'une première étape; pour sélectionner les domaines qui feront l'objet d'enquêtes intensives, il faut se fonder essentiellement sur de larges considérations économiques. On a besoin à cet égard d'enquêtes globales sur l'énergie dans lesquelles on examinerait non seulement les possibilités de production d'énergie dans chaque zone pertinente du point de vue de l'énergie disponible, mais aussi la demande effective et prévisible dans chaque secteur, déterminée sur la base de diverses estimations de coût et de prix, etc. C'est là un aspect indispensable de la recherche, et les Nations Unies ont fourni les services de spécialistes en la matière, afin d'aider divers pays à déterminer quelles sont les possibilités de développer les ressources en énergie. Ainsi fondé, le choix de zones qui se prêtent à une étude intensive des ressources

géothermiques, solaires et éoliennes pourrait être beaucoup plus réaliste.

#### STANDARDISATION

De nombreux participants ont reconnu qu'il fallait standardiser les mesures, les instruments et le matériel pour favoriser, grâce à une diminution des coûts, la généralisation de l'emploi de nouvelles techniques utilisatrices d'énergie, pour développer les échanges de renseignements et aider à assurer la formation requise et à soumettre le matériel à des tests. Cette standardisation est particulièrement nécessaire dans le domaine des radiations solaires et dans celui de l'anémométrie, pour ce qui est notamment des types d'instruments utilisés, des types de données requises et de la présentation de ces données. L'OMM et ses divers organes s'intéressent d'une façon générale à cette question, qu'ils abordent plus particulièrement sous l'angle de la météorologie; un effort concerté semble toutefois s'imposer et il faut notamment tenir plus pleinement compte des besoins en renseignements de ceux qui s'occupent de l'utilisation pratique de l'énergie, ainsi qu'on l'a rappelé lors de la Conférence et en d'autres occasions.

Pour ce qui est d'une éventuelle standardisation du matériel, on a relevé que l'on fabrique en grand nombre certains appareils — petits moulins à vent, chauffe-eau solaires, etc. — de types très divers. Dans certains de ces cas, la standardisation serait économiquement avantageuse car elle permettrait de fabriquer en série des appareils dont les pièces seraient interchangeables et dont on pourrait comparer le rendement. Cette standardisation sera peut-être difficile à organiser et à réaliser, mais elle n'en a pas moins été jugée hautement souhaitable<sup>1</sup>.

#### STATIONS PILOTES ET CENTRES EXPÉRIMENTAUX

Une des suggestions les plus importantes qu'ait faites la Conférence visait la création de stations pilotes et de centres expérimentaux dans les régions insuffisamment développées et pauvres en énergie mais qui ne manquent ni de vent ni de soleil. Ces stations et ces centres joueraient plusieurs rôles; ils pourraient se charger de distribuer des appareils de mesure du rayonnement solaire et des appareils d'anémométrie, de surveiller l'emploi qui est fait de ces appareils, de diffuser des renseignements sur la sélection des sites et du matériel, d'adapter le matériel aux besoins locaux et, d'une manière générale, d'aider à préciser et à résoudre des problèmes techniques dans les conditions où lesquelles ils se posent dans la pratique. Les projets pilotes permettraient également de développer les échanges de chercheurs: grâce à ces échanges, les chercheurs des pays en voie de développement pourraient s'informer des derniers progrès tech-

<sup>1</sup> On a proposé que des comités de groupes spécialisés tels que l'Association for Applied Solar Energy et les organisations nationales pour l'énergie éolienne pourraient étudier ces problèmes et proposer à l'examen des gouvernements des méthodes et critères. Ils pourraient également fixer des normes pour évaluer le fonctionnement technique et l'efficacité des appareils solaires et éoliens.

niques tandis que ceux des pays industrialisés se familiariseraient avec les conditions locales et fourniraient des services consultatifs.

Les stations pilotes seraient plus que des centres techniques. Elles seraient en mesure de démontrer comment on peut réaliser des économies; elle pourraient servir d'intermédiaire pour l'octroi de l'assistance technique et financière; elles pourraient aussi ouvrir la voie à des applications pratiques des sources nouvelles d'énergie, dans les conditions qui existent dans des pays insuffisamment développés, en faisant mieux comprendre les problèmes sociaux et économiques liés à la mise en service et à l'entretien, dans les foyers et les villages, de ces procédés qui peuvent prendre la forme de cuisinières solaires ou de machines à glace comme d'opérations de pompage ou autres opérations fondées sur l'énergie. La mise en service effective de ces procédés ne pourrait se faire sans l'assistance des services de développement communautaire, ni sans une expérience qui permette de surmonter des problèmes de psychologie et de comportement social ainsi que d'autres obstacles: se que l'on envisage, en effet, ce n'est pas simplement l'expérimentation fortuite de la cuisinière solaire, mais des programmes complets d'expérimentation, tels qu'en ont élaborés et présentés en assez grand détail deux auteurs des mémoires soumis à la Conférence<sup>2</sup>.

On estime que les projets et centres pilotes proposés sont à ce stade indispensables si l'on veut réaliser, sur le plan de l'application, un progrès sensible et effectif dans les domaines en cause. Ils relèvent d'une conception pratique du problème à laquelle on pourrait donner suite en organisant dans toutes les régions du monde des stations expérimentales dont le site serait soigneusement choisi. L'initiative en la matière devrait être prise par les gouvernements intéressés, qui pourraient demander à l'ONU et aux institutions spécialisées, dans le cadre du Programme élargi d'assistance technique et du Fonds spécial, de les aider à créer ces stations, de leur fournir les experts et le matériel requis, etc.

#### CONFÉRENCES ET ÉCHANGE DE RENSEIGNEMENTS

La Conférence a démontré sa valeur en tant qu'instrument d'échange de renseignements et l'on s'attend, en conséquence, que les Nations Unies donnent suite à ces travaux, notamment en diffusant largement les

<sup>2</sup> Voir notamment l'étude de Kapur (E/CONF.35/GEN/8) sur « Les considérations sociales et économiques ayant trait à la mise en œuvre de l'énergie solaire dans les régions sous-développées » et le mémoire de Golding (E/CONF.35/GEN/5) intitulé « Power from Local Energy Resources ».

études techniques présentées à la Conférence et en publiant, à des intervalles de quelques années, des rapports périodiques sur l'état des travaux dans les mêmes domaines. Si ces rapports le justifient, le Conseil pourrait envisager d'encourager la convocation de réunions spéciales régionales ou mondiales.

Tous projets en ce sens devraient bien entendu tenir compte des conférences organisées par d'autres institutions et, par exemple, par l'UNESCO dans le domaine de la recherche scientifique. Il convient de noter à ce propos que la Conférence mondiale de l'énergie a inscrit à l'ordre du jour de sa sixième réunion plénière, qui doit se tenir en Australie en octobre 1962, des questions concernant l'énergie géothermique, l'énergie éolienne et l'énergie solaire.

Pour grande que soit leur utilité, les conférences ne sont pas assez nombreuses pour assurer aux échanges de renseignements la continuité que l'on souhaite si vivement qu'ils aient. Cette continuité n'existe que dans le domaine de l'énergie solaire, et sur le plan de la recherche notamment, grâce à l'action de l'International Association for Applied Solar Energy, qui compte de nombreux membres, qui est dotée d'une bibliothèque centrale et de services de renseignements et qui fait paraître des publications<sup>3</sup>. Aucun effort sérieux ne semble avoir été tenté en ce sens pour ce qui est des deux autres sources; c'est pourquoi certains participants à la Conférence ont proposé la création, sous une forme ou sous une autre, d'un groupe international permanent de l'énergie éolienne qui publierait des bulletins d'information réguliers et se chargerait de rassembler et transmettre des renseignements, tandis que d'autres participants ont souligné la nécessité de créer une revue des questions géothermiques.

On a exprimé l'espoir qu'en continuant de s'occuper de toutes les sources d'énergie, l'Organisation des Nations Unies et, le cas échéant, les institutions spécialisées joueraient un rôle plus actif dans l'étude et l'application des sources nouvelles d'énergie. On a précisé qu'il fallait entretenir les rapports déjà solidement établis grâce à la Conférence et faciliter — avec le personnel et les moyens financiers disponibles — la coordination des efforts et les échanges systématiques de renseignements entre les institutions et les organisations intéressées.

<sup>3</sup> Voir notamment sa revue trimestrielle consacrée à la science et à la mécanique de l'énergie solaire *Solar Energy* et son bulletin trimestriel d'information *The Sun at Work*. Il convient de noter que cette association a collaboré sans réserve et très efficacement à la Conférence; on peut s'attendre qu'elle pousse plus avant l'examen de certains problèmes abordés lors de la Conférence, tout du moins en ce qui concerne l'énergie solaire.

## **DEUXIÈME PARTIE**



## INTRODUCTION

### Situations énergétiques et leurs perspectives dans le monde. — Energie et pays sous-développés. — Caractéristiques principales des sources nouvelles d'énergie

Les perspectives que présente l'utilisation de sources nouvelles d'énergie autres que l'atome ont été passées en revue dans un rapport d'ensemble des Nations Unies, publié en 1957<sup>1</sup>. De grands progrès ont été accomplis depuis lors dans les domaines de l'énergie solaire, de l'énergie éolienne et de l'énergie géothermique, comme en témoigne la documentation dont a été saisie la Conférence, d'après laquelle le texte du présent rapport a été établi en grande partie<sup>2</sup>.

Avant d'aborder les différents aspects propres à chacune des sources nouvelles d'énergie en ce qui concerne la technique et l'économie de leurs applications — étant entendu que ces sources ne sont pas « nouvelles » par leur origine mais qu'elles le sont essentiellement du fait des méthodes employées pour les exploiter, dont l'invention est récente — il paraît souhaitable d'avoir une vue générale des problèmes posés par les sources nouvelles dans leur ensemble. Tel est le but de la présente introduction, qui constitue une version abrégée du rapport destiné à la session générale (GR.1).

#### SITUATIONS ÉNERGÉTIQUES ET LEURS PERSPECTIVES DANS LE MONDE

Plusieurs mémoires (GEN/8, 10, 15) analysent en détail la consommation récente et future d'énergie dans le monde. Cette consommation s'est accrue à un taux accéléré et elle atteint actuellement un niveau d'un peu plus de 4 milliards de tonnes d'équivalent-charbon par an pour les seules sources commerciales d'énergie dite classique. A cela, comme le notent Netschert et Löf (GEN/10), il convient d'ajouter quelque 15 p. 100 pour les sources « non commerciales » (déchets agricoles, bois), qui représentent encore un pourcentage compris entre un tiers et la moitié de la consommation totale d'énergie en Amérique latine, en Afrique et en Asie. Les projections à long terme pour l'avenir sont nécessairement incertaines, les évaluations de la consommation mondiale totale s'inscrivant entre environ 15 et 20 milliards de tonnes d'équivalent-charbon pour l'an 2000. Quelle que soit la valeur de ces évaluations, il n'est toutefois pas douteux que la consommation d'énergie s'accroîtra beaucoup plus rapidement que la population

<sup>1</sup> Nations Unies : *Sources nouvelles d'énergie et développement économique* (n° de vente : 57.II.B.1).

<sup>2</sup> Cette documentation, énumérée aux annexes 4 et 5, représente 20 rapports généraux de rapporteurs et 250 mémoires. Les références à ces documents comportent des symboles et des numéros : pour les rapports, GR/1 à 20 ; pour les mémoires, session générale et session, II.D.GEN/1 à 15 ; énergie géothermique, G/1 à 77 ; énergie éolienne, W/1 à 40 ; énergie solaire, S/1 à 119.

du monde, que l'on s'attend à voir à peu près doubler pendant la même période.

L'accélération d'emploi de l'énergie est intimement liée aux espoirs de développement économique et d'accroissement des revenus. Un rapport étroit existe, en effet, entre le revenu national par habitant et la consommation d'énergie, comme le démontre Hartley (GEN/4) au moyen de données concernant 49 pays. Ce rapport toutefois n'est pas uniforme : Mueller (GEN/7) constate des variations dues à des facteurs tels que des différences de ressources naturelles en matière d'énergie, de climat (qui influe sur les besoins de chauffage), de structure de l'industrie et de systèmes de transports, ainsi que des difficultés qu'entraîne la computation statistique dans ce domaine. Des réserves analogues s'appliquent à l'électricité, dont la consommation peut, elle aussi, et peut-être mieux encore, servir d'indication pour le niveau de vie atteint.

Les modifications des revenus et de la consommation d'énergie influent les uns sur les autres. On ne saurait dire nettement que l'un de ces éléments est la cause de l'autre. Mais on peut formellement conclure qu'un développement économique de quelque importance ne peut avoir lieu si l'on ne dispose pas de ressources d'énergie et surtout d'énergie électrique que l'on puisse mettre en valeur. C'est là un fait largement reconnu, et dont se sont inspirés divers plans de développement économique.

La relation revenu-énergie apparaît clairement lorsque l'on étudie la répartition géographique de la consommation d'énergie. Kapur (GEN/8) constate par exemple qu'en 1960 les pays dont l'industrialisation est avancée représentaient 30 p. 100 de la population totale, mais absorbaient 84 p. 100 de la consommation totale d'énergie ; les pourcentages correspondants étaient 50 et 15 pour les pays près d'atteindre une autonomie économique ou s'en rapprochant, tandis que les pays moins avancés d'Afrique, d'Asie et d'Amérique latine représentaient seulement 1 p. 100 de la consommation mondiale d'énergie, bien que leur population constituât 20 p. 100 du total. Ses projections pour les années 1957 et 2000 montrent qu'il y aura une légère variation relative de la population et de l'utilisation d'énergie, dans le deuxième groupe surtout, mais aussi dans le troisième du point de vue de la consommation à long terme. Cette variation est confirmée par les taux moyens de croissance dans chacune des régions considérées (GEN/10).

On satisfait aux besoins énergétiques en recourant à plusieurs sources (analysées dans GEN/10), principalement au charbon et au pétrole. L'emploi varié de ces

sources est largement fonction des ressources naturelles d'énergie, qui sont très inégalement réparties entre les divers pays, fait qui en soi est d'une importance primordiale si l'on veut évaluer le rôle futur des sources nouvelles d'énergie. Le recours à diverses sources reflète également des différences dans l'utilisation finale de l'énergie, laquelle parfois (pour les transports automobiles, par exemple) est liée à des sources particulières d'énergie qui ne peuvent être facilement remplacées.

L'importance relative, dans la consommation de telles ou telles sources d'énergie, a changé rapidement ; des déchets agricoles et du bois on est passé au charbon, au pétrole et au gaz naturel. La situation, à l'heure actuelle, est encore en pleine évolution. On peut envisager qu'on doive faire appel à des sources nouvelles, mais il faut aussi tenir compte du fait que des améliorations ne cessent d'être apportées dans la production et l'utilisation des sources classiques, ainsi que le montre la suggestive analyse de Thacker (GEN/15). Ces améliorations sont, entre autres : la réduction de l'évaporation de l'eau des réservoirs, l'introduction de turbo-pompes réversibles, de turbines à contre-pression et des procédés de conversion directe ; la transmission sous des tensions plus élevées, une meilleure répartition des facteurs de charge, une meilleure utilisation du charbon, l'emploi de moteurs diesel pour les transports, ainsi qu'une politique d'implantation plus rationnelle des entreprises industrielles.

La configuration fonctionnelle de l'utilisation de l'énergie présente aussi de l'importance lorsqu'il s'agit d'évaluer les sources nouvelles et de faire des plans pour la production d'énergie. On peut la diviser en deux catégories fondamentales : la chaleur et la force motrice. A l'échelle mondiale, on peut estimer (GEN/10) que l'utilisation de l'énergie sous forme de chaleur représente environ 62 p. 100 (dont 33 pour l'industrie et 29 pour les usages domestiques) et sous forme de force motrice 38 p. 100 (industrie : 16 p. 100 ; usages domestiques : 2 p. 100 ; transports : 19 p. 100, et agriculture : 1 p. 100). La configuration fonctionnelle varie très sensiblement d'un pays à l'autre et d'une région à l'autre dans certains pays, mais, « compte tenu de l'augmentation bien connue de la productivité et des revenus qu'assure l'électrification, on peut admettre, sans risque de se tromper, que, tout au moins dans les pays sous-développés du monde, la place de l'électricité dans le bilan énergétique total sera plus considérable à l'avenir » (GEN/10).

On est amené à constater que les sources nouvelles, du fait même qu'elles sont « nouvelles », n'apportent qu'une contribution proportionnellement insignifiante à la consommation actuelle de l'énergie dans le monde. Les promesses qu'elles comportent reposent en fait, pour beaucoup, sur des « percées » technologiques, récentes ou à venir. Quoi qu'il en soit, il se peut que le rôle futur des sources nouvelles d'énergie ne soit jamais quantitativement considérable : mais cela ne doit pas faire sous-estimer l'importance que les sources nouvelles peuvent avoir à l'échelon des besoins énergétiques locaux dans le monde, tout particulièrement dans les régions sous-développées.

## ENERGIE ET PAYS SOUS-DÉVELOPPÉS

Il n'y a pas de critère valable qui soit généralement applicable quand il s'agit d'élaborer un plan pour l'approvisionnement en énergie des pays sous-développés. Leurs besoins à cet égard aussi bien que la manière de les satisfaire au mieux sont à déterminer dans chaque cas particulier (GEN/7).

Certains traits cependant sont communs à tous les pays sous-développés et nous pouvons les passer brièvement en revue en commençant par ceux qui concernent l'électrification et en abordant ensuite les situations qui se présentent à l'échelon local pour les autres applications de l'énergie. Ces situations disparaissent dans les vues d'ensemble qui nous sont communiquées ; ce sont elles cependant qui constituent l'élément de base, celui dont les modifications et les améliorations sont nécessaires si l'on veut changer les niveaux de vie et donner une forte impulsion au développement. Ce sont les situations dans lesquelles des applications à petite échelle et des méthodes non traditionnelles peuvent faire beaucoup.

Quand on envisage la situation de l'électricité dans les pays sous-développés, il convient tout d'abord de rappeler qu'aucun de ces pays ne possède, et vraisemblablement ne possédera pas avant longtemps, un réseau d'interconnexion qui couvre tout le territoire. Les réseaux, quand ils existent, sont généralement limités à des zones relativement restreintes : enclaves industrielles et banlieues autour des villes et des ports les plus importants. Bien que la capacité de production d'énergie mise à leur disposition soit souvent insuffisante et qu'elles subissent parfois de graves interruptions de courant, ces zones, comparables souvent aux régions développées de l'Occident, disposent, grâce à leurs centrales interconnectées, d'une énergie continue ; le facteur de charge est relativement élevé et les prix de l'électricité y sont raisonnables. Dans les cas de ce genre le recours à des sources nouvelles d'énergie ne peut être évidemment envisagé que sur la base de la comparaison des coûts.

Plus représentatives sont les zones où existent des centrales isolées, d'une capacité variant de quelques centaines à quelques milliers de kilowatts, alimentées par des moteurs diesel, de petites turbines hydro-électriques ou aussi, plus récemment, par des turbines à gaz. Ces centrales, dont on ne peut normalement envisager l'interconnexion avant longtemps, ont fréquemment pour origine l'ouverture de mines ou de manufactures et, depuis quelque temps et dans certaines régions, sont aussi dues à l'initiative des gouvernements dans l'attente que soit justifié le transport de force à longue distance. Dans ces zones, en raison soit de la petite dimension des centrales, soit des coûts élevés du carburant, soit encore d'un bas facteur de charge ou de tous ces éléments combinés, le coût de l'électricité est élevé, la moyenne variant de 30 à 80 mills<sup>3</sup> par kilowattheure et atteignant souvent des niveaux bien supérieurs. Il serait sans doute possible en réduire les coûts en utilisant,

<sup>3</sup> Un dollar des Etats-Unis est égal à 1 000 mills. Les coûts de production dans les pays industriels varient généralement de 4 à 10 mills par kilowattheure.

suivant le cas, d'autres sources d'énergie de caractère continu telles que l'énergie géothermique (à condition qu'on puisse être assuré d'un facteur de charge raisonnable) ou des procédés qui permettraient l'économie des sources d'énergie déjà employées comme ceux qui pourraient être basés sur l'emploi intermittent de l'énergie solaire et de l'énergie éolienne, ou par une combinaison avec d'autres sources encore de provenance locale.

Toutefois, c'est une troisième catégorie de zones qui est proprement caractéristique des conditions prévalentes en pays sous-développés, la catégorie des zones écartées où la production d'électricité n'existe pas. La majorité de la population y demeure et y vit. Elles peuvent être écartées, géographiquement parlant, et c'est le cas lorsqu'elles se trouvent comme perdues à l'intérieur de vastes territoires, et où les obstacles qui s'opposent à l'apport d'électricité sur la base des procédés classiques demeureront pratiquement insurmontables pour un très long temps tout au moins. Elles peuvent se trouver écartées, et c'est souvent le cas, seulement au sens économique, en raison surtout du manque de moyens de transport. De meilleures perspectives d'électrification s'offrent alors dans ce dernier cas à condition toutefois que l'introduction éventuelle de moyens de transport modernes ou le développement du commerce et de l'industrie s'avère suffisant pour susciter une demande d'énergie qui justifie l'établissement de lignes de transmission ou la construction de centrales<sup>4</sup>. Ces zones, toutefois, sont si nombreuses que la plupart d'entre elles devront attendre longtemps, sans doute, avant que cela se produise, ne serait-ce que parce que l'électrification à grande échelle des villages et des campagnes dépasse de beaucoup les moyens financiers et techniques de la plupart des pays sous-développés.

Quelques chiffres relatifs à l'Inde, pays qui peut être considéré comme l'exemple typique d'une économie agricole et minérale, peuvent nous servir à illustrer les situations que nous venons de passer en revue. Même avec une industrialisation et une urbanisation accélérées, l'Inde, comme le fait remarquer Kapur (GEN/8), aurait en 1981 toujours 75 p. 100 de sa population, soit 480 millions d'hommes, qui résideraient encore dans de petites communautés agricoles. De grands progrès ont été faits cependant : toutes les villes de plus de 20 000 habitants, sauf deux d'entre elles, ont été « électrifiées », et il est prévu dans le troisième plan quinquennal que toutes les villes de plus de 5 000 habitants (au nombre de 4 542 d'après le recensement de 1951) seront alimentées dans une certaine mesure en électricité. Des progrès ont été faits également en vue de fournir l'électricité aux villages (moins de 5 000 habitants), qui constituent la masse de la population : le nombre de villages disposant d'électricité étant passé d'environ 2 800 en 1951 à 15 400 en 1961, on compte qu'il atteindra 29 500 en 1966. Mais même dans cinq ans à

partir d'aujourd'hui cela laisserait encore sans électricité à peu près 527 000 de ces villages et communautés agricoles (GEN/8).

Etant donné les conditions prévalentes dans les régions sous-développées et bien qu'il soit difficile de déterminer la valeur économique exacte qui en résulterait, on ne saurait mettre en doute l'amélioration des conditions de vie que représenterait pour le paysan la mise à sa disposition d'électricité ou de toute autre forme d'énergie. Actuellement, ce paysan, pour cuire ses aliments, utilise largement le fumier et d'autres combustibles du même genre et pour ses travaux doit compter surtout sur la force humaine ou animale.

La question n'est donc pas de savoir si les nouvelles sources d'énergie peuvent économiquement concurrencer les sources classiques, mais si elles peuvent être rendues disponibles d'une manière utile et efficace ou si on doit renoncer à toute énergie dans les zones que nous avons passées en revue auparavant. Kapur (GEN/8) a fait une évaluation détaillée de l'importance et de la nature des besoins énergétiques qu'il serait possible de satisfaire, en entraînant une augmentation notable de la productivité et du revenu par habitant dans une communauté rurale de 1 000 habitants en Inde, compte tenu de la possibilité d'utiliser l'énergie solaire, et il a fait à ce sujet des estimations concernant les coûts et l'emploi. Son exposé comprend une franche discussion des problèmes soulevés par le financement et par la formation qui seraient alors envisagés. Golding (GEN/5) a aussi élaboré un projet de fourniture d'énergie pour un village de 20 à 30 familles à partir de ressources locales en prenant en considération les caractéristiques et le coût de l'énergie solaire, de l'énergie éolienne et d'autres sources, ainsi que les facteurs de charge qui peuvent être envisagés et leur répartition dans le temps. Certes, ces projets ne sont encore que théoriques mais ils donnent tout au moins quelques indications sur des situations énergétiques conformes à la réalité et ils fournissent un cadre pour la mise en jeu des sources nouvelles sur le plan expérimental le plus large.

#### CARACTÉRISTIQUES PRINCIPALES DES NOUVELLES SOURCES D'ÉNERGIE

Pour mieux comprendre les caractéristiques principales des nouvelles sources, il est utile de rappeler d'abord brièvement la nature de l'énergie géothermique, de l'énergie éolienne et de l'énergie solaire et de faire une revue sommaire des méthodes utilisées pour leur mise en valeur. Ces questions seront étudiées plus longuement dans d'autres sections du présent rapport qui feront suite à l'étude des traits principaux qui caractérisent les trois nouvelles sources d'énergie, soit que ces traits leur soient communs et communs aussi à d'autres sources d'énergie, soit qu'ils puissent servir à les distinguer entre elles et à les distinguer des autres.

Pour que de l'énergie géothermique soit disponible, il faut, généralement parlant, « une combinaison plutôt fortuite de grosses masses de roches chaudes fracturées ou poreuses, situées à une profondeur ne dépassant pas quelques centaines de mètres, un apport naturel d'eau à cette source de chaleur et une couche de roche

<sup>4</sup> Une sous-catégorie de zones écartées comprendrait celles qui sont relativement peu peuplées, mais susceptibles de s'ouvrir à la suite de quelque événement présentant un intérêt majeur, tel que la découverte de minerai. En pareil cas, on envisage généralement les moyens de fournir de l'électricité dès le début de l'entreprise, et le problème se résume à choisir la solution la moins coûteuse.

impermeable entre la zone chaude et la surface. Si on fonce des puits dans ces matières chaudes, on peut en soutirer de la vapeur sous une pression atteignant plusieurs dizaines de kilogrammes par centimètre carré, d'une manière entièrement analogue à celle dont on se sert pour la production du gaz naturel. Que l'on dispose d'un nombre suffisant de puits et de moyens appropriés pour accumuler la vapeur et on pourra exploiter une centrale électrique constituée, le plus souvent, par une turbine à vapeur, un condenseur et une génératrice d'électricité » (GEN/10). La température de la vapeur naturelle est d'environ de 100 à 300 °C à la bouche des puits, si bien qu'il est possible aussi d'utiliser l'énergie géothermique directement sous forme de chaleur plutôt qu'en la convertissant tout d'abord en électricité. Ce genre d'exploitation se heurte toutefois aux limites pratiques qu'impose le transport de la vapeur.

L'énergie éolienne est l'énergie cinétique disponible dans une masse d'air en mouvement. On la capte au moyen d'un rotor ou d'une hélice qui la transforme en énergie mécanique directement utilisable ou, selon la tendance moderne, en vue d'actionner une génératrice d'électricité. Les éléments de base qui permettent de déterminer la quantité d'énergie que l'on peut obtenir sont la vitesse du vent, la surface de captage couverte par le rotor ou l'hélice et le rendement de l'installation. Les aéromoteurs sont conçus pour fournir leur puissance normale compte tenu d'une certaine vitesse du vent et, à cette vitesse, ils captent l'énergie de la masse d'air en mouvement dans une proportion de 35 à 40 p. 100, bien que le rendement maximal théorique soit approximativement de 60 p. 100.

L'énergie solaire nous parvient sous la forme de rayonnement et est captée au moyen de procédés de conversion que l'on peut diviser en deux grandes catégories suivant qu'on veut utiliser la chaleur ou la lumière. Les procédés thermiques présentent une grande variété suivant les températures que l'on désire obtenir. Les basses températures, utilisées pour le chauffage de locaux et de l'eau ou la distillation de l'eau de mer, par exemple, sont obtenues au moyen de simples collecteurs plans comprenant des plaques revêtues d'une substance noire qui absorbe le rayonnement, et pouvant chauffer l'eau ou tout autre agent utilisé pour le transfert de la chaleur. Pour obtenir des températures élevées, on doit recourir à des lentilles ou à des réflecteurs qui captent seulement le rayonnement direct du soleil et doivent être orientés fréquemment pour les maintenir face au soleil. La chaleur ainsi produite a plusieurs emplois pratiques, la propulsion de moteurs entre autres; elle peut aussi être directement transformée en électricité au moyen de générateurs thermo-électriques, sans passer par le stade de l'énergie mécanique. Le rayonnement solaire peut, en tant que lumière, être aussi directement transformé en électricité au moyen de cellules photoélectriques, et c'est la nature qui l'utilise le plus dans le procédé photochimique dit « photosynthèse » qui est à la base de toute croissance végétale. On a conçu des procédés photochimiques artificiels qui offrent un intérêt considérable, mais ils n'ont pu intéresser la Conférence car il n'y a pas eu de progrès suffisants dans la recherche de réactions pratiques et contrôlables qui offriraient la

double possibilité d'emmagasiner de l'énergie et de dégager de la chaleur utile ou, mieux encore, un courant électrique.

Les caractéristiques principales des nouvelles sources d'énergie font l'objet du mémoire d'Angelini (GEN/1) et sont examinées assez longuement par Netschert et Löff (GEN/10), en particulier; elles sont étudiées aussi, bien entendu, de façon détaillée, dans les communications techniques. Elles ne sont considérées ici que dans la mesure où en dépendent la valeur économique générale des sources d'énergie en question, la technologie employée pour l'exploitation de ces dernières et les buts qu'on peut atteindre en les utilisant.

Parmi ces caractéristiques, les plus importantes sont peut-être celles qui ont trait à la régularité et à la continuité. L'énergie géothermique présente un flux régulier et continu; par contre, l'énergie solaire et éolienne sont des sources intermittentes, ce qui soulève des problèmes d'accumulation, ou des problèmes de combinaison avec d'autres sources d'énergie quand il s'agit de satisfaire une demande ininterrompue ou s'il est impossible d'aligner dans le temps la demande sur l'offre. L'énergie solaire n'est disponible que pendant les heures diurnes qui varient suivant les saisons, et les collecteurs à foyer sont particulièrement sensibles aux caprices des conditions atmosphériques. La disponibilité de l'énergie éolienne n'est jamais complètement prévisible dans le temps bien qu'elle varie peu, en un lieu donné, d'une année à l'autre ou pendant des périodes comparables de moindre durée.

Le plus ou moins grand degré de permanence est un autre facteur qui doit être pris en considération. L'énergie solaire et l'énergie éolienne, tout au moins, sont inépuisables. Elles constituent des énergies « de revenu » tout comme l'énergie hydro-électrique. L'énergie géothermique présente des caractères comparables à ceux des sources classiques d'énergie non renouvelables, mais la question n'est pas claire puisque les experts signalent maintenant des reconstitutions de potentiel dont la source essentielle serait des infiltrations d'eau et que, dans certains cas, il arrive de constater une élévation plutôt qu'un abaissement de la température lorsqu'on ponctionne des dépôts de vapeur. Il convient d'ajouter en outre que les trois sources n'ont guère d'autre emploi que leur conversion en énergie utile et peuvent donc être utilisées éventuellement en vue de conserver, pour d'autres usages, les ressources classiques épuisables.

L'ordre de grandeur du rayonnement solaire sur la surface de la terre est énorme, et il en est de même de la force physique totale du vent. Comme le souligne Ailleret (GEN/12), le vent et le soleil représentent chacun des puissances par unité de surface de l'ordre de 1 kilowatt par mètre carré, soit à peu près 10 000 fois la « densité » de la consommation totale d'énergie, même dans les pays les plus industrialisés; par conséquent, d'un point de vue purement théorique, elles pourraient faire face à une expansion considérable des besoins, même avec un rendement de conversion peu élevé. La quantité d'énergie géothermique disponible est encore relativement mal connue; à en juger, toute-

fois, par les indications dont on dispose à la surface du globe, telles que les sources thermales nombreuses mais encore inexplorées, les réserves pourraient fort bien en être beaucoup plus considérables que l'on a généralement tendance à le croire. Mais il importe de se garder des illusions possibles quand on parle de quantités disponibles, et il faut souligner la différence qui existe entre disponibilité physique et disponibilité économique, cette dernière variant sans cesse en raison des progrès technologiques et dépendant étroitement des coûts d'implantation et d'exploitation ainsi que d'autres facteurs économiques propres aux pays intéressés.

Pour ce qui est de la répartition géographique des ressources en énergie nouvelles et de l'implantation des procédés d'exploitation, il importe de noter que l'énergie géothermique ne se rencontre que dans un nombre limité de régions, qui ne sont pas toujours caractérisées par une demande et une pénurie notables d'énergie. Comme l'énergie hydro-électrique, l'énergie géothermique ne peut être exploitée que dans des endroits strictement déterminés par les conditions géologiques et géographiques. Nous avons déjà signalé que, convertie en électricité, elle peut être transportée à des distances considérables, mais, en tant que vapeur ou eau chaude, on ne peut envisager, sans perte sérieuse d'énergie, que des canalisations couvrant des distances limitées (15 à 45 kilomètres environ comme en Islande). L'énergie solaire, bien qu'elle soit surtout utilisable à l'intérieur d'une bande comprise entre les latitudes de 40° N et 40° S bénéficie d'une grande flexibilité quant au choix des emplacements d'exploitation. L'énergie éolienne, elle aussi, est facilement accessible sans être restreinte à une zone climatique particulière, mais le choix des emplacements d'exploitation doit être fait avec un soin particulier si l'on veut obtenir des résultats optimaux.

On peut considérer que la technologie dont on dispose pour l'exploitation des nouvelles sources en est relativement à ses débuts. Toutefois, l'équipement requis pour l'exploitation de l'énergie géothermique est pratiquement au point; celui dont on dispose pour l'énergie éolienne connaît des variétés considérables, mais on est moins avancé en ce qui concerne les applications solaires.

Lorsqu'on examine quelles sont les dimensions que l'on peut envisager pour les installations propres à l'exploitation des sources nouvelles, on peut dire, en général, qu'elles présentent une grande flexibilité. L'énergie solaire et l'énergie éolienne peuvent être utilisées dans une gamme de puissance peu étendue, dont la limite inférieure correspondrait à une fraction de kilowatt, et elles sont par conséquent tout à fait indiquées pour les besoins limités des fermes isolées et des collectivités peu nombreuses. Les grandes installations éoliennes n'entraînent une économie dimensionnelle que jusqu'à un certain point (peut-être 1 000 ou 2 000 kilowatts), tandis que la capacité de l'énergie de provenance solaire s'accroît normalement en proportion directe de la dimension des collecteurs, et par conséquent l'augmentation de la dimension n'entraîne guère d'économie. Les dimensions des installations géothermiques dépendent normalement des conditions locales de production de la vapeur naturelle; l'expérience indique, toutefois, qu'une grande variété est possible, depuis les petits appareils élémentaires sans condenseurs — dont la puissance économique minimale est d'environ 1 000 kilowatts — jusqu'aux vastes centrales à groupes multiples de 25 000 à 30 000 kilowatts chacun, permettant des économies croissantes de coût et de consommation de vapeur par unité de production.

Enfin, et pour en terminer avec les aspects économiques les plus importants, on doit noter que l'utilisation de chacune des trois sources d'énergie exige un investissement initial relativement considérable, tandis que les frais d'exploitation sont minimes. Il s'ensuit que le coût de l'énergie utile des nouvelles sources, comme dans le cas de l'énergie hydro-électrique, est déterminé avant tout par les coûts fixes (intérêts et amortissement) résultant de l'investissement des capitaux. Cela étant, il est essentiel de concentrer les efforts en vue de réduire au minimum les frais initiaux et de porter au maximum la longévité de l'équipement. Pour la même raison, il convient d'utiliser, dans toute la mesure du possible, la main-d'œuvre et les matières premières locales, ce qui réduirait grandement les dépenses en devises étrangères.

## ÉNERGIE GÉOTHERMIQUE

**Utilisation actuelle et régions intéressées. — Prospection des champs géothermiques et méthodes d'évaluation de la puissance utilisable. — Exploitation de l'énergie géothermique. — Coût et longueur des canalisations. — Production d'électricité d'origine géothermique. — Utilisation de l'énergie géothermique pour le chauffage des locaux et le chauffage de transformation. — Récupération des produits chimiques et systèmes combinés**

### UTILISATION ACTUELLE ET RÉGIONS INTÉRESSÉES

L'utilisation pratique de l'énergie géothermique pour la production d'électricité, le chauffage des locaux et le chauffage de transformation, ainsi que la récupération des substances chimiques contenues dans la vapeur est déjà une réalité, et même une réalité tout à fait rentable.

La production géothermique d'électricité, précédée par un siècle environ de récupération d'acide borique et d'autres substances chimiques, remonte à des expériences faites en 1904 et surtout en 1912, date à laquelle la première turbine, d'une capacité de 250 kilowatts seulement, a été installée en Italie à Larderello (Toscane). Cette expérience a été suivie d'une expansion progressive et, ces dernières années, très rapide, de la production d'électricité. Au total, la capacité de Larderello dépasse 300 000 kilowatts, répartis entre une douzaine d'installations qui ont une puissance de 3 500 à 118 000 kilowatts; ces installations produisent plus de deux milliards de kilowattheures par an, c'est-à-dire suffisamment pour l'exploitation du réseau des chemins de fer italiens, lequel, en fait, tire de cette source à peu près les deux tiers de sa force motrice, le troisième tiers de la production de Larderello étant utilisé à des fins industrielles et autres. La régularité et le haut rendement de cette source sont démontrés par le fait que la plus importante installation, qui a une puissance nette de 100 000 kilowatts, fonctionne sans interruption depuis plus de 10 ans, avec un coefficient d'utilisation supérieur à 98 p. 100 (G/72).

D'autres pays ont suivi l'exemple de l'Italie au cours de ces dernières années, et d'autres installations en sont à des stades divers de progrès. C'est ainsi qu'une centrale d'énergie géothermique, d'une puissance de 69 000 kilowatts, a commencé à produire en mars 1960 à Wairakei, dans l'île Nord de la Nouvelle-Zélande, qui tire environ 10 p. 100 de sa force motrice de cette source; la puissance brute est en train d'être portée à 192 200 kilowatts, ce qui permettra à la centrale de fournir à peu près un cinquième des besoins d'énergie de l'île Nord en 1963, et des plans ont été établis pour réaliser, au cours d'une troisième étape, une nouvelle expansion de 90 000 kilowatts (G/4). Les Etats-Unis sont, eux aussi, devenus producteurs d'énergie géothermique en juin 1960, date à laquelle a été achevée une centrale de 12 500 kilowatts située aux Geysers (Californie); cette puissance doit

être doublée en 1963, grâce à l'expérience encourageante qui a été acquise (G/41), et l'on construit actuellement de nouvelles centrales dans l'ouest des Etats-Unis. Parmi les autres installations, on peut citer une centrale de 3 500 kilowatts, située à Pathé (Mexique), qui a été construite après les forages commencés en 1955 (G/77); une station de 275 kilowatts dans la région minière du Katanga, au Congo, et des usines pilotes (de 30 kilowatts chacune) installées en 1951 et 1960 à Beppu et à Hakone, au Japon, pays où l'énergie géothermique va probablement jouer un rôle de plus en plus important en raison de l'intensification de la demande, des difficultés de production du charbon, du manque de pétrole et du coût élevé des combustibles (G/57). Dans la région du Kamtchatka, en Union soviétique, on a également procédé à des forages importants au cours des trois dernières années, en vue de produire de l'énergie (G/48).

Un autre exemple de production d'énergie géothermique qui pourrait soutenir la concurrence et présente certains avantages spéciaux, est fourni par l'Islande, où les plans d'une centrale de 15 000 kilowatts (nets) sont déjà fort avancés; la centrale devrait être mise en exploitation en 1964. Il y a lieu de noter que l'Islande est un pays riche en ressources d'énergie hydro-électrique, mais, en raison de facteurs physiques, la plus petite centrale hydro-électrique qu'il serait possible de construire ajouterait d'un seul coup 40 p. 100 à la puissance installée, alors que les stations géothermiques peuvent être contruites sur une plus petite échelle et se développer au fur et à mesure que la demande s'accroît (G/9).

L'Islande est toutefois plus connue pour son utilisation de l'énergie géothermique en vue du chauffage des locaux et d'autres formes de chauffage. A l'heure actuelle, 45 000 personnes, soit un quart de la population, vivent dans des maisons chauffées par la chaleur naturelle amenée par canalisations des gisements géothermiques; en outre, ces sources fournissent l'eau chaude, le chauffage de vastes serres et de piscines, ainsi que de la chaleur industrielle. Leur utilisation permet déjà d'économiser annuellement des importations de mazout équivalant à 60 000 tonnes, soit 350 kilogrammes par habitant, et l'on compte que ces chiffres seront plus que doublés d'ici à 1970 (G/37).

On trouve également dans d'autres pays des applications de la chaleur, par exemple dans une fabrique de pâte à papier et de papier, ainsi que dans des hôpitaux,

des hôtels et des écoles en Nouvelle-Zélande (G/52), pour la production de sel au Japon (G/7), et peut-être plus tard en Islande (G/27); enfin, il existe des applications diverses aux Etats-Unis, en Union soviétique et dans d'autres pays.

On constate donc que, pour une bonne part, les utilisations pratiques actuelles se font dans les pays relativement industrialisés. Cependant, il ne faudrait pas voir là une preuve que l'utilisation sera, ou devrait être, limitée à ces pays. Au contraire, moyennant des connaissances, des travaux de recherche et des efforts adéquats, l'énergie géothermique peut en fin de compte trouver des utilisations intéressantes dans les pays sous-développés, dont beaucoup sont censés posséder des ressources géothermiques importantes, et dont certains ont entrepris des travaux de recherche plus ou moins poussés. D'autre part, dans les pays industrialisés, on peut procéder à la prospection d'autres régions, et des travaux de ce genre sont signalés en Italie (G/65), en Nouvelle-Zélande (G/17) et aux Etats-Unis (G/48).

En raison du caractère limité des prospections entreprises jusqu'ici, l'étendue et la possibilité des ressources géothermiques des pays sous-développés sont assez mal connues. D'intéressantes prospections ont toutefois été portées à la connaissance de la Conférence, notamment la recherche de nouvelles zones au Mexique (G/77) et dans le Salvador, où l'on espère découvrir assez de vapeur pour justifier la construction d'une centrale géothermique de 50 000 à 100 000 kilowatts (G/11). Autre exemple (G/12): des recherches préliminaires ont été effectuées dans la région de Rabaul (Nouvelle-Bretagne), où l'on se propose d'installer une puissance initiale d'énergie géothermique de 5 000 kilowatts pour les huit premières années, et de 20 000 kilowatts par la suite; ces prospections ont été entreprises parce que l'on se rendait compte que l'installation d'une centrale hydro-électrique serait très coûteuse, particulièrement aux premiers stades de la demande d'énergie. On signale que d'autres prospections ont été entreprises, projetées ou envisagées, par exemple au Nicaragua, à Sainte-Lucie (Antilles), dans la région andine de l'Argentine, dans la région du Tatio (Antofagasta), au Chili, au Kenya, en Ouganda, dans les îles Fidji et avant la guerre en Indonésie. On sait que plusieurs autres pays possèdent, tout au moins à la surface, des indications favorables dénotant qu'il existe des sources thermales, parfois en grand nombre; en fait, chaque pays ou presque semble posséder quelques sources thermales, dont bien peu ont été prospectées en vue de déterminer si elles peuvent fournir une énergie électrique exploitable.

D'une façon générale, les régions qui paraissent présenter le plus d'intérêt et posséder le plus de ressources géothermiques probables peuvent être délimitées à grands traits. Une zone s'étend du Kamtchatka à la Nouvelle-Zélande, en passant par le Japon, les Philippines, l'Indonésie et la Nouvelle-Bretagne. Une autre couvre les régions des Montagnes Rocheuses et des Andes, c'est-à-dire qu'elle va de l'Alaska au Chili le long de la côte ouest de l'Amérique du Nord (englobant, naturellement, les geysers du parc de Yellowstone) et à travers le Mexique et le Salvador. Une troisième ceinture impor-

tante est celle de la grande dorsale africaine, passant par l'Ethiopie, le Kenya, l'Ouganda, le Tanganyika et le Congo oriental. Il convient d'ajouter à cela un certain nombre d'îles: l'Islande et les Açores dans l'Atlantique, Hawaï et les îles Fidji dans le Pacifique et, naturellement, des régions dispersées, Italie, Algérie, etc.

De ce qui précède, on serait tenté de tirer la conclusion que l'on trouve l'énergie géothermique dans les régions volcaniques. Certes, il est exact que les régions volcaniques se prêtent bien à la prospection. Mais cela ne signifie pas, comme on le croit souvent, que l'énergie géothermique exploitable soit limitée à ces régions; la zone de Larderello, exemple classique d'une zone géothermique non volcanique, est la preuve du contraire. On peut en fait établir une distinction entre trois catégories de zones, à savoir celles du type Wairakei, qui se rattachent à des volcans en activité, celles où une masse magmatique affleure à la surface, et qui se rattachent à des volcans éteints (telles que la région de Monte Amiata en Italie), et les zones non volcaniques, du type Larderello (G/67), qui ont pour origine l'intrusion plutonique d'un magma relativement chaud à une profondeur suffisamment réduite.

Une autre question fondamentale, qu'il vaut la peine d'aborder ici, et qui a fait l'objet de discussions approfondies à la Conférence, concerne le régime de l'eau qui transporte la chaleur, et la question connexe de savoir si la source de chaleur est inépuisable, ou tout au moins si sa longévité peut être grande. On s'accorde à penser, semble-t-il, que la plus grande partie, soit 90 à 95 p. 100, de la vapeur et de l'eau chaude est d'origine météorique (G/2), c'est-à-dire provient d'eau de surface qui s'infiltre par gravité et se réchauffe; le reste, que le nouvel outil que constitue la recherche isotopique permet d'évaluer à environ 8 à 10 p. 100 dans le cas de Wairakei (G/31), serait d'origine magmatique, c'est-à-dire proviendrait de l'intérieur de la terre. Le réapprovisionnement en eau de surface exige une infiltration suffisante, tout au moins à long terme, en vue de remplacer les quantités d'eau chaude extraites au moyen de puits, et pose la question du temps nécessaire pour la circulation de l'eau; à Larderello, l'âge de l'eau est de plus de 40 ans (G/62), tandis qu'à Wairakei, le temps de circulation à voie unique serait inférieur à 50 ans (G/31). Or, si l'on fore la couche chaude à un rythme plus rapide que la circulation naturelle, on aboutira évidemment à une diminution du volume de rendement. En fait, il est difficile d'évaluer la durée de la vie utile d'un puits; à Larderello, la vie moyenne d'un puits de vapeur est d'environ 20 ans, et plusieurs puits sont encore en activité après plus de 30 ans (G/62).

Avec le temps, la couche chaude peut donc perdre du volume, mais non pas simplement du fait de l'épuisement, comme dans les gisements de pétrole, et elle peut se refroidir, surtout si l'extraction de fluides chauds suscite l'intrusion d'eau froide (jusqu'ici le problème ne semble pas s'être posé). Mais il n'est nullement certain que l'extraction provoque une baisse de température; au contraire, la prise pratiquée sur une couche peut faire monter de la chaleur de profondeurs plus considérables et plus chaudes encore. Ainsi, on a cons-

taté une hausse de la température en Nouvelle-Zélande (G/54), et, à Larderello, la température de la vapeur s'est accrue d'environ 40 °C, au cours des 40 à 50 dernières années (G/62).

La circulation d'eau influe non seulement sur le volume, mais aussi sur la nature de la production du puits. A Larderello et aux Geysers, en Californie, les puits produisent de la vapeur surchauffée, mais, à Wairakei et en Islande, ils produisent un mélange de vapeur d'eau et d'eau chaude ; cela pose, tout au moins pour la production d'énergie, le problème de la séparation préalable de la vapeur (de 10 à 20 p. 100 en poids) et de l'eau chaude, laquelle à son tour peut être convertie en vapeur dans des récipients à vide (G/13). La vapeur peut également présenter une teneur relativement élevée en gaz, comme c'est le cas à Larderello (environ 5 p. 100 en poids, et même beaucoup plus dans les nouveaux puits de Monte Amiata), ce qui a des répercussions marquées sur les installations requises en vue de l'utilisation ; mais les inconvénients sont compensés, tout au moins dans une certaine mesure, par la possibilité de récupérer économiquement les substances chimiques gazeuses.

Pour toutes ces raisons, et pour bien d'autres qui sont envisagées dans les mémoires techniques, il est risqué de chercher à évaluer avec précision le potentiel énergétique des gisements, même en exploitation, et peu d'estimations ont été effectuées jusqu'à présent.

Bien qu'il reste encore beaucoup à apprendre même au sujet des gisements qui sont déjà en exploitation, les techniques de prospection des gisements nouveaux et d'évaluation de leur capacité ont été grandement améliorées et peuvent aisément s'adapter à la recherche de nouvelles zones. Il en est de même des techniques et de l'équipement qui servent à la mise en valeur et à l'utilisation de la production aux stades ultérieurs.

#### PROSPECTION DES CHAMPS GÉOTHERMIQUES ET MÉTHODES D'ÉVALUATION DE LA PUISSANCE UTILISABLE (GR/3)

Du fait que l'énergie géothermique est cachée sous terre, il faut procéder à certaines investigations avant que l'on puisse en toute connaissance de cause se prononcer sur son utilisation et sur les dépenses à engager. Doyle et Studt (G/55) notent que « les investigations doivent nécessairement être proportionnelles à l'ampleur du projet envisagé ; dans le cas le plus simple, un unique sondage répondra à tous les besoins, et une inspection suffira à en déterminer l'emplacement, mais, lorsqu'il s'agit de travaux plus vastes, des investigations étendues s'imposent ».

Selon ces auteurs, on peut distinguer six phases différentes, à savoir : 1) les relevés régionaux — topographiques, géologiques, géophysiques, etc. — visant à une connaissance générale de la situation ; 2) une reconnaissance préliminaire, portant notamment sur la répartition de la population et de l'industrie ; 3) une étude d'ensemble, s'il y a lieu, par des groupes de spécialistes opérant sur le terrain ; 4) une phase d'épreuve, comportant l'usage plus intensif du forage, qui seul peut apporter une preuve décisive ; 5) une phase de mise en valeur, qui conduit à 6) la phase de production, au cours de

laquelle mesurages et recherches doivent se poursuivre pour assurer de bonnes conditions d'exploitation et d'expansion. On peut dire que les quatre premières phases fournissent, respectivement, les connaissances de base d'ordre géologique, l'évaluation qualitative, une évaluation approximative des quantités et la confirmation ou la révision des évaluations antérieures.

Parmi ces conditions et les caractéristiques, surtout d'ordre géologique, qui déterminent le milieu géothermique, et qu'il convient de rechercher, on peut citer (G/65) : l'existence d'une anomalie thermique, qui est indispensable et peut être décelée — sans quelle le soit toujours — par des phénomènes de surface tels que la chaleur du sol, le dégagement naturel de vapeur ou d'eau chaude, comme dans les sources thermales, et de certaines substances chimiques normalement liées à l'activité hydrothermique ; un revêtement quasi imperméable à proximité de la surface, qui protège la couche chaude sous-jacente, et, aussi, une strate très perméable, qui constitue la couche en ébullition susceptible d'être atteinte de façon rentable au moyen de forages ; enfin une base fissurée plus ou moins ancienne qui, placée sous la couche perméable, l'alimente en chaleur, cette couche perméable étant elle-même exploitée au moyen d'un puits foré à travers la couche imperméable supérieure. En un certain sens, les sources thermales et les geysers sont des puits naturels, qui ne présentent pas en eux-mêmes de grands avantages, sauf comme indices de l'existence de la source d'énergie, puisqu'ils constituent des fuites du système, et par conséquent peuvent provoquer une pression et une température plus basses que celles dont on pourrait disposer autrement.

On possède actuellement un certain nombre d'instruments pour détecter, mesurer, échantillonner et analyser ces conditions et ces caractéristiques nécessaires pour mettre en valeur avec succès l'énergie géothermique. Outre les outils classiques de la géologie, de la photogéologie et de la topographie, il existe ceux de la géophysique, de la géochimie, de l'hydrogéologie, de l'hydrodynamique, de la thermophysique et de la chimie modernes, dont les méthodes peuvent souvent être adaptées à l'étude des champs géothermiques. Ces moyens de recherche sont tous décrits de façon détaillée, sous forme d'études méthodiques ou de monographies de cas particuliers, dans les mémoires techniques. Il est donc inutile de les examiner ici. Il suffit de répéter que la Conférence a insisté sur les résultats favorables fournis par l'application des méthodes électriques de prospection géophysique pour la découverte des gisements. Choisis et appliqués comme il convient, tous ces moyens de recherche contribuent à déterminer les disponibilités d'énergie et à indiquer le mode d'exploitation rationnel. On ne saurait trop insister sur les précautions qui doivent entourer leur choix et leur application, sans quoi on risque d'être induit en erreur et de gaspiller des capitaux considérables. Les études géophysiques et autres, si elles sont bien menées, se révéleront toutefois fort rentables, même si elles n'épargnent qu'un nombre restreint de forages improductifs.

Ces instruments doivent être utilisés par un personnel ayant reçu la formation voulue. L'effectif, la composition

et l'organisation de ce personnel varient naturellement d'un cas à l'autre, en fonction de facteurs tels que l'ampleur des investigations, la possibilité de recourir à des organisations pré-existantes et selon qu'un gouvernement ou une compagnie constitue sa propre organisation ou engage des experts ou des entreprises adjudicataires pour une partie importante des travaux. On trouve l'exemple d'une vaste organisation en Nouvelle-Zélande (G/55), où le Département de la recherche scientifique et industrielle (DSIR) fournit des services dans des domaines tels que la géologie, la géophysique, la chimie, la physique et la métallurgie, sous la direction d'un coordonnateur scientifique; le Ministère des travaux publics effectue le forage et les travaux de construction et se charge, d'une façon générale, des recherches et de la mise en valeur des régions géothermiques auxquelles s'intéresse directement l'Etat (G/40); enfin, le Département de l'électricité gère les centrales achevées et les installations électriques. A Larderello, les fonctions correspondantes relèvent des diverses sections de la Compagnie autonome et intégrée de Larderello, qui emploie au total près de 2 000 personnes.

Pour en revenir à l'exemple du DSIR, celui-ci emploie depuis 10 ans un effectif de 10 à 25 personnes, cadres et assistants, pour les activités géothermiques, ce qui représente en moyenne une dépense de 2 000 livres par personne et par an. Le coût des enquêtes du DSIR s'est élevé en 1960 à 44 000 livres, c'est-à-dire un peu moins que le coût d'un forage expérimental de 900 mètres, tandis que le total des dépenses encourues jusqu'à présent par ce service dans la région est de l'ordre de 350 000 livres, soit un peu moins de un million de dollars (G/55). Mais il convient de noter que ces dépenses ne comprennent pas les frais de forage, de construction mécanique et autres, qui sont à la charge du Ministère des travaux publics et sont d'un ordre de grandeur beaucoup plus élevé, et que les différentes organisations existant en Nouvelle-Zélande peuvent avoir recours l'une à l'autre pour divers services. On peut citer également à titre d'exemple les frais engagés au Mexique, où l'on a dépensé environ 640 000 dollars pour des recherches géothermiques, et notamment pour le forage de 16 puits (G/77).

#### EXPLOITATION DE L'ÉNERGIE GÉOTHERMIQUE (GR/4)

Le stade de la prospection ouvre la voie au stade de l'exploitation, c'est-à-dire de l'amenée de la vapeur ou de l'eau chaude à la surface au moyen de puits de production. Ce stade se divise en un certain nombre d'étapes, notamment la préparation des opérations de forage, le forage lui-même, l'achèvement des puits et leur entretien. Bien des facteurs et bien des problèmes entrent en ligne de compte au cours de ces diverses étapes, et tous influent de façon marquée sur les coûts de production des puits, et finalement sur le coût de l'énergie utilisable elle-même.

Le nombre des puits nécessaires pour une production d'énergie déterminée ne peut être fixé d'avance. Les caractéristiques de rendement des puits varient, par exemple pour ce qui concerne la quantité, la température, la pression et le comportement à long terme de la vapeur.

Certains travaux se soldent par un échec. Dans l'ensemble, le nombre des puits géothermiques qui ont été forés dans le monde à des fins diverses s'élève peut-être à un millier environ, y compris un grand nombre de forages de recherche effectués au Japon. Dans la région de Larderello par exemple, on a foré quelque 380 puits, dont 160 sont actuellement en production et alimentent les centrales (G/65), tandis qu'aux Geysers, en Californie, 4 puits sur les 12 qui ont été forés au cours des dernières années alimentent la centrale de 12 500 kilowatts (G/51). En Islande, où l'on a foré de nombreux puits pour le chauffage, on compte qu'il faut encore 7 à 8 puits pour alimenter la centrale de 15 000 kilowatts que l'on se propose de construire, et à Wairakei environ 100 puits, d'une profondeur totale de plus de 50 000 mètres, ont été installés (G/49).

L'implantation des puits est naturellement déterminée surtout par des facteurs matériels, bien qu'il convienne de prévoir une certaine marge pour tenir compte de l'accessibilité et d'autres facteurs de commodité. Les puits doivent être espacés de manière à ne pas trop gêner l'un l'autre.

L'équipement et les méthodes de forage sont sensiblement les mêmes que pour le forage des puits de pétrole, si ce n'est que certaines adaptations sont nécessaires en raison des hautes températures rencontrées et de certains autres problèmes, tels que les risques d'explosion ou de soufflage que comporte la vapeur vive bloquée. Comme l'indiquent en grand détail les mémoires techniques, on a réussi à mettre au point des solutions spéciales au moyen de l'adaptation de fluides de forage, de procédés empêchant le soufflage et d'autres méthodes.

On rencontre des températures qui atteignent quelque 300 °C<sup>1</sup>, ce qui pose aussi des problèmes spéciaux lors de la construction des puits; il faut prêter une attention particulière à certains aspects de la construction tels que les revêtements, les ciments, la perforation du puits et l'équipement à l'orifice pour séparer l'eau de la vapeur et éliminer les impuretés. Divers types de silencieux ont été également mis au point (G/18) en vue de réduire ou d'éliminer le bruit intolérable produit par la vapeur qui s'échappe en rugissant d'un puits ouvert et qui risquerait d'en dommager de façon permanente l'ouïe des personnes qui doivent travailler près de la source.

Quand un puits a été achevé, diverses mesures doivent être relevées dès l'abord et de façon continue par la suite. Au cours de son existence, le puits doit subir des contrôles périodiques, et parfois des réparations, par exemple en vue d'empêcher que les défauts des revêtements ne prennent des proportions exagérées et ne provoquent l'explosion des puits. Les dépôts chimiques peuvent aussi constituer un problème, comme c'est le cas pour les calcites en Islande (G/9), et peuvent nécessiter un nouveau forage et des nettoyages périodiques pour empêcher que les puits ne s'obstruent et ne perdent de leur capacité.

<sup>1</sup> Dans un cas particulier de forage dans un lac de lave bouillante à Hawaï, en vue d'une utilisation éventuelle de l'énergie, et pour expérimenter des conditions comparables à celles d'une explosion atomique souterraine, des foreuses ont résisté à des températures dépassant 1 000 °C (G/5).

Le coût du forage et des puits varie considérablement. Il est en partie fonction de la profondeur, laquelle à son tour dépend de l'épaisseur de la couche imperméable. La profondeur varie entre 300 et 1 600 mètres à Larderello (G/71), entre 450 et 900 mètres à Wairakei (G/40), entre 300 et 2 200 mètres en Islande (G/36), entre 200 et 800 mètres au Kamtchatka (G/48), entre 160 et 300 mètres aux Geysers (G/51) ; elle est de 600 mètres au Mexique (G/77) et de 900 mètres au Japon (G/57).

Le coût réel des puits est calculé dans certains des mémoires techniques, avec des indications très détaillées quant aux divers éléments, à la profondeur, au diamètre du puits, etc. Sans reproduire les diverses réserves formulées par les auteurs, il convient de noter que le coût total des puits est évalué à des sommes variant entre 41 et 56 dollars par mètre en Islande (G/36), entre 73 et 133 dollars par mètre à Larderello (G/71), entre 130 et 200 dollars environ par mètre aux Geysers (G/51) et à 160 dollars par mètre environ à Wairakei (G/40). En Islande, le coût peu élevé est dû en partie à la nature du forage et à la longueur relativement réduite des revêtements qui sont nécessaires, même dans les puits profonds. Si l'on tient compte de la profondeur, le total des investissements pour un puits varie donc entre 20 000 et 140 000 dollars environ. Ce à quoi il faut ajouter le prix des canalisations conduisant à la centrale et, naturellement, le prix de la centrale elle-même.

L'amortissement des investissements relatifs aux puits, qui est l'un des principaux facteurs du coût de l'énergie, dépend de la durée de l'existence utile des puits, et c'est là l'élément le plus imprévisible de tous. Comme on l'a vu précédemment, la « vie » moyenne d'un puits, à Larderello, est d'environ 20 ans (G/62) ; ailleurs, l'expérience est trop récente pour que l'on puisse avancer un chiffre. Dans ces conditions, il conviendrait sans doute d'envisager un délai d'amortissement assez court, cinq ans par exemple si l'on fait preuve d'une grande prudence, à moins que les caractéristiques ne soient telles qu'un délai plus long, 10 ans par exemple, se trouve justifié (G/62). En Islande, on prévoit un délai de cinq ans lorsqu'on évalue le coût (G/9), tandis que « à Wairakei, le délai d'amortissement pour tout l'actif est de 20 ans, et pour aboutir à ce chiffre on a présumé que la vie des puits serait de 10 ans » (GR/4).

L'organisation du forage et de l'entretien des puits, comme aussi celle des activités auxiliaires, varie nécessairement quant à son étendue et sa nature. A Wairakei, par exemple, le Ministère des travaux publics de la Nouvelle-Zélande emploie un effectif de 84 fonctionnaires et de 234 ouvriers, comprenant une série de spécialistes affectés à des travaux très divers (énumérés dans G/40) ; au cours des 10 premières années, on a dépensé dans ce pays environ 6,5 millions de dollars pour les puits de production.

#### COÛT ET LONGUEUR DES CANALISATIONS

Une fois la vapeur naturelle ou l'eau chaude amenées à la surface, il faut en général les transporter sur une certaine distance, au moyen de canalisations, jusqu'à l'endroit où elles seront utilisées pour la production d'énergie ou le chauffage.

Comme l'a fait observer Bodvarsson (GR/5), les fluides géothermiques sont d'assez médiocres conducteurs de chaleur. Bodvarsson est arrivé à la conclusion que la distance maximale sur laquelle il est possible de transporter de la vapeur endogène en vue de la production d'énergie est de l'ordre de 10 kilomètres ; il est évident qu'une fois transformée en électricité, l'énergie peut être transportée sur des distances bien plus grandes et il est ainsi possible de surmonter le handicap que représente l'emplacement souvent peu commode de la source d'énergie par rapport aux endroits où cette énergie sera utilisée. Toutefois, l'eau à haute température peut être transportée plus loin au moyen de canalisations, comme c'est le cas en Islande, où une canalisation de 15 kilomètres est en exploitation, et l'on en prévoit de plus longues ; en fait, il n'est peut-être pas utopique d'envisager des canalisations d'une longueur pouvant varier de 50 à 100 kilomètres pour le chauffage des locaux (GR/5). De longues canalisations d'amenée augmentent le prix de revient au point d'arrivée et, dans le cas de l'Islande, elles sont cause que le prix de revient s'établit à deux fois et demie le prix de revient à l'orifice du puits (G/37).

Dans l'hypothèse où la demande existe, la question se pose de savoir s'il y a lieu de construire une centrale importante ou plusieurs petites centrales plus proches des puits. La réponse dépend dans une très large mesure des conditions locales et de considérations telles que la longueur de la canalisation, son débit et son diamètre, la pression de la vapeur et sa température, d'une part, et, de l'autre, des dimensions que la centrale doit avoir pour être rentable. A Wairakei, par exemple, toute la capacité est concentrée en un seul emplacement, tandis qu'à Larderello on a construit un ensemble fondé sur la décentralisation des installations. Les mémoires techniques donnent des détails sur le coût des canalisations de surface et de l'équipement auxiliaire connexe ; il est de 64 dollars par kilowatt de puissance installée aux Geysers (G/51) et à Wairakei (G/4), de 35 dollars en Islande (G/9) et de 7 à 9 dollars seulement dans une petite centrale du modèle de celles de Larderello (G/62).

#### PRODUCTION D'ÉLECTRICITÉ D'ORIGINE GÉOTHERMIQUE (GR/4)

L'énergie géothermique peut être transformée en électricité d'une manière très simple en canalisant la vapeur sortie du sol vers une turbine qui, à son tour, entraîne une génératrice d'électricité, la vapeur s'échappant librement dans l'air après utilisation. Les appareils construits sur ce principe, qui ne font pas intervenir la condensation et qui fonctionnent directement sous l'action de la vapeur captée, sont des appareils de petite dimension dont la puissance varie de 500 kilowatts, ou même moins, à 6 000 kilowatts (G/64). Tels qu'ils ont été conçus en Italie, ils se présentent sous forme d'ensembles monoblocs légers de dimensions réduites, qu'il est facile de transporter, d'installer et de déplacer d'un point d'utilisation à un autre.

Les installations simples ne faisant pas intervenir de condensation sont les moins coûteuses et les plus faciles

à exploiter. Elles conviennent tout particulièrement à des régions sous-développées où la demande d'électricité est de 1 000 kilowatts environ ou plus (pour que la mise en valeur de la vapeur soit rentable) et où il n'y a guère lieu de se préoccuper du rendement du mode d'utilisation de la vapeur; en même temps, elle se prêtent à l'exploitation de nouveaux gisements; dans ce cas, elles utilisent une vapeur qui sans cela serait perdue. En outre, elles représentent le seul modèle utilisable lorsque la teneur en gaz est élevée (G/62). Un appareil de ce modèle a été mis en place au Mexique au prix de revient exceptionnellement faible de 53 dollars par kilowatt (G/77) et dans plusieurs stations de Larderello où la somme des divers éléments du prix de revient (à l'exclusion des canalisations) atteint environ 65 dollars par kilowatt de puissance installée dans une station à un seul appareil, ce prix de revient diminuant de 10 p. 100 environ si la station comporte plusieurs appareils (G/62). On peut estimer que le prix total de revient (selon les investissements qu'exigent le forage des puits et l'installation des canalisations et selon le taux d'amortissement, le taux d'intérêt et le mode d'utilisation prévus) varie de 4 à 8 mills par kilowattheure dans les conditions existant à Larderello.

Toutefois, l'installation ne faisant pas intervenir la condensation exige une consommation de vapeur relativement élevée, soit environ 20 kilogrammes de vapeur par kilowattheure à Larderello, sous une pression d'environ 5 atmosphères et à une température de 200 °C. Mais la consommation de vapeur peut être réduite de moitié, ou la production d'énergie obtenue à partir d'une quantité déterminée de vapeur peut être approximativement doublée au moyen de condenseurs et d'autres appareils auxiliaires, ce qui permet de créer une plus grande différence entre les pressions et les températures d'entrée et de sortie de la turbine.

Etant donné qu'une utilisation efficace de la vapeur et un rendement élevé sont des facteurs importants dans un régime concurrentiel de production d'énergie, toutes les grandes installations nouvelles prévues pour fonctionner sur de longues périodes, à Larderello comme ailleurs, sont en fait des installations dites à condensation. Elles peuvent fonctionner à l'aide de vapeur provenant directement des puits, à l'aide d'une vapeur secondaire obtenue au moyen d'échangeurs de chaleur (ce qui permet l'utilisation d'une vapeur plus polluée et la récupération de produits chimiques) ou à l'aide de vapeurs provenant d'une eau à haute température sous faible pression. Les installations à condensation exigent un certain nombre d'appareils auxiliaires, qui sont décrits en détail dans les mémoires techniques, tels que des pompes de circulation d'eau et d'extraction des gaz, et de l'eau de refroidissement outre les condenseurs eux-mêmes. On notera en passant que la nécessité de disposer d'eau de refroidissement peut créer une difficulté et qu'il peut être nécessaire d'économiser cette eau en utilisant les pylônes de refroidissement, qui donnent au paysage de Larderello son aspect caractéristique. Les gaz extraits des condenseurs peuvent permettre de récupérer des produits chimiques, comme c'est le cas à Larderello, mais la récupération peut se faire aussi à partir d'échangeurs de chaleur et de dispositifs de purification de la vapeur

avant que celle-ci ne soit admise dans la turbine; toutefois, dans ces derniers systèmes, la pression et la production d'énergie sont plus faibles. Dans certains cas, on peut aussi avoir besoin d'appareils auxiliaires pour empêcher la pollution de l'air par les impuretés qui se trouvent dans la vapeur endogène, ou pour réduire le nombre des difficultés dues à la corrosion dans l'installation elle-même.

Tout l'équipement auxiliaire indispensable dans les installations à condensation complique évidemment leur exploitation et provoque un accroissement sensible des dépenses d'investissement afférentes à la centrale mais, par kilowatt produit, ces dépenses supplémentaires peuvent être plus que compensées par une diminution de la valeur relative des dépenses d'investissement afférentes aux puits et aux canalisations, sauf dans les installations équipées en vue de la récupération des produits chimiques, pour lesquelles les recettes provenant de la vente des produits chimiques devraient permettre de justifier une dépense d'investissement plus importante par kilowatt. Les installations du type à condensation ne seront rentables que dans des stations relativement importantes, comportant plusieurs petits appareils ou des appareils de plus grandes dimensions; les turbo-générateurs de captation de l'énergie thermique (prospection, trices utilisées à l'heure actuelle peuvent fournir jusqu'à 30 000 kilowatts et peuvent être accompagnées d'appareils de plus petites dimensions assurant le fonctionnement de l'équipement auxiliaire, ou tenant lieu d'appareils de secours; à Wairakei, par exemple, la capacité de l'établissement sera de 151 000 kilowatts, un groupe de 11 000 kilowatts et un groupe de 30 000 kilowatts étant normalement tenus en réserve (G/4).

Le coût des installations à condensation et, par voie de conséquence, le prix de revient de l'énergie varient en fonction d'un certain nombre de facteurs trop nombreux pour qu'il soit possible de les examiner ici, exception faite de quelques chiffres récapitulatifs des mémoires techniques. Aux Geysers, par exemple, on estime que la dépense d'investissement afférant à la centrale s'élève à 1 900 000 dollars, soit 152 dollars par kilowattheure, mais elle aurait été de 26 p. 100 supérieure avec une génératrice nouvelle; la centrale fonctionne depuis septembre 1960 à 83 p. 100 de sa capacité et, en utilisant la vapeur endogène achetée à une autre compagnie au prix de 2,5 mills par kilowattheure net à la livraison, elle produit de l'énergie à un prix de revient par kilowattheure comparable à celui des centrales thermiques classiques les plus récentes (G/8). Cette installation est caractérisée notamment par une automation très poussée. La centrale n'est placée que huit heures par jour sous la surveillance du personnel et fonctionne sans surveillance pendant les 16 autres heures grâce à de nombreux dispositifs de disjonction et à une installation de télécommande. Jusqu'ici, les turbines ont été mises hors circuit deux fois seulement et le dispositif d'alarme n'a fonctionné qu'une fois (G/8).

Les prévisions de dépenses pour la centrale que l'on se propose de construire en Islande (G/9) font ressortir un coût global net de 364 dollars par kilowatt installé (la centrale complète représente à elle seule 50 p. 100

de ce chiffre), soit un chiffre comparable à celui des centrales hydro-électriques islandaises d'une capacité inférieure à 40 000 kilowatts; le prix de revient global net par kilowattheure est estimé à 7,9 mills sur la base d'une durée maximale de fonctionnement de 7 500 heures par an, d'une durée d'exploitation moyenne des puits de cinq ans seulement et d'un intérêt de 7 p. 100.

La dépense totale d'investissement de l'installation de Wairakei est estimée à 15 809 000 livres (soit environ 44 millions de dollars) ou encore à 82,25 livres (environ 230 dollars) par kilowatt installé (G/4), les dépenses de captation de l'énergie thermique (prospection, forages, etc.) représentant environ 42 p. 100 de ces chiffres, tandis que les dépenses afférentes à l'installation de la centrale et de l'établissement en représentent 46 p. 100; si la puissance installée est portée à 280 000 kilowatts au cours d'une troisième phase, on espère que les dépenses d'investissement tomberont à moins de 78 livres par kilowatt. On estime que le prix de revient global calculé de la production d'énergie est inférieur à 0,4 penny (soit environ 4,6 mills) par kilowattheure, sur la base d'une production de 1 220 millions de kilowattheures par an (correspondant à un facteur général de charge de 72,5 p. 100) et d'un taux d'intérêt de 5 p. 100; au cours de la troisième phase, on pourra abaisser le prix de revient par kilowattheure d'environ 12 p. 100.

Les dépenses d'investissement et d'exploitation de Larderello sont plus difficiles à estimer, en particulier parce qu'elles se répartissent sur un grand nombre d'installations d'âge différent et parce que l'on y produit à la fois de l'énergie et des produits chimiques. Toutefois, Chierici a établi une comparaison intéressante (G/62) entre certains éléments des coûts dans une centrale thermique classique équipée de deux unités de 150 000 kilowatts chacune et dans une centrale géothermique équipée de deux unités de 15 000 kilowatts du modèle à condensation directe de la vapeur; cette comparaison s'établit comme suit (un dollar des Etats-Unis correspondant à 620 livres environ).

	Centrale classique de 300 000 kW	Centrale géothermique de 30 000 kW
Dépense d'investissement net par kW installé . . . . .	70 000 – 80 000	80 000 – 90 000
Dépense d'exploitation par kWh de production nette . . . . .	0,35 – 0,40	0,70 – 0,80
Coût du combustible par kWh de production nette . . . . .	3,10 – 3,30	—
Coût de la vapeur par kWh de production nette . . . . .	—	0,50 – 0,55

Dans les deux cas, ces calculs ont été faits sur la base d'une durée d'exploitation de 8 000 heures par an. Les dépenses d'exploitation sont plus élevées dans la centrale géothermique, et cela est dû, dans une large mesure, au fait qu'il s'agit d'une centrale de moindre importance. Le coût de la vapeur géothermique semble calculé sur la base de la dépense annuelle d'entretien (dépenses annuelles de forage, etc.) nécessaire pour maintenir le

débit de vapeur, et, même dans le cas d'une estimation très pessimiste, la dépense afférente à la vapeur s'établit à moins de 1 mill par kilowattheure (contre 5 mills pour les dépenses afférentes aux combustibles dans le cas de la centrale italienne). Le prix de revient total de l'énergie dépend aussi des charges annuelles intérêt et amortissement) qui résultent des dépenses d'investissement consacrées à la centrale; si l'on admet que les charges annuelles s'établissent à 10 p. 100 pour la centrale classique et à 15 p. 100 pour la centrale géothermique (pour tenir compte des risques de corrosion qui peuvent être plus grands et d'une irrégularité possible du débit thermique), le prix total de revient s'établirait à environ 7 mills par kilowattheure dans la grande centrale classique et à moins de 5 mills dans la centrale géothermique d'importance beaucoup plus restreinte. En réalité, les prix de revient réels dans la plus grande des centrales de Larderello, exploitée pour assurer la charge de base, sont de 2 à 3 mills environ par kilowattheure, soit moins que dans presque toute autre centrale, de quelque type ou dimension que ce soit, à l'exception peut-être des centrales hydro-électriques de Norvège, qui bénéficient de conditions favorables; ce chiffre correspond aussi à environ la moitié de celui que donnent les estimations les plus optimistes, établies pour l'énergie nucléaire à grande échelle, qui n'ont pas encore été vérifiées dans la pratique.

En conclusion, on pourra noter que, du point de vue pratique, le critère le plus significatif en ce qui concerne la production d'électricité d'origine géothermique est le prix de revient par kilowattheure. Sur la base de l'expérience acquise dans la pratique et des conditions définies dans les différents mémoires, ce prix de revient s'établirait entre 2 et 8 mills par kilowattheure. Ces estimations sont généralement établies dans l'hypothèse d'un facteur d'utilisation élevé, qui n'est pas toujours réalisable dans les pays sous-développés, à moins que les centrales géothermiques ne soient utilisées pour assurer la charge de base. Aux dépenses de production, il convient d'ajouter les dépenses de transport, qui peuvent être fort élevées lorsque la source d'énergie est située loin du lieu d'utilisation ou lorsque les charges sont faibles, et évidemment les dépenses normales de distribution locale. Quoi qu'il en soit cependant, le prix de revient de l'énergie géothermique semble devoir être extrêmement faible dans les quelques cas d'exploitation effective et, selon toute probabilité, dans un grand nombre d'autres cas que permettront de découvrir les prospections et les autres phases de mise en exploitation exposées ci-dessus.

#### UTILISATION DE L'ÉNERGIE GÉOTHERMIQUE POUR LE CHAUFFAGE DES LOCAUX ET LE CHAUFFAGE DE TRANSFORMATION (GR/5)

Sous réserve que les débouchés se trouvent à des distances raisonnables, l'énergie géothermique se prête particulièrement bien au chauffage des locaux et au chauffage de transformation, qui exigent des températures relativement basses (inférieures à 200 °C). On a déjà signalé dans le présent rapport que ce mode d'utilisation

était appliqué notamment en Islande, où il joue un rôle extrêmement important.

En Islande, les systèmes de chauffage ménager et de chauffage de district ont atteint un degré avancé de développement (G/37, G/45). Le système de Reykjavik, par exemple, assure le chauffage des locaux à un moindre prix de revient pour le consommateur tout en constituant une des entreprises commerciales les plus lucratives de la ville. Dans la canalisation principale, la température est d'environ 94 °C et ne diminue que de 1° C tous les 5 kilomètres. Le chauffage des locaux au moyen d'énergie géothermique présente des avantages du point de vue du confort et de la propreté (du moins lorsqu'on a réussi à résoudre les problèmes de la corrosion et du tartrage), tout en éliminant l'inconvénient des cendres et de la fumée et en réduisant les risques d'incendie.

Le coût de la production en Islande équivaut à peu près au coût moyen de l'unité thermique produite au moyen du gaz naturel aux Etats-Unis. Calculé en dollars par gigacalorie (un milliard de calories), le coût total (non compris les bénéfices et taxes) de la chaleur fournie au point de consommation se décompose comme suit : production, 0,60 dollar ; transport dans la canalisation principale d'amenée, 1,45 dollar ; emmagasinage de l'eau, 0,16 dollar ; distribution dans la ville, 1,35 dollar ; et exploitation de l'installation de pompage d'appoint, 0,50 dollar, soit un total de 4,6 dollars par gigacalorie. Pour le chauffage au mazout, le prix de revient est d'environ 7 dollars par gigacalorie (G/37).

A l'heure actuelle, on utilise peu l'énergie géothermique pour le chauffage de transformation ; toutefois, on a étudié plusieurs possibilités d'utilisation, notamment en Islande, et les possibilités ainsi offertes peuvent encourager ou attirer certaines industries, dans ce pays ou dans d'autres, du moins dans la mesure où les avantages que présente le prix de revient du chauffage ne sont pas annulés par le coût du transport des matières premières et par d'autres dépenses supplémentaires. Un de ces projets (G/59) porte sur la production d'eau lourde, que l'on est arrivé à produire en Islande à un prix de revient considérablement plus faible que le prix auquel on pourrait parvenir dans des établissements comparables d'Europe occidentale qui utilisent le mazout ; toutefois, la mise en exploitation a été différée en raison de l'avenir incertain du marché et de l'eau lourde. Un autre exemple est fourni par la production de sel à partir de l'eau de mer au Japon (G/7), où le sel est obtenu principalement dans des installations d'évaporation en plein air chauffées à l'énergie géothermique plutôt qu'à l'énergie solaire, en raison du climat pluvieux. Toutefois, cette méthode de production est en voie d'abandon parce que le sel ainsi obtenu revient plus cher que le sel importé et aussi parce qu'elle nuit aux activités des centres touristiques de sources thermales, activités qui ont toujours constitué un obstacle à l'utilisation de l'énergie géothermique au Japon. En Islande, un projet analogue de production de sel (G/27), qui bénéficie d'une assistance technique de l'Organisation des Nations Unies, s'est révélé de même de rentabilité marginale si l'exploitation se limite à 60 000 tonnes de sel par an.

Ce projet n'a pas encore été étudié comme il conviendrait qu'il le fût du point de vue de la production simultanée de sel et d'autres produits chimiques, ce qui pourrait fort bien permettre de le rendre économiquement viable. Il est évident, d'autre part, que l'énergie géothermique pourrait être utilisée pour la production d'eau potable par simple distillation, ce qui serait particulièrement intéressant dans les régions arides où l'eau potable fait défaut mais qui disposent d'énergie géothermique. Parmi les autres applications à envisager, il faut citer la dessiccation et le traitement de matériaux tels que la diatomite, l'alumine, l'herbe et la tourbe (G/59) ainsi que la production du froid par absorption et la climatisation (G/52).

#### RÉCUPÉRATION DES PRODUITS CHIMIQUES ET SYSTÈMES COMBINÉS (GR/5)

Jusqu'ici, l'expérience acquise en ce qui concerne les systèmes combinés est minime. Il est évidemment possible de combiner la production d'énergie et le chauffage des locaux mais on n'a pas encore tenté de le faire sur une grande échelle. Le seul système combiné important en cours d'exploitation à l'heure actuelle est celui de Larderello, qui permet simultanément de produire de l'énergie et de récupérer des produits chimiques à partir de la vapeur géothermique (G/39, G/63).

Les fluides géothermiques contiennent toujours des produits chimiques dont ils se sont chargés en traversant divers milieux physiques ou chimiques. La composition de ces produits et la proportion dans laquelle ils se présentent varient d'un gisement à l'autre. Dans certains cas, ils peuvent être relativement inoffensifs ou se présenter sous une faible concentration, ou encore présenter ces deux caractéristiques comme à Wairakei, par exemple, où l'on a découvert qu'il serait possible techniquement de récupérer du lithium et d'autres produits chimiques mais où cette récupération entraînerait un prix de revient supérieur à la valeur des produits chimiques en question (G/56). Dans d'autres cas, il arrive que la concentration soit également faible mais que le fluide contienne des substances nocives qu'il faut éliminer ou séparer, après avoir pris les précautions normales qu'exige le choix d'alliages métalliques capables de résister à la corrosion. A Larderello, par exemple, il est indispensable d'éliminer le soufre car, si aucune épuration n'intervenait, 500 à 800 kilogrammes d'acide sulfurique seraient rejetés par heure dans l'atmosphère (G/63).

Les impuretés chimiques peuvent jouer, du point de vue économique, un rôle « passif », de telle sorte que la récupération a pour effet, en définitive, de réduire le prix de revient de l'énergie ; c'est seulement dans certains cas particuliers, d'après Garbato (G/63), que les produits chimiques récupérés présentent une valeur « active » et un intérêt intrinsèque.

Les installations de Larderello sont les seules où les vapeurs géothermiques contiennent des produits chimiques qui présentent une valeur « active » en même temps que « passive ». On se souviendra d'ailleurs que

l'exploitation de Larderello était destinée à l'origine à la récupération de substances chimiques et c'est bien plus tard seulement qu'est entrée en jeu la production de l'énergie, qui est devenue depuis l'industrie principale. Le souci d'obtenir une production d'énergie plus forte a exercé une influence profonde sur la conception des nouvelles installations et sur la reconversion des installations anciennes. Toutefois, la part qui revient à l'extraction des produits chimiques dans l'ensemble des

revenus est loin d'être négligeable, et il est dûment tenu compte de ce fait dans la construction des différents modèles d'installations à condensation qui sont examinés dans une précédente section de ce rapport. Les principaux sous-produits chimiques sont l'acide borique, le borax, le bicarbonate d'ammonium, la carbure de bore, le soufre et le bore à l'état libre. On produit également à l'heure actuelle de l'acide carbonique dans une zone d'exploitation de l'énergie géothermique au Kenya.

## ÉNERGIE ÉOLIENNE

### Principes et facteurs fondamentaux. — Régime des vents et choix des emplacements. — Plans et essais de centrales éoliennes. — Applications de l'énergie éolienne et moyens de les améliorer

Dans les pays industrialisés, comme les Etats-Unis, où les régions rurales bénéficient maintenant de réseaux de transport d'énergie hautement développés, des milliers d'aéromoteurs ont préparé l'électrification et l'avènement d'un mode de vie nouveau. Ces pays se sont plus tard intéressés à l'installation de vastes systèmes de centrales éoliennes puissantes, sous l'effet de la pénurie de combustibles qui a marqué les premières années d'après la guerre et des résultats encourageants d'expériences effectuées pendant la guerre avec la turbine éolienne Smith-Putnam de 1 000-1 250 kilowatts installée aux Etats-Unis, dans le Vermont, au lieu-dit Grandpa's Knob. Leur intérêt a peut-être diminué à mesure que l'offre de combustibles redevenait plus abondante, mais des progrès considérables ont été réalisés au cours des dernières années. Les travaux qui ont été entrepris et qui se poursuivent actuellement permettent certainement de mieux comprendre l'ensemble des questions relatives à l'énergie éolienne, depuis l'étude du comportement des vents et l'adaptation des moulins à vent très simples jusqu'aux problèmes les plus complexes de l'aérodynamique supérieure. Ces réalisations n'ont pourtant pas bénéficié de l'appui de grande envergure accordé, par exemple, à l'énergie atomique et du stimulant que la découverte des applications spatiales de l'énergie solaire a constitué pour l'utilisation de cette énergie.

Comme on l'a fait observer dans un chapitre précédent, la situation énergétique est tout à fait différente dans les régions sous-développées. Il est bien possible que des possibilités considérables s'offrent dans ces régions pour l'installation d'éoliennes de tous genres, aussi bien pour les petits aéromoteurs classiques produisant de l'énergie mécanique ou électrique dans les fermes que pour les aéromoteurs de puissance moyenne (10-50 kilowatts) dans les villages et même pour les installations plus importantes dans les régions desservies par un réseau. L'énergie éolienne, comme l'a fait observer Thacker (GEN/15), « est une source d'énergie qui convient bien aux programmes de développement communautaire rural dans les pays sous-développés d'Asie, d'Afrique et d'ailleurs. Il faudra un travail systématique organisé sur une grande échelle dans ces régions pour réaliser de tels objectifs ». Cette opinion est confirmée par les mesures que va prendre l'Inde, par exemple, où 200 moulins à vent de construction locale doivent être installés sous peu, à titre expérimental, en des emplacements choisis.

L'Inde est un des pays qui ont créé un comité de l'énergie éolienne ou des organismes analogues, soit sur l'initiative de l'Etat, soit sur initiative privée. Ces organismes existent tant dans les pays industriels que dans les pays sous-développés et s'occupent de différents aspects

de la question, depuis les plan généraux jusqu'aux enquêtes anémométriques préliminaires.

L'utilisation de l'énergie éolienne est surtout concentrée en Europe, où il existe plusieurs organismes nationaux qui ont installé des centrales éoliennes relativement puissantes (40 kilowatts ou plus). Parmi les installations en service actuellement, la plus importante, d'une puissance maximale d'environ 900 kilowatts, a été installée récemment en France (GEN/12), tandis qu'un groupe de 200 kilowatts fonctionne au Danemark depuis 1957 (W/20). Des centrales de 100 kilowatts ont été installées ces dernières années en Allemagne (W/34) et dans l'île de Man, au Royaume-Uni, ainsi qu'en Algérie (W/8), cette dernière provenant du Royaume-Uni. La Hongrie a entrepris l'installation d'un aéromoteur de 200 kilowatts (W/36), tandis qu'en Union soviétique les efforts semblent porter surtout sur les installations moyennes, en particulier la station expérimentale d'Istra, près de Moscou, ainsi que sur le pompage de l'eau et l'utilisation de générateurs groupés pour surmonter les difficultés que pose une source d'énergie irrégulière. Aux Pays-Bas, célèbres depuis longtemps pour l'utilisation de l'énergie éolienne, on a transformé un moulin à vent de type hollandais classique en une installation d'une puissance d'environ 40 kilowatts. Plusieurs des pays mentionnés ci-dessus ont également des groupes anémo-électriques modernes de puissance moyenne; dans la plupart de ces pays, ainsi qu'en Australie, au Canada, aux Etats-Unis, au Japon et en Afrique du Sud, on trouve des petites éoliennes électriques dans le commerce ou en service. Un grand nombre de petits appareils ont évidemment été importés dans d'autres régions, de l'Alaska à l'Antarctique.

Dans les pays sous-développés, les organismes chargés de l'énergie éolienne se sont surtout préoccupés d'effectuer des enquêtes anémométriques, au sujet desquelles la Conférence a reçu des rapports, pour déterminer les possibilités d'utilisation effective. En plus des organismes qui existent en Inde (W/19), on peut signaler des organismes et des études en Argentine (W/10), en Birmanie, en Espagne (W/16), en Haïti, en Israël (W/33), au Pakistan, dans la République arabe unie (W/4), en Somalie, à la Trinité et en Uruguay. Dans plusieurs des cas indiqués ci-dessus, les efforts entrepris ont reçu l'appui de l'assistance technique de l'ONU et de ses institutions spécialisées, et ils ont toujours eu pour objet l'utilisation moderne de l'énergie, fondée sur des méthodes scientifiques et orientée principalement vers la production d'énergie électrique et le pompage de l'eau. Ces projets se distinguent donc de l'utilisation des moulins à vent classiques — de

construction souvent rudimentaire — qui continuent, toutefois, à jouer un rôle particulièrement utile.

L'enquête anémométrique est une étape fondamentale qui sera examinée ci-après du point de vue du régime des vents et du choix des emplacements, après un bref examen de quelques principes fondamentaux qui doivent, estime-t-on, faciliter la compréhension des sections suivantes.

#### PRINCIPES ET FACTEURS FONDAMENTAUX

On utilise évidemment depuis des siècles les moulins à vent sans pour autant se préoccuper beaucoup de l'étude de l'énergie éolienne et de ses applications. La simplicité reste un critère souhaitable. Toutefois, la science moderne offre les moyens de mettre au point des éoliennes plus efficaces et de les utiliser plus rationnellement, notamment pour la production d'énergie électrique, et elle permet de mieux comprendre les principes complexes qui entrent en jeu.

L'un des facteurs fondamentaux est la nature même de l'énergie éolienne qui est produite par le déplacement d'une masse (d'air). L'énergie croît proportionnellement à la densité et à la vitesse de la masse. L'air a une densité faible par rapport, par exemple, à celle de l'eau, dont l'énergie, de ce fait, est près de 800 fois supérieure à celle de l'air à débit égal. Il faut donc chercher à compenser cela soit par une vitesse plus grande ou en augmentant la section de la colonne d'air interceptée (surface balayée), soit par ces deux moyens à la fois.

La puissance du vent ( $P$ ) est proportionnelle au cube de la vitesse du vent ( $V$ ) et à la surface balayée ( $A$ ) ; elle s'exprime par la formule  $P = KAV^3$ ,  $K$  étant une constante (on ne tient pas compte des variations de la densité de l'air) dont la valeur dépend des unités de mesure choisies pour  $A$  et  $V$ . La vitesse est généralement mesurée en miles à l'heure ou en mètres par seconde (1 mile à l'heure = 0,447 mètre par seconde).

On comprendra l'importance de la vitesse du vent si l'on considère que, si la surface balayée ou surface d'interception est de 100 pieds carrés et la vitesse du vent de 10 miles à l'heure, la puissance qui peut être extraite est de 0,53 kilowatt tandis que, si la vitesse du vent passe à 30,50 et 100 miles à l'heure, l'énergie qui peut être extraite passe à 14,3, 66,3 et 530 kilowatts respectivement.

Le vent est intercepté par des ailes ou des pales montées sur un rotor qui peut être vertical ou horizontal. Le rotor à axe vertical a pour avantages de pouvoir recevoir le vent, quelle que soit la direction d'où il souffle, et de transmettre l'énergie directement au sol, mais il est foncièrement moins efficace et on ne l'emploie pas dans les installations modernes. Le rotor à axe horizontal doit être installé au sommet d'un pylône assez haut pour assurer aux pales un dégagement suffisant au-dessus du sol et il doit être pourvu d'un dispositif d'orientation tel qu'une girouette pour maintenir les pales face au vent ; lorsqu'il sert à produire de l'énergie mécanique, il doit également être équipé d'un engrenage et d'un arbre de transmission pour pouvoir transmettre l'énergie au sol, tandis que les générateurs électriques peuvent être installés en haut du pylône et même

accouplés directement au rotor, l'énergie étant ensuite transportée par des câbles électriques. La machine dite d'Andreau, conçue en France et utilisée actuellement en Algérie (W/8), est un modèle dérivé du système horizontal ; elle comprend un pylône tubulaire et des pales ou hélices creuses, qui sont actionnées par le vent et qui expulsent l'air, créant une dépression au pied du pylône où l'air est aspiré et entraîne une turbogénératrice au sol.

Pour un vent de vitesse donnée, on peut accroître la puissance de l'appareil en augmentant la dimension des pales de l'hélice. Actuellement, on utilise des hélices ou des rotors d'un diamètre qui va jusqu'à 30 et 35 mètres dans les machines les plus grandes, ce qui exige un pylône de hauteur appropriée et entraîne des dépenses de construction supplémentaires. Inversement, et cela est plus important, on peut augmenter la capacité d'un appareil de dimension donnée en lui trouvant un emplacement plus exposé au vent.

La puissance d'une éolienne est donc déterminée non seulement par ses dimensions mais aussi par la vitesse de vent pour laquelle elle donne sa puissance nominale. Les appareils sont conçus de façon à donner leur rendement maximal à une certaine vitesse choisie ou vitesse « de régime » ; lorsque la vitesse du vent est plus grande, il y a gaspillage d'énergie. On peut choisir une vitesse de régime élevée (jusqu'à 40 miles à l'heure même) pour profiter des vents très forts, mais ces vents sont rares et les appareils qui donneraient leur puissance nominale à de telles vitesses seraient d'un rendement très faible ou nul pour des vitesses nettement inférieures. Il faut également tenir compte, surtout dans le cas des groupes anémo-électriques, de la vitesse dite « de démarrage », c'est-à-dire celle pour laquelle la machine commence à débiter et au-dessous de laquelle elle risque même, à moins d'être montée de façon appropriée, de consommer l'électricité d'une batterie ou du réseau par un renversement du processus. Inversement, il existe des dispositifs de freinage et une vitesse « de débrayage » pour empêcher que la vitesse ne devienne excessive et dangereuse pour l'installation.

Outre la puissance, déterminée par les dimensions du rotor et la vitesse de régime (ainsi que par le coefficient de conversion), la quantité d'énergie produite annuellement à partir de cette puissance constitue une autre considération fondamentale. Le nombre de kilowatt-heures produits par unité de puissance (rendement spécifique qui diminue lorsque la vitesse de régime augmente) est également fonction de la vitesse de régime de l'appareil et du régime des vents à l'endroit où l'installation se trouve, ce dernier étant révélé par des études anémométriques locales qui permettent généralement d'établir une « courbe des vitesses classées » et une « courbe des puissances classées » (W/12). Le nombre d'heures dans l'année pendant lesquelles le vent souffle à une vitesse suffisante pour faire fonctionner l'appareil détermine donc le rendement maximal qu'il est possible d'obtenir. Ici encore, on voit l'intérêt qu'il y a à choisir des emplacements particulièrement venteux, puisqu'ils garantissent un plus grand nombre d'heures de fonctionnement à une vitesse de régime donnée, et per-

mettent de choisir une vitesse de régime supérieure. Ces deux éléments exercent une influence importante sur le montant des dépenses d'équipement et sur le prix de revient de l'énergie.

Le coût de l'appareil varie avec la puissance et, bien entendu, avec l'emplacement choisi. Le coût d'investissement par kilowatt installé diminue en général lorsque la puissance augmente, en particulier si cette augmentation s'obtient par le choix d'une vitesse de régime plus élevée, et aussi du fait d'économies d'échelle résultant de l'adoption d'un rotor de diamètre plus grand. D'une façon générale, le coût peut encore être estimé, comme dans l'étude de 1957 dont il a été question dans l'introduction, à 420-560 dollars environ par kilowatt pour les petites installations, y compris la batterie, 280 à 420 dollars par kilowatt pour les installations de puissance moyenne (10 à 100 kilowatts) et 140 à 280 dollars par kilowatt pour les installations plus importantes.

Le prix de revient du kilowattheure dépend du nombre de kilowattheures produits par kilowatt installé, du taux d'intérêt et du taux d'amortissement applicables au capital investi et, dans une faible mesure, des frais annuels d'exploitation et d'entretien. Pour la plupart des installations, on peut raisonnablement prévoir une période de vingt ans pour l'amortissement, de sorte que si le taux d'intérêt est compris entre 5 et 6 p. 100, les charges annuelles (y compris l'entretien) s'élèvent à près de 9 à 15 p. 100 de l'investissement, le chiffre le plus fort correspondant aux petites installations munies d'une batterie d'accumulateurs. Pour obtenir le chiffre le plus représentatif du prix de revient, on divise le montant de ces charges annuelles par le nombre de kilowattheures. En appliquant les chiffres ci-dessus et dans l'hypothèse d'un rendement spécifique raisonnable (d'environ 900 à 5 500 kilowattheures par kilowatt par an), le prix de revient est de l'ordre de 10 à 100 mills par kilowattheure pour les petites installations avec accumulateur, de l'ordre de 6 à 60 mills pour les installations moyennes et de 3 mills ou plus pour les grandes installations, à condition bien entendu que l'énergie produite soit pleinement utilisée malgré l'irrégularité de la source d'énergie.

La possibilité d'utiliser l'énergie telle qu'elle est produite et au moment où elle est produite est un facteur important qui sera examiné plus tard. Cependant, on peut noter en passant que pour les grandes installations intégrées à un réseau il importe surtout d'obtenir un prix de revient par kilowattheure aussi faible que possible, considération qui peut elle-même entraîner le choix d'une vitesse de régime relativement élevée au prix d'une diminution du nombre d'heures d'utilisation. Par contre, dans le cas des petites installations utilisées isolément et non en conjonction avec d'autres centrales de type différent, on choisira vraisemblablement une vitesse de régime relativement faible de façon à augmenter le nombre d'heures pendant lesquelles la machine fonctionne à plein rendement, même si cela doit se traduire par un prix de revient par kilowattheure plus élevé. En tout cas, il convient évidemment de tout mettre en œuvre pour trouver l'emplacement le plus exposé au vent sans cesser de se conformer, pour ce qui est de l'éloignement,

aux exigences techniques et économiques du transport de l'énergie. La distance sur laquelle ce transport peut se faire diminue avec la puissance installée de la centrale et lorsqu'il y a entraînement mécanique direct, comme dans le cas du pompage, le choix de l'emplacement est lié complètement au point d'utilisation.

Outre la multiplicité des utilisations de leur production, les éoliennes électriques modernes présentent l'avantage certain de laisser une plus grande liberté dans le choix d'emplacements plus exposés au vent, ce qui permet de compenser largement les pertes dues à la transformation de l'énergie, même dans le cas du pompage de l'eau.

#### RÉGIME DES VENTS ET CHOIX DES EMBLEMENS (GR/6)

Depuis longtemps, les stations météorologiques nationales, les aéroports et autres installations recueillent des observations générales sur les vents dans des buts qui leur sont propres et qui vont de la prévision météorologique à la simple étude des vents considérés comme un phénomène météorologique. Ces travaux sont maintenant coordonnés sur le plan international par l'Organisation météorologique mondiale (OMM), qui a présenté à la Conférence une revue des données disponibles sur les observations relatives au vent (W/11). La mesure du vent en météorologie fait également l'objet une étude de Perlat (W/13).

Les données météorologiques fournissent une première indication générale valable des zones ou des régions exposées au vent, et il y a lieu d'en tenir pleinement compte. L'abondante documentation recueillie met en évidence l'importance des alizés et le fait que les régions côtières et les îles sont en général bien plus exposées au vent que les régions de l'intérieur (W/11). En Afrique et autour de ce continent par exemple, certaines des régions les plus exposées au vent se trouvent dans le nord et le nord-ouest, aux îles Canaries (W/16), à Madagascar et sur la côte de la mer Rouge (W/4), tandis que l'Afrique centrale et l'Afrique équatoriale peuvent être considérées comme moins venteuses. De même, ce sont les stations côtières qui relèvent généralement les vents les plus forts en Australie et dans l'hémisphère occidental, où les vastes plaines découvertes situées à l'est des Montagnes Rocheuses forment aussi une région relativement venteuse. L'Eurasie est fortement soumise à l'influence du réchauffement et du refroidissement saisonniers de l'énorme masse continentale et, dans le sud de l'Asie par exemple, à celle du régime des moussons. Certaines des régions où les vents sont les plus forts se trouvent au nord-ouest de l'Europe et les vents y sont particulièrement violents en hiver, alors que la demande d'électricité se trouve à son maximum et que le débit des cours d'eau qui alimentent les centrales hydro-électriques est souvent à son minimum.

Les observations météorologiques disponibles, qui donnent généralement la moyenne mensuelle ou annuelle de la vitesse du vent, mais parfois aussi une répartition en fréquence des vitesses, sont donc utiles pour obtenir une évaluation générale, mais elles ne suffisent pas lorsqu'on s'intéresse au vent en tant que source d'éner-

gie. Cet inconvénient est reconnu par les météorologistes et par l'OMM, qui fait observer « qu'il appartient à l'ingénieur ou à l'économiste » (W/11) de tirer les conclusions qui s'imposent sur la possibilité de capter l'énergie éolienne.

Si les données météorologiques ne conviennent pas aux travaux relatifs à l'énergie éolienne, cela est dû à plusieurs facteurs, notamment à l'emplacement même des stations météorologiques, qui attachent plus d'intérêt à recueillir des renseignements caractéristiques de la région qu'à rechercher des emplacements exposés à des vents très forts. D'un autre côté, dans les enquêtes anémométriques, on s'efforce principalement de trouver des emplacements particulièrement exposés au vent et répondant aux besoins en énergie, d'obtenir des renseignements sur la production probable d'énergie et le régime des vents aux emplacements considérés et, quelquefois, des renseignements particuliers touchant la construction et les caractéristiques de fonctionnement des installations d'énergie éolienne.

Par conséquent, il faut généralement entreprendre des enquêtes spéciales et créer, au moins à titre temporaire, des stations de mesure pour déterminer les possibilités exactes d'exploitation de l'énergie éolienne. On a déjà mentionné l'existence d'études de ce genre entreprises dans les pays sous-développés, et M. Soliman, par exemple, les a bien décrites (W/4). De telles études ont aussi été effectuées dans plusieurs pays industrialisés où elles ont eu parfois une ampleur considérable ; Argand (W/35), par exemple, résume les données et les résultats pertinents obtenus dans 181 stations en France, ainsi que dans 140 stations en Afrique et dans quelques autres, résultats exprimés sous forme de la valeur moyenne de l'énergie éolienne théoriquement récupérable mesurée en kilowattheures par mètre carré par an, et obtenus directement sous cette forme grâce à un ingénieur procédant de mesure français.

L'enquête anémométrique spéciale, qui exige une préparation soignée et une bonne exécution pour donner des renseignements dignes de foi sur le régime des vents, fournit des données que l'on peut analyser par exemple du point de vue des variations à court terme (importantes pour les constructeurs d'appareils), des variations diurnes et saisonnières, de la fréquence et de la durée des périodes de vent faible et d'autres éléments du régime des vents qui influent sur les possibilités techniques et économiques de la production d'énergie. Il faudra peut-être, pendant un an ou deux, effectuer des relevés au moins horaires, que l'on pourra alors extrapoler en les rapprochant des renseignements météorologiques et longue durée, qu'il convient d'exploiter pleinement « car dans ses grandes lignes le régime des vents relevé pour une zone pourra s'appliquer pour les différents sites de cette zone » (GR/6). En outre, et ceci est très important, plusieurs enquêtes ont montré que les courbes dites « des vitesses classées » et « des puissances classées » (W/12) établies à partir de ces données présentaient un aspect remarquablement similaire par rapport à une valeur moyenne annuelle déterminée de vitesse du vent, de sorte que ce dernier chiffre peut dans bien des cas être très utile pour les évaluations

préliminaires. Les données relatives aux vents à l'emplacement considéré peuvent s'obtenir à l'aide d'un grand nombre d'instruments de mesure différents, depuis le simple anémomètre à coupelles et à compteur jusqu'aux appareils enregistreurs et intégrateurs complexes décrits dans les mémoires ; il suffira de noter ici que le choix des instruments doit être approprié, c'est-à-dire qu'il y a lieu de tenir compte du type d'élément à mesurer, et qu'il faut prendre soin de noter la hauteur à laquelle les instruments se trouvent au-dessus du sol, étant donné que la vitesse du vent augmente en général avec l'altitude.

Pour l'implantation géographique des instruments et, en fin de compte, des installations productrices d'énergie, il faut tenir compte de la topographie locale de manière à profiter des phénomènes de compression et d'accélération des vents qui se produisent sur certains types de collines et de montagnes, dont ont traité par exemple Frankiel (W/33), Large (W/28) et Petterssen (W/26). En choisissant ainsi soigneusement l'emplacement, on peut bénéficier d'une vitesse moyenne de vent supérieure de plusieurs milles à l'heure à celle que l'on trouverait sur des emplacements voisins, et obtenir ainsi une augmentation d'au moins 50 p. 100 de la production d'énergie. Le choix du site a donc pour objet de découvrir les emplacements exposés au vent, que ce soit sur la côte ou à l'intérieur des terres, à condition qu'ils soient d'un accès raisonnablement facile et assez près du point d'utilisation de l'énergie.

#### PLANS ET ESSAIS DE CENTRALES ÉOLIENNES (GR/7)

Les plans et les essais de centrales éoliennes sont du domaine de l'ingénieur. Comme on l'a montré dans plusieurs mémoires, celui-ci a le choix entre de multiples possibilités. Faute de pouvoir les examiner toutes en détail dans le présent rapport, on se bornera à en signaler quelques-unes et à souligner l'importance profonde que peut avoir l'usage envisagé et l'influence des conditions locales.

L'ingénieur s'efforcera non seulement de mettre au point une machine qui puisse vraiment fonctionner dans les conditions et pour le but envisagés, mais encore d'atteindre cet objectif de la façon la plus économique, en recherchant le coût initial le plus bas possible et en même temps une durée d'utilisation suffisamment longue, et il cherchera surtout à maintenir à un minimum le coût par unité de rendement. Parmi les considérations d'ordre économique dont il devra tenir compte, on peut citer la nécessité de prévoir des pièces détachées faciles à remplacer, le transport et l'installation, un fonctionnement simple et peu coûteux, un minimum d'entretien et une résistance aux risques de destruction en cas de vent violent.

Dans certains cas, en particulier pour le pompage de l'eau, la meilleure solution dans certaines localités sera peut-être encore une version améliorée du simple moulin à vent mécanique. Souvent, ces installations peuvent être fabriquées entièrement ou en grande partie avec le matériel et la main-d'œuvre disponibles sur place, et notamment à partir de matériaux tels que le bambou et les nattes de jonc pour les ailes du rotor. Les moulins à

vent hollandais classiques (W/32), par exemple, étaient presque entièrement en bois ; ils étaient soit du type à rotor horizontal avec arbre de transmission vertical et engrenage, soit disposés selon un plan incliné, l'arbre étant relié directement à une vis d'Archimède pour le pompage à faible profondeur ; ces moulins peuvent encore se révéler utiles dans les pays sous-développés, si on les adapte aux aptitudes des artisans locaux ainsi qu'aux matériaux et à l'outillage dont ils disposent. La technique moderne peut contribuer dans une large mesure à faciliter ces adaptations, comme l'a fait observer Stam (W/40). Les moulins à vent classiques à structure d'acier, pourraient en fait se révéler trop compliqués pour les habitants des villages (W/23).

Un exemple d'adaptation est fourni par l'Inde (W/23), où l'on a mis au point un moulin à vent (qui coûte environ 2 500 roupies, avec la pompe) transformant l'énergie éolienne en énergie mécanique ; conçu pour une vitesse de vent comprise entre 5 et 8 miles par heure, il est équipé d'un rotor à 12 pales d'environ 18 pieds (6 mètres) de diamètre et il peut pomper quelque 40 millions de litres d'eau par an (selon la profondeur du pompage). Les moulins mécaniques ont souvent, comme dans ce cas, un grand nombre de pales et ils peuvent être équipés soit d'une roue tournant lentement et actionnant une pompe à piston, soit d'un rotor rapide entraînant une pompe à palette ou pompe centrifuge.

Toutefois, la tendance moderne est à l'utilisation d'éoliennes électriques. Leur conception technique présente bien plus de problèmes et de solutions possibles. En effet, on est appelé à choisir le type de courant (alternatif ou continu), un rotor à rotation lente ou rapide, à vitesse constante ou variable, la disposition et le nombre de pales du rotor, le type de pylône, les matériaux utilisés et le mécanisme de contrôle. Certains de ces choix en entraînent automatiquement d'autres.

Les petites installations électriques, par exemple, produisent généralement du courant continu, ce qui présente un avantage du point de vue des accumulateurs et pose moins de problèmes en ce qui concerne la régulation de la vitesse. En revanche, dans le cas des centrales puissantes débitant sur un réseau électrique, on préfère le courant alternatif, qui exige un certain nombre de mécanismes de contrôle et de dispositifs d'appareillage, décrits par exemple par Armsbrust (W/34), Juul (W/17) et Sterne (W/30).

Les modèles modernes bénéficient des progrès de l'aérodynamique, comme l'a montré Hütter (W/31). Ce n'est pas par hasard que plusieurs améliorations récentes, en particulier celles qui portent sur le dessin des pales de rotor, sont dues à des techniciens de l'aéronautique. Les rotors présentent maintenant dans bien des cas l'aspect d'hélices d'avion et comportent généralement deux ou trois pales. Cependant, le grand aéromoteur construit en Hongrie (W/36) a quatre pales et comporte un nouveau type de train d'accélération qui représente un progrès important. Il est conçu de façon à se mettre en marche lorsque le vent atteint la vitesse de 3 mètres par seconde, à débiter 100 kilowatts pour une vitesse de vent de 8 mètres par seconde et à atteindre sa puissance de 200 kilowatts pour un vent de

vitesse égale à 10,4 mètres par seconde ; son rendement annuel est estimé à 320 000 kilowattheures.

L'aérodynamique joue également un rôle dans le choix de la position des rotors, et fait préférer un rotor placé devant le pylône, alors qu'un rotor placé derrière le pylône s'oriente automatiquement (W/39). Sur certains appareils nouveaux, tant en France qu'en Allemagne (W/27, W/34), les pales du rotor, au lieu d'être en métal, sont en matière plastique renforcée de laine de verre, ce qui réduit le poids, diminue la corrosion et prolonge considérablement la durée d'utilisation. La vitesse de rotation des pales peut être réglée, par exemple, en faisant varier l'angle d'incidence (W/5) ou à l'aide de volets de freinage (W/17).

Le pylône lui-même exige un dessin très étudié, si l'on veut qu'il ne fasse pas obstacle au vent ou provoque des vibrations et si l'on cherche à en faciliter l'installation et l'entretien. Parmi les modèles intéressants à cet égard, citons celui qu'a décrit Willinger (W/27), qui a mis au point des petits aéromoteurs électriques de 200 et 500 watts montés sur un pylône tubulaire télescopique qui peut être actionné du sol ; toutefois, les prototypes de ces aéromoteurs semblent déjà relativement chers, le coût initial étant évalué à 750 ou 1 000 dollars et le prix de l'énergie de 15 à 27,5 cents par kilowattheure (compte tenu de coût de la batterie).

Les perfectionnements peuvent être poussés à l'extrême et rendre l'installation très coûteuse. Il n'est donc pas étonnant que l'on ait observé récemment une certaine préférence pour les modèles robustes et relativement simples, par désir d'économie, comme dans le cas de l'installation de 100 kilowatts de l'île de Man et de l'éolienne électrique de 200 kilowatts de Gedser au Danemark (W/17). L'installation de l'île de Man, conçue pour commencer à fonctionner lorsque le vent atteint une vitesse de 18 miles à l'heure, revient à environ 140 dollars par kilowatt, tandis que celle de Gedser coûte 272 000 couronnes danoises (soit environ 39 000 dollars), auxquelles il faut ajouter 48 000 couronnes pour les plans, etc., et 55 000 couronnes pour les appareils de mesure ; le coût pourrait probablement être ramené à 36 000 dollars, soit 180 dollars par kilowatt, si l'on pouvait construire un grand nombre d'appareils (W/20).

Les essais réalisés sur cette installation (W/15) ainsi que sur certaines autres ont été assez poussés. Certains des résultats sont valables pour d'autres machines tandis que d'autres, comme ceux qui ont été obtenus sur l'appareil du type Andreau en Algérie (W/9), s'appliquent plus particulièrement au modèle en question. Les essais portent sur des facteurs tels que le rapport entre le débit d'énergie et la vitesse du vent, les sollicitations auxquelles sont soumises les pales (W/24) et la possibilité de réduire la durée de ces essais coûteux (W/3).

#### APPLICATIONS DE L'ÉNERGIE ÉOLIENNE ET MOYENS DE LES AMÉLIORER (GR/8)

Lorsqu'on étudie l'utilisation des installations d'énergie éolienne, il est bon de distinguer entre trois catégories : les usages domestiques et autres usages individuels, les usages collectifs et l'interconnexion avec des réseaux électriques. Ces trois buts différents corres-

pendent à peu près à l'utilisation des centrales de faible, de moyenne et de grande puissance respectivement.

L'utilisation de l'énergie éolienne à des fins domestiques ou pour d'autres usages individuels exige de petites installations — on en trouve facilement dans le commerce dont la puissance est comprise entre 0,25 et 3 kilowatts — mais généralement aussi rend nécessaire l'emmagasinage de l'énergie dans des accumulateurs, de façon que l'installation soit autonome et ne soit pas à la merci des périodes de calme. Les utilisateurs d'installations de ce genre profitent ainsi de l'énergie disponible sur place et se libèrent des frais de transport ou, plus généralement, des effets de l'absence d'un réseau de transport d'énergie.

Les petites installations électriques se sont vendues par milliers, en particulier dans les pays industrialisés. On signale (W/22) que pour une éolienne électrique de 2,5 kilowatts, le prix total à l'usine serait de 1 025 dollars (y compris 360 dollars pour la batterie et 175 dollars pour le pylône), soit environ 400 dollars par kilowatt, plus les frais d'expédition et d'installation. Les renseignements recueillis pour plus d'un millier de ces installations montrent que les frais de réparation s'établissent en moyenne à moins de 5 dollars par an ; des centaines d'installations de ce genre servent à la protection cathodique de conduites souterraines en acier, tandis que les applications les plus courantes de l'énergie qu'elles produisent sont naturellement l'éclairage et d'autres usages domestiques, ou bien l'entraînement d'une meule, d'un mélangeur, d'un réfrigérateur ou d'autres appareils de faible puissance.

A ce propos, il convient de noter deux études intéressantes sur des cas particuliers. L'une (W/6) a trait à l'installation d'un appareil de 2,5 kilowatts dans le port d'Eilath en Israël, avant même que des routes aient été construites ou d'autres aménagements effectués. Le coût total d'installation de la centrale était de l'ordre de 2 500 dollars (dont 1 100 dollars c.a.f. pour l'appareil proprement dit, 1 100 dollars pour la batterie et 300 dollars pour la mise en place). Le coût de l'énergie est évalué à 100 mills par kilowattheure produit et 150 mills par kilowattheure consommé, alors que l'électricité produite par un groupe électrogène à moteur diesel de puissance comparable aurait coûté environ 180 mills par kilowattheure ; l'auteur de l'étude (Frankiel) en conclut que dans toute région à développer, chaque fois qu'il y a besoin de moins de 10 000 kilowattheures par an et que la vitesse moyenne du vent est de 5 mètres par seconde ou plus, il y a avantage à installer des centrales éoliennes.

L'autre étude (W/25) concerne une exploitation agricole indienne assez caractéristique qui utilise un groupe électrogène à aéromoteur (prévu pour une puissance de 6 à 8 kilowatts mais fournissant de 2 à 4 kilowatts dans les conditions de vent locales) sans batterie d'accumulateurs et destiné au pompage de l'eau ; le coût de cet appareil est évalué à moins du tiers de celui d'une installation de pompage à moteur diesel qui fonctionne au même endroit. Un autre mémoire présenté par l'Inde (W/23) souligne également l'importance du pompage de l'eau — à l'aide d'un matériel qui doit être

simple et peu coûteux — et fait passer au second plan la production d'énergie électrique.

Néanmoins, il est incontestable que dans les régions sous-développées on continuera à rechercher de plus en plus les petites installations productrices d'énergie destinée à divers usages. Parmi ceux-ci, on signale l'alimentation de postes de radio qui, d'après l'un des mémoires (W/38), ne coûtent pas plus de 15 dollars à construire, y compris l'éolienne qui les alimente. Dans les pays industrialisés, comme le Japon (W/5), on peut supposer que les petites installations se trouvent limitées dans leur utilisation aux îles, aux villages isolés et aux stations relais par exemple.

Pour ce qui est des installations moyennes utilisées isolément ou en liaison avec des centrales de type classique pour les besoins des collectivités, on n'a jusqu'ici que peu d'expérience. Le cas le plus remarquable et le plus instructif semble être celui qui a été exposé par le Danemark (W/1), où des installations de cette catégorie sont depuis longtemps utilisées et gérées par des coopératives. Le nombre d'installations dans ce pays a atteint un maximum de 120 en 1918 et un autre de 87 en 1943 lorsque les importations de combustibles étaient bloquées. Depuis lors, quelques-unes ont été transformées en grandes génératrices de courant alternatif. Le prix de revient de l'énergie produite par les installations qui datent de la deuxième guerre mondiale serait de 5 mills ou même moins par kilowattheure ; ce chiffre s'applique également à une centrale construite à Askov en 1929 et encore en service, mais les dépenses de remplacement aux prix actuels tripleraient probablement ce prix de revient.

Avec les groupes anémo-électriques moyens, on ne peut envisager que des possibilités limitées d'emmagasinage en batteries, et il pourrait être nécessaire de les combiner à des installations d'appoint. C'est pourquoi il y a lieu d'examiner attentivement la nature et les types de demande de charge, en faisant une distinction entre les usages essentiels qui doivent être assurés de façon continue, ceux qui ne sont essentiels qu'à certains moments et ceux qui s'accommodent d'une production d'énergie intermittente. L'économie du prix de revient de l'énergie éolienne, la possibilité de recourir à un emmagasinage minimal en batterie et la meilleure méthode de combinaison avec une installation d'appoint dépendent toutes dans une large mesure des conclusions de cet examen et de l'élaboration de plans précis dès le début. L'exploitation effective d'un tel système de manière à réaliser le maximum d'économie et à utiliser au mieux la production d'une source d'énergie intermittente peut être facilitée par un dispositif automatique de répartition de la charge, tel que celui qu'a décrit M. Walker (W/18), dont les calculs aboutissent à un prix de revient estimatif compris entre 42 et 56 mills par kilowattheure pour un système entièrement automatique et à un prix bien inférieur pour un système semi-automatique confié à un personnel semi-qualifié.

L'utilisation des grandes centrales éoliennes est nécessairement limitée à l'interconnexion avec un réseau électrique alimenté par des centrales thermiques ou hydroélectriques, et vise surtout, en général, à réduire la

consommation de combustible ou à économiser l'eau (en réduisant le volume d'eau qui s'écoule des réservoirs ou en ramenant l'eau dans les réservoirs). Comme on doit toujours disposer d'une capacité assurée de façon à pouvoir fournir la charge de base, la capacité totale des installations éoliennes qui peuvent être intégrées au réseau est limitée. En outre, il faut également se montrer prudent lorsque l'on rattache les éoliennes à un réseau (W/8), par exemple pour éviter des perturbations excessives de tension et de fréquence, et, à cette fin, il est peut-être préférable d'employer un certain nombre de petites centrales plutôt qu'un plus petit nombre de grandes.

La production est absorbée par le réseau au fur et à mesure. Il est intéressant d'observer, dans l'étude de Juul (W/20), par exemple, qu'après conversion du courant continu en courant alternatif la production des centrales de Bog et de Gedser au Danemark (mesurée en kilowattheures par mètre carré de surface balayée) a augmenté considérablement, et que cette augmentation est due dans une large mesure au fait que les vastes réseaux de distribution en courant alternatif sont à même d'absorber une part beaucoup plus importante de la production possible.

M. Juul (W/21) soutient avec conviction que, au moins en ce qui concerne le Danemark, les grandes

centrales éoliennes n'ont pas seulement pour rôle de permettre une économie de combustible (et des devises étrangères correspondant aux importations de combustible), et il affirme que ces installations présentent un certain intérêt du point de vue de la puissance qu'elles fournissent, étant donné que la demande maximale coïncide généralement avec les périodes pendant lesquelles le vent souffle. Il estime en fait que 20 p. 100 de l'électricité consommée au Danemark pourraient être fournis par l'énergie éolienne.

Si l'on admet qu'il y a un intérêt du point de vue de la puissance produite et d'autres éléments, on peut accepter pour les aéromoteurs un prix de revient au kilowattheure supérieur à la valeur du combustible économisé qui aurait servi à produire un kilowattheure dans une centrale thermique. Sinon, c'est le coût du combustible qui détermine en général la limite supérieure du prix de revient. Le coût acceptable dans le cas des systèmes hydro-électriques est plus difficile à fixer, notamment parce que le coût du transport intervient dans une proportion plus forte. Cependant, le rôle que les grandes centrales d'énergie éolienne peuvent jouer dans les pays industrialisés est encore à l'étude, et il faut attendre les conclusions que fournira notamment l'étude de l'exploitation du grand aéromoteur français dont il est question dans l'étude d'Ailleret (GEN/12).

## ÉNERGIE SOLAIRE

**Energie solaire disponible et moyens de la mesurer. — Matières nouvelles employées dans l'utilisation de l'énergie solaire. — Chauffage de l'eau. — Chauffage des locaux. — Conservation de la chaleur. — Séchage par chaleur solaire. — Cuisinières solaires. — Conservation des aliments par réfrigération solaire. — Climatisation solaire. — Production d'eau douce par distillation solaire. — Fours solaires à haute température. — Production d'énergie mécanique et électrique par moteurs solaires. — Conversion directe de la chaleur solaire en électricité. — Conversion directe de la lumière solaire en électricité**

Les nombreux documents relatifs à l'énergie solaire dont la Conférence était saisie reflètent bien l'intérêt général que suscite l'utilisation de cette énergie. Ils font état des activités en cours dans ce domaine dans les pays suivants : Afrique du Sud, Australie, Belgique, Brésil, Canada, Chili, Espagne, Etats-Unis, France, Inde, Israël, Italie, Japon, Nouvelle-Zélande, Pays-Bas, Portugal, République arabe unie, République fédérale d'Allemagne, Royaume-Uni, Suède, Suisse, Union des Républiques socialistes soviétiques, auxquels on peut ajouter la Birmanie, la Chine, la Grèce, le Mexique, le Sénégal et bien d'autres pays qui ont manifesté leur intérêt pendant et après la Conférence et qui sont membres de l'Association internationale des applications de l'énergie solaire.

Le rayonnement solaire peut être utilisé à de multiples fins au moyen de procédés et de types d'appareils divers. On peut diviser ses applications pratiques, comme cela s'est fait lors de la Conférence, en deux catégories ; celles qui visent à produire de l'énergie mécanique ou électrique, dont on traitera en dernier lieu dans la présente section, et les autres. Parmi celles-ci figurent le chauffage de l'eau et des locaux, le séchage et la cuisson solaires, la réfrigération, la climatisation des locaux, la distillation de l'eau et le traitement industriel à haute température (fours solaires), ainsi que le procédé très simple de l'évaporation largement employé dans la production du sel et dans d'autres opérations industrielles. Il y a lieu toutefois d'examiner tout d'abord la question de la quantité disponible d'énergie solaire et des moyens de la mesurer ainsi que celle des matériaux nouveaux utilisés dans les diverses applications.

### ENERGIE SOLAIRE DISPONIBLE ET MOYENS DE LA MESURER (GR/11)

Il est essentiel de bien comprendre la nature et la quantité de l'énergie solaire disponible pour construire le matériel destiné à la transformer comme il convient en vue de son utilisation effective et à l'exploiter utilement. Il s'agit là d'un domaine dans lequel les météorologistes jouent un rôle de premier plan, ainsi qu'il ressort des rapports techniques qui lui sont consacrés, mais dans lequel aussi le spécialiste de l'énergie solaire doit

bien préciser les données qui l'intéressent et ses besoins, quitte peut-être à combler lui-même certaines lacunes.

On sait que les radiations électromagnétiques émises par le soleil atteignent les couches supérieures de l'atmosphère à raison d'environ deux calories par centimètre carré et par minute, valeur de ce qu'on appelle la constante solaire. Suivant la place qu'elles occupent sur le spectre, c'est-à-dire suivant leur longueur d'onde (cela présente un intérêt particulier pour les appareils photo-électriques), on distingue les radiations ultraviolettes, les radiations visibles et les radiations proches de l'infrarouge, ces deux dernières catégories constituant plus de 90 p. 100 de l'ensemble des radiations. L'atmosphère déforme les radiations et modifie leur longueur d'onde. L'énergie qui parvient effectivement au sol varie suivant la latitude, l'altitude, la saison, l'heure et d'autres facteurs tels que la topographie, les conditions météorologiques, la poussière atmosphérique et la contamination. Le rayonnement disponible au sol se compose de radiations en faisceau, ou radiations directes, les seules utilisées dans les collecteurs paraboliques, et de radiations diffuses ; celles-ci représentent jusqu'à la moitié de l'énergie disponible dans les régions tropicales humides (S/98) mais sont moins importantes dans les régions de climat sec où l'atmosphère est limpide. Il existe également un rayonnement solaire réfléchi par la surface de la terre et un rayonnement secondaire de grande longueur d'onde, comme le rayonnement nocturne (S/34, S/95), qui présente un intérêt particulier pour certains procédés de refroidissement. L'ensemble des radiations directes et des radiations diffuses, ou rayonnement global, peut atteindre 750 calories par centimètre carré et par jour dans les endroits ensoleillés, mais il est sujet à de grandes variations et, de toute façon, se caractérise par une faible densité énergétique. Si l'on prend comme base de calcul le chiffre d'une calorie par mètre carré et par minute, par exemple, il faut une superficie de 15 pieds carrés pour obtenir l'équivalent thermique d'un kilowatt ; en fait, compte tenu des coefficients de conversion et des pertes, il faut disposer d'une superficie beaucoup plus vaste.

Si le rayonnement n'était pas modifié en pénétrant dans l'atmosphère, il serait très facile de calculer l'énergie solaire disponible en un lieu et à une heure déterminés. Puisque tel n'est pas le cas, il a fallu créer des

stations de jaugeage, et il faudra en créer d'autres. La plupart font partie de réseaux météorologiques dont l'activité, coordonnée également sur le plan international par l'Organisation météorologique mondiale, a reçu une impulsion particulière pendant la récente année géophysique internationale. C'est ainsi qu'environ 500 stations pyréliométriques enregistrent le rayonnement global et, bien souvent aussi, mesurent séparément rayonnement diffus et rayonnement direct. Toutefois, presque toutes ces stations sont situées en Amérique du Nord, en Europe occidentale et au Japon, de sorte qu'il s'en trouve peu — et souvent pas — dans les régions moins développées, en particulier dans les zones arides où peuvent exister pourtant les meilleures possibilités d'utilisation de l'énergie solaire.

Des exemples de données relatives au rayonnement solaire et de leur analyse sont contenus dans les rapports présentés à la Conférence sur quelques pays comme l'Australie (S/32), le Canada (S/18, S/20), l'Inde (S/60, S/105), le Japon (S/2) et la République arabe unie (S/62). Dans le cas de l'Inde, par exemple, il est intéressant de noter que Bombay reçoit moins de trois heures d'ensoleillement par jour pendant la saison de la mousson, qui est aussi celle où les vents soufflent le plus fort, si bien que l'énergie éolienne et l'énergie solaire pourraient se compléter dans plusieurs régions du pays (S/60).

Le but du rassemblement et de l'analyse des données est de recueillir des renseignements sur les divers types de rayonnement, leur distribution spectrale, leur valeur, totale et moyenne, journalière, mensuelle, saisonnière et annuelle, la fréquence des périodes où le rayonnement est faible pendant plusieurs jours consécutifs, etc. (S/13). Par exemple, les périodes probables de faible rayonnement sont importantes pour déterminer l'importance des moyens de conservation d'énergie nécessaires. Dans une certaine mesure, on peut obtenir des estimations assez satisfaisantes à l'aide de diverses formules établies à partir de données simples, comme le nombre d'heures d'ensoleillement, mais il arrivera fréquemment que le spécialiste de l'énergie solaire ne puisse pas se contenter d'estimations approximatives et de données communiquées par des stations éloignées, car elles ne font pas apparaître les microclimats ; c'est pourquoi il apparaît essentiel d'accroître le nombre des stations.

On dispose maintenant d'instruments et de méthodes variés pour mesurer le rayonnement. Ces instruments et ces méthodes sont décrits en détail dans les mémoires techniques des météorologues et des spécialistes de l'énergie solaire qui expriment divers points de vue, par exemple en ce qui concerne la nature des mesures à faire, le choix et la conception des instruments, la précision voulue, la standardisation de la présentation des données, l'emplacement des stations de jaugeage et la durée de la période de temps nécessaire au rassemblement de données suffisamment sûres pour être utilisées dans la pratique. On fait valoir que les instruments doivent être peu coûteux, robustes et d'un maniement facile par du personnel non spécialisé, encore que ces conditions ne pourraient être obtenues qu'au détriment de la précision.

#### MATIÈRES NOUVELLES EMPLOYÉES DANS L'UTILISATION DE L'ÉNERGIE SOLAIRE (GR/12)

La mise au point de matières nouvelles et améliorées qui conviennent particulièrement à la fabrication du matériel destiné à l'utilisation de l'énergie solaire suscite un intérêt croissant. Dans ce domaine, la technique évolue rapidement. C'est elle qui permettra dans une grande mesure de réduire les difficultés techniques et économiques actuelles et d'ouvrir la voie à de nouvelles possibilités d'application pratique de l'énergie solaire.

La qualité et le coût des matériaux ont une importance toute particulière s'agissant des collecteurs d'énergie solaire — plans ou paraboliques — ou des échangeurs de chaleur qui nécessitent des surfaces relativement grandes et représentent en général le gros de la dépense. Une amélioration de la qualité, par exemple, permet de diminuer la superficie du collecteur nécessaire pour obtenir un rendement thermique donné et peut avoir le même effet, du point de vue économique, que l'utilisation de matériaux moins onéreux ou plus durables.

Les résultats donnés par les matériaux utilisés dépendent essentiellement des propriétés de ces matériaux par rapport au rayonnement solaire : absorptivité, ou capacité d'absorber l'énergie captée ; émissivité, ou perte calorifique résultant de la sortie d'énergie ; transmissivité, ou capacité de pénétration au rayonnement, comme dans le cas d'un couvercle de collecteur plan ou d'alambic solaire ; et réflectivité, propriété très importante pour les collecteurs paraboliques, où le rayonnement est réfléchi sur une surface plus petite afin d'obtenir une température plus élevée. L'idéal serait donc d'avoir, par exemple, une surface absorbante de grande absorptivité et de faible émissivité pour les déperditions de rayonnement, cependant que la surface d'un réflecteur devrait avoir une réflectivité élevée sur toute l'étendue du spectre solaire. Il faut tenir compte également des propriétés physiques des matériaux : poids, épaisseur, malléabilité, résistance et durabilité, qui déterminent les possibilités de fabrication et bien entendu, en fin de compte, le prix de revient de l'énergie utilisable.

Ces propriétés des divers matériaux diffèrent considérablement, comme il ressort des mémoires techniques détaillés relatifs aux matières plastiques (S/33), aux alliages d'aluminium (S/86), au verre (S/91), et à divers autres matériaux (S/42) ; on s'efforce constamment d'améliorer les propriétés utiles et de réduire au minimum les effets des autres propriétés, car il faut tenir compte des unes et des autres quand on cherche la solution optimale dans chaque application. On a mis en particulier au point toute une gamme de revêtements plastiques qui ont chacun des caractéristiques différentes et permettent d'envisager avec succès leur utilisation dans plusieurs applications, en partie parce qu'il est possible ainsi de réduire sensiblement la dépense initiale. On pense surtout aux matières plastiques pour les collecteurs plans, mais on utilise aussi des plastiques métallisés pour la construction des supports de réflecteurs qui sont constitués par une armature en plastique renforcé de fibre de verre dont le prix de revient est d'environ un dollar le pied carré (S/104) ; il se peut en fait que les matières plastiques et les techniques nouvelles

aient diminué le prix de revient des collecteurs paraboliques, du moins des collecteurs de petite dimension, qui était si élevé qu'on le considérait jusqu'ici comme prohibitif dans bien des cas, et elles entrent également dans la fabrication des lentilles et des prismes, qui sont d'autres moyens de concentrer le rayonnement (S/22). Parallèlement à ces progrès, on a utilisé des miroirs de verre perfectionnés et de l'aluminium électrolytique pour les collecteurs paraboliques, et on fabrique maintenant, en une seule opération, des plaques et des tubes de collecteurs plans. En outre, on a procédé à des expériences sur la disposition des surfaces réceptrices (S/71) en vue d'obtenir des températures bien plus élevées sans qu'il soit nécessaire d'orienter constamment le collecteur vers le soleil<sup>1</sup>. Il y a lieu également de noter les expériences effectuées à Rome avec des réflecteurs de formes nouvelles : un réflecteur cylindrique incorporé dans un cylindre en matière plastique gonflé qui donne une température de 150 °C, ou une cuisinière sommaire composée de simples sections coniques revêtues d'un matériau réfléchissant peu onéreux.

Mais les progrès peut-être les plus intéressants concernent les surfaces dites sélectives (S/6, S/43, S/46). Au moyen de divers revêtements ou traitements des surfaces, il est désormais possible d'augmenter l'absorptivité et surtout de réduire considérablement l'émissivité (ou vice versa quand il s'agit de surfaces « froides »), ce qui a pour résultat de diminuer les déperditions de chaleur et, par conséquent, d'accroître le rendement du collecteur ou d'élever les températures d'utilisation. C'est un résultat très important pour ce qui est des collecteurs plans caractérisés par ailleurs par une température d'équilibre (c'est-à-dire la température à laquelle l'énergie absorbée est égale à la déperdition calorifique et où le rendement devient nul) relativement bas. Le traitement par surface sélective est maintenant employé dans l'industrie et entre par exemple dans la fabrication des chauffe-eau en Israël (S/46), où l'on évalue le coût du revêtement à 5 p. 100 de celui du collecteur complet.

La recrudescence des activités dans le domaine de l'exploration spatiale, qui a fortement contribué à la mise au point de matériaux et de dispositifs destinés à la conversion directe de l'énergie solaire en électricité, dont il sera traité dans une autre section du présent rapport, a suscité un regain d'intérêt pour les surfaces sélectives et, d'une façon générale, pour les autres matériaux utilisés.

#### CHAUFFAGE DE L'EAU (GR/13)

Les chauffe-eau solaires, utilisés en grand nombre, sont le mode le plus répandu d'utilisation directe de l'énergie solaire. Parmi les pays ou les régions qui ont envoyé des rapports à ce sujet à la Conférence, il faut citer l'Afrique du Sud (S/97), l'Algérie (S/72), l'Australie (S/38), les Etats-Unis (S/1, S/96), la France

<sup>1</sup> Un dispositif automatique de pointage est généralement coûteux mais, dans le cas des petits collecteurs paraboliques, le pointage peut être assuré simplement au moyen d'un dispositif à ressort réglé chaque matin. En ce qui concerne les cuisinières solaires simples, le pointage est bien entendu effectué à la main.

(S/58), l'Inde (S/102), Israël (S/26, S/31), le Japon (S/68), la République arabe unie (S/50) et bien d'autres encore. C'est sans aucun doute au Japon qu'on trouve le plus grand nombre de ces appareils : 350 000 environ y étaient en service à la fin de 1960 (sur ce chiffre 100 000 avaient été installés en 1960) et l'on pense que leur nombre atteindra un million en 1965, ce qui permettra d'économiser plus d'un million de tonnes de combustible onéreux (S/68). Environ 10 000 appareils sont en service en Israël (S/26) ; aux Etats-Unis on en compte environ 25 000 en Floride seulement. Le chauffage des piscines au moyen de chauffe-eau solaires permet de les utiliser pendant environ 150 jours par an — au lieu de 50 — dans le nord du pays (S/96).

La vogue actuelle du chauffe-eau solaire, que l'on peut utiliser avantageusement dans les régions comprises entre 45° de latitude N. et 45° de latitude S., où la durée d'ensoleillement dépasse 2 000 heures par an (S/58), et grâce auquel on peut obtenir des températures de l'ordre de 70 °C., s'explique par la demande croissante d'eau chaude, la simplicité et le prix de revient généralement bas du matériel, et aussi par le fait que ce moyen de chauffage concurrence mieux, maintenant, les autres sources de chauffage.

Sous sa forme la plus simple, le chauffe-eau est une « vessie » en plastique d'une contenance de 200 litres dont le prix ne dépasse pas 6 dollars au Japon (S/68) ; il n'y a pas de réservoir séparé et on l'utilise l'après-midi ou le soir pour le bain ou d'autres usages. Un autre modèle composé d'un réservoir calorifugé revêtu d'un couvercle transparent et actionné à la main fonctionne suivant le même principe ; le modèle familial coûte 20 dollars au moins.

Mais la plupart des modèles comportent un réservoir séparé qui permet d'obtenir de l'eau chaude à tout moment (S/1). Ils se composent essentiellement d'une surface absorbante en métal bruni à travers laquelle l'eau circule dans des tuyaux pour se réchauffer, d'une caisse calorifugée pourvue d'un couvercle transparent (afin de réduire les pertes calorifiques), d'un réservoir calorifugé et d'une canalisation destinée à conduire l'eau à l'absorbeur, au réservoir et au point d'utilisation. L'eau chaude monte naturellement dans le réservoir (thermosiphon) sans le secours d'aucun mécanisme, mais on peut ajouter une petite pompe pour activer la circulation ou en renverser le sens. Il existe de nombreuses variantes à ces éléments de base, par exemple dans le choix des matériaux du collecteur et des autres pièces, la disposition des tubulures dans le collecteur et l'orientation et l'inclinaison de l'appareil par rapport aux rayons solaires. Parmi les innovations, on peut citer l'utilisation d'un revêtement plastique anticorrosif (S/68) et de tubes plastiques antigels dans les canalisations d'eau (S/96), ainsi que la mise au point d'un système d'inclinaison variable (permettant de varier l'inclinaison suivant la saison et la hauteur du soleil en vue d'augmenter le rendement) et d'un thermosiphon irréversible (S/58).

Suivant leurs dimensions, on distingue les chauffe-eau à usage domestique et ceux, plus grands, qui sont destinés aux établissements de bains publics, aux blanchisseries, aux hôtels, etc. Dans les appareils du premier type,

le collecteur a une surface d'environ deux mètres carrés; on peut évidemment augmenter le nombre des collecteurs, comme cela se fait généralement dans les grandes installations. De même, on adapte la contenance du réservoir à la quantité d'eau voulue et à la durée des périodes non ensoleillées.

Les dépenses d'équipement (ou le prix de vente) des installations de chauffage de l'eau par l'énergie solaire sont très variables et il est impossible de les comparer directement sans tenir compte des nombreux facteurs qui entrent en jeu. Cette réserve faite, on peut toutefois noter que, pour les appareils à « usage familial », les prix varient de 6 dollars à 120 dollars au Japon (S/68), de 75 à 105 dollars en Inde (S/102) et de 315 à 400 dollars en France (S/58), cependant qu'en Israël (S/26) on pense qu'il sera possible de ramener le prix du collecteur de 70 à 40 dollars grâce à la production en série. Il est évident que les installations plus importantes coûtent davantage au total mais moins par mètre carré ou autre unité de comparaison analogue. La durée de l'appareil varie aussi d'environ deux ans pour la « vesie » en matière plastique à 15 ans ou plus.

C'est pourquoi il est difficile aussi d'établir une comparaison directe du coût par unité du rendement énergétique utilisable, ou même de le calculer, encore que quelques mémoires techniques citent des chiffres qui varient de 4 à 30 mills par kilowattheure. On préfère évaluer généralement la longueur de la période d'amortissement du capital initial en fonction des économies réalisées sur le coût de l'électricité ou du combustible. Suivant les conditions ou les hypothèses envisagées, la longueur de cette période varie de quelques mois à plusieurs années. D'une manière générale, on semble viser à amortir le capital en trois ans. Ainsi donc, le chauffage de l'eau est une application de l'énergie solaire très prometteuse du point de vue de la rentabilité, du moins si l'on prend pour base du calcul ainsi conduit les quantités d'eau réellement utilisables plutôt que le rendement théorique.

#### CHAUFFAGE DES LOCAUX (GR/14)

Il peut paraître absurde, à première vue, de vouloir chauffer des locaux au moyen de l'énergie solaire puisque c'est en période d'ensoleillement faible ou nul que leur chauffage est, en règle générale, le plus nécessaire. En réalité, l'essentiel du problème consiste à résoudre la question de l'emmagasinage de la chaleur, qui sera traitée dans la section suivante, d'autant qu'on n'a encore conçu aucun moyen rentable de mettre en réserve la chaleur accumulée pendant l'été en vue de l'utiliser en hiver.

Néanmoins, l'emploi de l'énergie solaire pour le chauffage des locaux a suscité un vif intérêt, notamment aux Etats-Unis, où il pourrait bien devenir l'application la plus importante de l'énergie solaire (S/30), parce que le chauffage des locaux entre pour une grande part dans la consommation totale d'énergie. Il présente un intérêt tout particulier dans les régions industrielles de la zone tempérée où le rayonnement solaire hivernal est suffisant et où les utilisateurs éventuels peuvent se permettre d'investir des sommes relativement élevées

pour économiser les combustibles. Dans les régions sous-développées où le chauffage domestique est nécessaire, des installations aussi coûteuses et aussi complexes seront très peu nombreuses, du moins dans le proche avenir, surtout pour des raisons d'ordre économique; il vaudrait mieux pour ces régions que l'on se préoccupe davantage d'améliorer les plans des habitations mêmes.

On a construit récemment plusieurs maisons et laboratoires expérimentaux chauffés à l'énergie solaire; un certain nombre sont décrits en détail dans les mémoires techniques qui traitent des installations réalisées au Japon (S/94, S/112) et aux Etats-Unis (S/3, S/30, S/67, S/93, S/114) ainsi que d'une station suédoise située à Capri, en Italie (S/49). Ce sont des expériences utiles en matière de construction et d'exploitation de ce genre d'installation, sinon fort encourageantes sur le plan économique.

Il y a plusieurs analogies entre les dispositifs utilisés pour le chauffage de l'eau et celui des locaux, et les deux pourraient enfin être facilement combinés. Le système comporte essentiellement une circulation d'eau ou d'air à travers un collecteur plan noirci pour extraire la chaleur et la conduire dans la maison ou dans un réservoir contenant de l'eau, des roches pilées ou des substances chimiques capables d'absorber la chaleur et de la restituer ensuite à des fins utiles. Le système peut, dans certains cas, être inversé en été, l'air chaud ou l'eau chaude traversant le collecteur (S/30, S/94) ou une autre partie du toit (S/3) en vue de permettre une légère réfrigération grâce au rayonnement nocturne. Les différents systèmes en usage diffèrent dans les détails. Cependant, pour donner des résultats satisfaisants dans les régions sous-développées (S/30), ils devraient ne pas exiger l'appoint de l'énergie électrique, mais permettre l'emploi modéré et simple de combustible auxiliaires, et des variations assez peu importantes de la température intérieure; il ne faut pas non plus que la dépense initiale soit élevée. Aucune de ces conditions ou presque ne semble malheureusement réalisée dans les maisons à chauffage solaire construites jusqu'ici.

L'élément le plus important et le plus coûteux de l'installation est le collecteur d'énergie solaire. Le plus grand, dans les maisons décrites dans les rapports, mesure 1 623 pieds carrés, soit 150 mètres carrés (S/30). La dimension du collecteur (pour une charge calorifique donnée) dépend de plusieurs facteurs, et notamment du rendement de l'appareil et de la mesure dans laquelle on se propose d'utiliser l'énergie solaire. Les prix des collecteurs semblent varier d'un dollar par pied carré (S/3) à des sommes bien plus élevées. Parmi les conditions qui jouent sur le prix et le mode de fabrication des collecteurs, on peut noter (S/93) la nécessité d'incorporer le système de chauffage par énergie solaire au plan de la maison, en sorte que le collecteur devienne partie intégrante du toit ou, mieux encore, du mur orienté vers le sud (dans l'hémisphère nord); cette dernière disposition augmente le rendement en hiver, et la déperdition de chaleur se fait au profit de la maison plutôt qu'à celui des combles. La reproduction rapide de différentes conditions d'ensoleillement et de rendement dans une maquette électronique et mécanique peut faciliter la prise

de décision en ce qui concerne les plans de construction (S/19).

Indépendamment de ses avantages intrinsèques, la rentabilité du chauffage des locaux par l'énergie solaire est largement déterminée par les dépenses qu'entraîne autrement le chauffage par combustible ou à l'électricité. On peut, de propos délibéré, se servir d'une de ces deux installations auxiliaires, afin de diminuer les dépenses afférentes au collecteur et à l'emmagasinage. Parmi les cas signalés, et à l'exception d'un laboratoire chauffé entièrement l'énergie solaire (S/93), les collecteurs solaires ont fourni de 25 p. 100 (S/114) à 95 p. 100 (S/3) des besoins en chauffage des maisons ainsi équipées, et les dépenses en combustibles ont été réduites d'autant; dans certains cas cependant, l'économie réalisée a été en partie absorbée par une plus grande utilisation d'électricité dans le système. De plus, l'économie réalisée sur les combustibles ou l'électricité devrait — bien que ce n'ait pas encore été le cas généralement — compenser l'intérêt et l'amortissement correspondant des dépenses supplémentaires dues à l'installation du chauffage solaire qui, suivant les cas, varient de 1 000 dollars (S/3) à 4 500 dollars (S/30).

Il apparaît donc que le développement futur du chauffage solaire dépend de la mesure dans laquelle il pourra concurrencer le chauffage par combustible, et il est manifeste qu'il sera d'autant plus intéressant que les combustibles coûteront plus cher. Autrement dit, on pourrait calculer, en se fondant sur les économies réalisées sur le combustible, la valeur des dépenses d'investissement supplémentaire qui se justifieraient. Compte tenu des conditions normales dans la région nord-est des Etats-Unis (prix du combustible, température journalière, taux d'intérêt, etc.), on a calculé (S/93) que les frais d'installation du chauffage solaire (avec système d'accumulation) peuvent atteindre jusqu'à 130 p. 100 des frais d'installation du chauffage classique sans être, en définitive, plus onéreux.

#### CONSERVATION DE LA CHALEUR (GR/17)

On a déjà signalé l'importance de la question de la conservation de la chaleur pour le chauffage de l'eau et des locaux par l'énergie solaire ainsi qu'on le constatera plus loin. L'amélioration des procédés de conservation de la chaleur<sup>2</sup> serait profitable également à d'autres applications, comme la réfrigération des locaux et la production d'énergie.

Etant donné que l'énergie solaire n'est disponible que pendant une période de temps limitée, et seulement pendant la journée, il est essentiel de résoudre le problème de la conservation de la chaleur. En fait, « toutes les améliorations apportées aux méthodes actuelles d'accumulation de l'énergie solaire sont susceptibles de vastes applications et ouvrent la voie à une utilisation extensive et plus économique de la chaleur solaire » (GR/17). Cependant, on peut encore améliorer considérablement les systèmes d'accumulation de la chaleur, et

réduire leur coût. Il semble qu'on n'ait guère progressé dans ce domaine important, peut-être parce qu'on n'a pas fait d'efforts suffisants et qu'on n'a pas trouvé d'idées intéressantes.

On peut considérer l'importance et la nature du problème de la conservation de la chaleur sous l'angle de plusieurs facteurs. L'un d'eux est la situation de la localité ou de la région où son application est envisagée, dont dépendent le nombre d'heures d'ensoleillement et l'intensité du rayonnement. Un autre est la nature de l'utilisation finale de l'énergie, car de cette utilisation dépend la température plus ou moins élevée à laquelle la chaleur doit être conservée. Le chauffage de l'eau et des locaux, par exemple, n'exige que des températures modérées (ce qui explique en partie son succès), cependant qu'il faut obtenir des températures bien plus élevées lorsqu'il s'agit de faire la cuisine ou d'actionner certains moteurs solaires après le coucher du soleil.

Un troisième facteur est la période pendant laquelle la conservation est nécessaire ou souhaitable. Pour certaines utilisations, comme la cuisson des aliments la nuit, une conservation effective pendant quelques heures peut constituer un grand progrès. Ou bien elle peut s'étaler sur plusieurs jours, le temps de franchir une période de nébulosité, comme s'est souvent le cas pour le chauffage de l'eau et des locaux. Dans un grand nombre d'applications cependant, pour le chauffage des locaux en particulier, il serait souhaitable de trouver un moyen économique de conserver la chaleur accumulée en été pendant les longues heures d'ensoleillement, en vue de l'utiliser ensuite pendant les mois d'hiver.

Un des facteurs clefs du système de conservation est la nature du matériau dans lequel on emmagasine l'énergie thermique. A cet égard, on peut distinguer les matériaux qui, comme l'eau ou les cailloux, accumulent de l'énergie sous forme de chaleur sensible et les matériaux qui subissent un changement d'état ou des altérations physico-chimiques suivant la température à laquelle on les utilise. Le procédé dans lequel on utilise de l'eau chaude dans un réservoir calorifugé ou de petits cailloux chauffés par air est simple et d'usage courant mais il demande une installation encombrante, qui occupe environ 4 p. 100 du volume total de la maison, pour accumuler la chaleur suffisante pour deux jours seulement, ou même moins, dans une région de climat tempéré. Même pour une période de conservation aussi courte, il faut peut-être 25 ou 60 tonnes de cailloux calorifugés, et, quand il s'agit de conserver de grandes quantités d'énergie, ce procédé est coûteux. En fait, les expériences tentées pour transformer par exemple tout le sous-sol d'un bâtiment en réservoir de chaleur semblent n'avoir été réalisées que sur maquettes (S/20).

Il est cependant possible de réduire considérablement l'espace nécessaire à la conservation — et, par conséquent, la déperdition de chaleur et le coût du calorifugeage — en utilisant des matériaux de conservation appropriés qui subissent une transformation chimique ou physique lorsqu'ils sont soumis à la chaleur provenant du collecteur et qui restituent ensuite de la chaleur dans une transformation inverse, quand par exemple ils passent de l'état solide à l'état liquide et vice versa. On a expé-

<sup>2</sup> Les problèmes relatifs à la conservation de l'énergie en général sont traités dans la dernière section, qui concerne la production d'énergie.

menté quelques matériaux de ce genre, et Goldstein (S/7) notamment a étudié de nombreux groupes de substances sur le plan purement thermodynamique, du point de vue de leur capacité maximale de conservation, afin d'isoler les phénomènes physiques et chimiques qui pourraient trouver une application dans le domaine de la conservation de la chaleur à des températures variant de 30 °C à 200 °C. Les matériaux et les phénomènes sont différents selon par exemple que la transition se fait brusquement à une certaine température ou progressivement, et quelquefois il n'y a pas de réversibilité, de sorte qu'un brassage mécanique devient nécessaire. Il reste beaucoup à faire pour découvrir les matériaux et les procédés les plus satisfaisants du point de vue technique et, surtout, du point de vue économique. Il ne faut pas que leurs avantages soient plus que contrebalancés par des dépenses d'équipement trop élevées afférentes aux matériaux nouveaux d'accumulation proprement dits, du moins en ce qui concerne les applications au sol.

#### SÉCHAGE PAR CHALEUR SOLAIRE (GR/15)

L'énergie solaire est utilisée de différentes manières pour le séchage des produits agricoles ou autres. Le procédé simple qui consiste à étaler les produits sur le sol pour les exposer directement au rayonnement solaire est connu depuis des siècles et n'exige aucun matériel spécial. On peut accélérer le séchage et mieux le diriger si l'on utilise des collecteurs plans, autre méthode de séchage par exposition directe. Le séchage peut aussi être indirect, en faisant circuler de l'air chauffé par le soleil, auquel cas il s'apparente au chauffage des locaux mais laisse plus de latitude en ce qui concerne la température et l'accumulation de la chaleur. En outre, des collecteurs à miroirs peuvent servir au séchage (évaporation), comme cela se fait en Birmanie et en Inde pour la concentration du jus de palme en vue de fabriquer du jaggery (sucre non raffiné), ce qui épargne des frais de transport et l'inconvénient de la fermentation; ce collecteur de concentration à miroirs de conception simple, dont la manipulation n'exige qu'une main-d'œuvre peu coûteuse, est amorti, selon les calculs, en trois campagnes.

La mise au point d'un procédé de séchage par chaleur solaire plus strictement contrôlé que le séchage direct simple peut se justifier sur le plan économique par l'amélioration de la qualité, la propreté, le gain de temps, la diminution des pertes et d'autres facteurs. Toutefois, un tel procédé devrait pouvoir se justifier également par rapport au séchage électrique ou par combustible qui peut donner des résultats identiques et souvent meilleurs, ou par une économie de combustible et d'énergie réalisée si les deux systèmes sont combinés.

Le séchage direct par simple exposition, dont on a maintenant étudié quelques aspects scientifiques, s'est encore révélé le meilleur procédé, comme en Australie (S/4) pour le séchage de raisins convenablement disposés; en fait le séchage par le système naturel classique dans ce pays coûte environ deux fois moins cher que le séchage en tunnel à la chaleur artificielle, et il donne un produit satisfaisant. Une autre application possible est le séchage par exposition directe au soleil de schistes

argileux pétrolifères au Brésil (S/83); on estime que le coût du procédé (principalement au titre de la manutention des matériaux) absorberait le tiers environ de l'augmentation de valeur du produit traité, le procédé donnant des résultats très supérieurs à ceux du séchage par combustibles avant distillation. Dans l'ensemble cependant, on ne semble guère s'être préoccupé de mettre au point et d'améliorer le procédé de séchage par simple exposition aux rayons solaires qui est utilisé actuellement pour traiter d'énormes quantités de matériaux. Cet usage du séchage par la chaleur solaire dans le monde, correspondant à un équivalent thermique annuel de plusieurs millions de litres de pétrole, semblerait justifier un effort de mise au point bien plus considérable.

La méthode indirecte, dans laquelle on utilise de l'air chauffé par le soleil, a été peu expérimentée mais elle peut être simple et avantageuse dans certains cas, comme l'attestent deux expériences de séchage de récoltes (S/17, S/53). Dans l'une (S/17) par exemple, on a constaté qu'une augmentation de température de quelques degrés diminue la durée du séchage (et par conséquent les risques de pertes de grain) de 50 à 75 p. 100 et que la dépense supplémentaire occasionnée par le captage de l'énergie solaire peut être amortie, du fait des économies d'énergie réalisées, dans un délai de un à cinq ans. Dans les deux cas cependant, des ventilateurs électriques servent à faire circuler l'air chaud, ce qui pourrait être un obstacle sérieux dans la plupart des régions peu développées.

#### CUISINIÈRES SOLAIRES (GR/16)

On parle souvent des cuisinières solaires comme d'une application pratique intéressante de l'énergie solaire. Les utilisateurs auxquels on pense en général sont les ménages qui vivent dans les villages pauvres et les campagnes des régions peu développées.

On s'est beaucoup intéressé à l'étude et à la construction de cuisinières solaires. De nombreux modèles ont été construits et expérimentés dans les laboratoires de plusieurs pays — Etats-Unis (S/87, S/100, S/101), Pays-Bas (S/24), Portugal (S/110), République arabe unie (S/75) — et d'autres, dont la Birmanie, l'Inde, le Japon, le Liban et l'Union soviétique. Certains modèles ont été expérimentés sur les lieux; c'est le cas notamment de la cuisinière dite du Wisconsin, qui a été essayée assez intensivement au Mexique (S/87). Peu de cuisinières de ce genre sont fabriquées industriellement. D'une manière générale, comme le souligne Löf (GR/16), « il semble que les progrès soient encore hésitants mais lourds de promesses ».

Cette incertitude tient moins à l'aspect scientifique et technique de la chose qu'à son aspect économique et à l'attitude de l'utilisateur. A moins de bénéficier de mesures spéciales ou de subventions de la part des gouvernements ou d'autres sources, les cuisinières solaires ne seront acceptées par les personnes disposant de revenus modestes que si elles ne coûtent pas plus de quelques dollars (contre 10 dollars ou davantage actuellement) et, même dans ce cas, il n'est pas sûr qu'elles connaîtront la vogue. Mieux vaut commercer par

reconnaître leurs inconvénients; ils sont plus faciles à discerner que les avantages.

Un inconvénient majeur est le fait que la cuisinière solaire ne peut fonctionner que quand le soleil brille, à moins d'être complétée par un réservoir de chaleur qui en augmente le prix; dans plusieurs pays, le repas principal est pris le soir plutôt qu'au milieu de la journée, coutume qui, comme tant d'autres, ne serait pas facile à changer. De plus, et à moins d'ajouter une installation compliquée et d'encourir des dépenses supplémentaires, la cuisine devra se faire dans la chaleur, à l'extérieur et peut-être sous l'œil de spectateurs curieux ou affamés. Ce sont là quelques raisons qui expliquent l'échec des expériences tentées dans plusieurs villages de l'Inde, par exemple, et qui démontrent que les anthropologues et les sociologues ont eux aussi un rôle à jouer, comme cela a été le cas lors des expériences du Mexique, pour faire accepter l'usage des cuisinières solaires. De plus, il se peut que le stimulant économique fasse défaut tout au moins si le combustible ménager utilisé à l'heure actuelle ne coûte rien, comme il arrive généralement quand on fait un large usage des excréments desséchés d'animaux, de brindilles et de déchets agricoles ramassés par des personnes qui, sans cette occupation, connaîtraient le sous-emploi.

Les avantages des cuisinières solaires apparaissent de façon plus évidente aux personnes qui achètent du pétrole et d'autres combustibles et qui peuvent amortir le prix d'une cuisinière solaire assez rapidement grâce aux économies de combustible réalisées. En termes plus généraux, l'usage répandu des cuisinières solaires permet d'améliorer le sort des personnes peu favorisées, de conserver les excréments d'animaux pour les utiliser à meilleur escient comme engrais et de prévenir l'exploitation inconsidérée de certains combustibles qui provoquent l'érosion et d'autres inconvénients d'ordre économique. L'importance éventuelle des cuisinières solaires tient dans une grande mesure à ces facteurs et aux promesses des progrès techniques accomplis.

Les appareils de cuisson solaire sont simples. Ils sont essentiellement de deux types, capables d'atteindre les températures d'environ 250 °C normalement nécessaires pour la préparation des aliments. Le premier type est celui de la cuisinière à foyer, ou de type direct, appelée souvent cuisinière solaire, dont l'élément essentiel est un collecteur parabolique qui concentre le rayonnement sur les aliments ou sur l'ustensile de cuisine (S/24, S/87, S/100); elle a essentiellement le même effet qu'un feu ordinaire. L'autre type est celui de la cuisinière à four, ou plus simplement fourneau solaire, qui est une caisse calorifugée munie d'un couvercle en verre transparent exposé au soleil, et dans lequel les rayons solaires sont intensifiés par des réflecteurs plans situés soit à l'extérieur (S/101) soit à l'intérieur (S/75) du couvercle; c'est l'équivalent d'un fourneau à combustible. Prata vient de fabriquer un modèle hybride dans lequel il a cherché à réunir les avantages des deux modèles de base (S/110); c'est essentiellement un fourneau cylindrique muni d'une petite fenêtre par laquelle on concentre le rayonnement recueilli par des collecteurs paraboliques. Tous ces modèles emploient des matériaux différents et sont agencés différemment, mais tous pour-

raient être fabriqués dans les pays peu développés, sans doute avec un minimum de matériaux importés.

Chaque modèle de base a ses caractéristiques, ses avantages et ses inconvénients. La cuisinière à foyer, en forme de parapluie renversé, où le récipient occupe la place du manche (S/100), a une capacité de concentration suffisante pour donner une température élevée et convient pour bouillir, cuire à l'étouffée, griller et frire (et aussi, une fois adaptée, pour cuire au four et rôtir). Elle doit être orientée toutes les 15 à 30 minutes, cesse de fonctionner pendant les périodes de nébulosité et perd facilement de la chaleur au profit du milieu ambiant, surtout quand il y a du vent; mais elle porte un litre d'eau à l'ébullition en une quinzaine de minutes et fournit jusqu'à 500 watts de puissance effective de cuisson (S/87), même en hiver. La cuisinière solaire de l'Université du Wisconsin (S/87), dont on a fabriqué hors commerce plusieurs centaines d'unités, pourrait être vendue à la sortie de l'usine pour un prix de 16 dollars si elle était fabriquée en quantité moyenne, et une version modifiée pourrait coûter un peu moins de 9 dollars si elle était fabriquée en série en utilisant des bandes plastiques recouvertes d'aluminium sur une armature de plastique renforcé. Le type parapluie (S/100) est vendu au détail environ 30 dollars et pourrait l'être à 10 ou 15 dollars s'il était fabriqué en plus grande quantité dans le pays d'utilisation, cependant que le prix de revient de la cuisinière indienne s'établit entre 14 et 17 dollars. Il est possible que de nouveaux modèles permettent de diminuer encore les prix, comme on l'a vu pour une cuisinière à réflecteur segmenté du type Fresnel qui a été expérimentée à Rome.

Le fourneau solaire est plus pratique pour le rôti et la cuisson au four, mais il peut aussi servir pour d'autres modes de cuisson. Il offre une protection contre le vent, utilise une partie des radiations diffuses, peut continuer à fonctionner pendant de brèves périodes de nébulosité, perd la chaleur moins rapidement (S/75), et, de ce fait, conserve les aliments chauds pendant plus longtemps, réalisant ainsi une certaine conservation de la chaleur; cette dernière caractéristique peut être améliorée par l'emploi de matériaux capables d'accumuler la chaleur (S/101). De plus, le fourneau n'a besoin d'être orienté que toutes les 30 à 60 minutes; il est relativement durable et peut être fabriqué sur place plus facilement (S/101). Toutefois, sa capacité de concentration de l'énergie solaire est bien plus réduite, de même que sa puissance effective de cuisson, de sorte qu'il faut beaucoup plus longtemps par exemple pour porter l'eau à ébullition, ainsi qu'il ressort des expériences comparées effectuées par la Division de la nutrition de l'Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture [FAO] (S/116). D'autre part, le fourneau risque d'être plus lourd et d'exiger de la part de l'utilisateur une faculté d'adaptation plus grande en ce qui concerne les modes de cuisson qui ne s'exécutent généralement pas dans un four. Etant donné que ces fourneaux n'ont pas encore dépassé le stade expérimental, leur prix n'a pas encore été fixé nettement et il se peut qu'il soit du même ordre de grandeur que celui des cuisinières; l'avenir de ces appareils semble dépendre des possibilités de fabrication locale où l'on emploierait même des matériaux comme les

paniers pour l'armature (S/101), mais on ne peut pas trop transiger sur la qualité des matériaux calorifuges, des réflecteurs, etc., de sorte que, dans ce cas également, la fabrication devrait, semble-t-il, se faire dans de petites usines plutôt que dans des ateliers artisanaux improvisés. Une certaine latitude dans les dimensions est possible, un fourneau plus grand étant nécessaire pour contenir plus d'un récipient comme dans le combiné de Prata, pour lequel le prix de revient des matériaux seuls s'élève à environ 18 dollars.

#### CONSERVATION DES ALIMENTS PAR RÉFRIGÉRATION SOLAIRE (GR/18)

La réfrigération, quelle que soit sa forme, peut jouer un grand rôle dans la conservation des denrées périssables, en particulier dans les régions tropicales et semi-tropicales. Cette importance éventuelle a incité les techniciens à rechercher des moyens de substituer l'énergie solaire à l'électricité ou aux combustibles quand ces sources d'énergie font défaut ou sont trop onéreuses, comme il arrive souvent dans les régions peu développées.

Les systèmes de réfrigération fonctionnant au moyen de l'énergie solaire ne diffèrent pas, quant au principe, des systèmes classiques qui utilisent la chaleur ou l'électricité et que l'on trouve facilement sur le marché. On peut distinguer trois systèmes principaux, dont le dernier revêt dans le cas présent un intérêt particulier. Le premier est celui du réfrigérateur à compression, actionné généralement par un moteur électrique alimenté ou non par un générateur solaire (voir plus loin), et qui, à part cela, ne présente aucune caractéristique exceptionnelle; les pertes résultant de la conversion d'énergie et le caractère intermittent de la source d'énergie restreignent les possibilités d'utilisation de cette forme de réfrigération solaire. Le deuxième système, découvert par Peltier il y a plus d'un siècle et qui suscite maintenant un intérêt croissant dans les pays industrialisés parce qu'il ne nécessite aucune pièce mobile, fonctionne également à l'électricité, le courant étant appliqué à un « thermo-couple » qui fonctionne à l'inverse du générateur thermo-électrique, dont il sera question plus loin.

Toutefois, le système le plus intéressant, adapté au fonctionnement solaire, utilise la chaleur directement: c'est la réfrigération par absorption-désorption. Dans ce système, la chaleur fournie par un collecteur solaire remplace le pétrole ou les autres combustibles employés normalement dans les réfrigérateurs par absorption vendus dans le commerce; ces derniers sont en général très simples et peuvent donner lieu à une concurrence redoutable dans de nombreuses régions, du fait surtout que l'économie réalisée sur le combustible doit non seulement compenser la dépense supplémentaire du collecteur mais encore permettre de résoudre les problèmes relatifs au fonctionnement et au rendement de l'appareil et en particulier celui du caractère intermittent de la source d'énergie. On peut avoir recours à la réfrigération par absorption soit pour refroidir directement un compartiment de réfrigération (S/70, S/82), soit pour fabriquer de la glace qui servira ensuite

à la conservation des aliments (S/109), comme on l'a fait dans des appareils expérimentaux; cependant, on ne fabrique encore industriellement aucun appareil de l'un ou l'autre type.

Un cycle continu est préférable, mais, l'énergie solaire ayant un caractère intermittent, on a adopté un cycle également intermittent pour le système le plus simple, notamment pour le petit réfrigérateur solaire mis au point à l'Université du Wisconsin (S/82). On chauffe pendant deux heures une solution d'absorbant-réfrigérant (un mélange d'eau et d'ammoniaque par exemple), dans un collecteur parabolique simple de façon à chasser la vapeur d'ammoniaque dans un autre bac étanche et à l'y liquéfier sous pression. On place ensuite ce bac dans un compartiment de réfrigération qui reste froid jusqu'au lendemain, car le réfrigérant y absorbe la chaleur et revient sous forme de vapeur dans le premier bac. On peut également faire fonctionner le système dans le vide; c'est le cas d'un réfrigérateur de type plus classique mis au point en Israël, dans lequel on utilise de façon ingénieuse des collecteurs orientés vers l'est et vers l'ouest, afin de réaliser un cycle.

Le réfrigérateur simple à usage familial du Wisconsin coûte, selon les estimations (S/82), environ 50 dollars plus peut-être 9 dollars pour le collecteur si celui-ci sert également de cuisinière solaire, la dépense étant d'environ 8 dollars par an sans compter les frais que peut entraîner le fonctionnement manuel. Selon d'autres calculs effectués par Oniga (S/70), les réfrigérateurs classiques à compression fabriqués au Brésil coûtent environ 200 dollars, cependant qu'un appareil à absorption comparable fonctionnant à l'énergie solaire et équipé d'un collecteur, dont un prototype est en cours de construction, pourrait coûter 20 p. 100 de plus, compte tenu de l'économie réalisée sur l'électricité; dans le modèle en question, on s'intéresse également à un collecteur fixe.

Les machines à glace, dont l'utilisation la plus intéressante est peut-être au niveau du village, sont plus grandes; un modèle russe fabrique, dit-on, 250 kilogrammes par jour alors qu'une machine à absorption fonctionnant à l'énergie solaire et de construction française en fabrique 100 kilogrammes (S/109). Pour ce dernier modèle expérimental, le coût serait de l'ordre de 20 000 NF (environ 4 100 dollars), ce qui, suivant le nombre de journées ensoleillées, donne un prix de revient de 7 à 10,50 NF par 100 kilogrammes sans compter la main-d'œuvre; d'après une étude détaillée du prix de la glace dans plusieurs pays, ce prix est compétitif dans plusieurs régions, notamment en Afrique (S/109).

#### CLIMATISATION SOLAIRE (GR/18)

Le rêve d'utiliser l'énergie solaire pour la climatisation est en passe de devenir une réalité grâce aux progrès accomplis dans ce domaine. Il est incontestable que la climatisation améliore le rendement du travail tout autant que le confort; dans bien des cas, elle peut très bien se justifier du point de vue économique et être plus qu'un luxe. Mais il est évident aussi qu'une réfrigération très efficace du genre de celle qui est

obtenue actuellement au moyen d'appareils à compression de vapeur fonctionnant à l'électricité coûte cher ; il n'est pas question de généraliser la climatisation, telle qu'on la conçoit dans les pays riches, dans les habitations des pays peu développés.

Fort heureusement, une baisse même légère de température ou du degré hygrométrique, ou des deux à la fois, peut constituer une différence appréciable. Il n'est pas nécessaire que la réfrigération soit continue. Et, surtout, il y a un rapport direct évident entre la nécessité de la climatisation et la disponibilité d'énergie solaire ; il est donc possible d'éviter le problème de l'accumulation.

Compte tenu de ces facteurs, des efforts assez considérables ont été faits dans plusieurs pays en vue de climatiser les locaux au moyen de l'énergie solaire, ainsi qu'il ressort des rapports communiqués à la Conférence par l'Australie (S/39), l'Inde (S/37), Israël (S/88), les Etats-Unis (S/82) et la France, plus particulièrement en ce qui concerne le Sahara (S/64, S/76, S/111). On peut y ajouter les cas déjà signalés où l'on a essayé de combiner le refroidissement par rayonnement nocturne avec les systèmes de chauffage de locaux. Les travaux sont toujours au stade expérimental, et il est encore impossible d'en tirer des conclusions précises tant sur le plan technique qu'économique ; ils couvrent un vaste domaine qui va de l'utilisation proprement dite de l'énergie en vue d'actionner des climatiseurs aux changements de conception architecturale en vue d'améliorer la ventilation et la circulation de l'air dans ce qu'on peut appeler les méthodes auxiliaires, de refroidissement.

Les locaux peuvent être bien entendu climatisés au moyen de l'énergie solaire grâce à des installations dont le principe de fonctionnement est le même que celui des réfrigérateurs, à cette différence près le changement de température n'est pas aussi grand et que la quantité totale de chaleur à évacuer est bien plus importante. Les systèmes utilisés fonctionnent soit par compression mécanique de vapeur (on a comparé la rentabilité de divers appareils de ce type : voir rapports S/37 et S/39), soit par injection (ce système, apparenté au précédent, exige comme lui des températures élevées), soit également par déshumidification et absorption-désorption ; les deux derniers systèmes peuvent présenter un intérêt particulier en ce qui concerne l'application de l'énergie solaire, surtout lorsqu'ils sont équipés pour utiliser la chaleur à faible température provenant de collecteurs plans.

Il ne semble pas que l'on ait construit de maisons équipées d'un système de climatisation par absorption-désorption à cycle fermé alimenté par l'énergie solaire, mais plusieurs études ont été effectuées. En Inde, par exemple, on a constaté qu'à New Delhi un appareil de climatisation solaire soigneusement conçu fonctionnant par absorption d'un mélange d'ammoniaque et d'eau et équipé de collecteurs plans paraît rentable (S/37). Le prix du collecteur solaire joue un rôle extrêmement important, comme on l'a constaté également dans une étude analogue touchant les possibilités de climatisation solaire en Australie (S/39).

En Israël, toutefois, on a construit une maison (S/88)

dans laquelle on utilise un cycle d'absorption ouvert. Le mur de l'est fait fonction de collecteur et dessèche un matériau absorbant le matin, pendant qu'il y a aspiration d'air, et restitue de l'humidité, cependant que le mur de l'ouest, creux, repousse la chaleur ; dans l'après-midi, le rôle des deux murs est inversé. Il a été difficile de construire un mur qui absorbe et repousse alternativement et efficacement la chaleur. Ce système a l'avantage de ne nécessiter ni pièce mécanique ni électricité, mais on a constaté que son efficacité était négligeable, et l'on a suspendu provisoirement l'expérience.

Une autre expérience consisterait, suivant un rapport, dans les régions chaudes et sèches où l'on dispose de suffisamment d'eau, à refroidir l'air par évaporation d'eau, quitte à accroître l'humidité si l'air humide, plus frais, ne traverse pas des murs creux (S/76). On peut aussi obtenir une certaine réfrigération en ayant recours au rayonnement nocturne avec accumulation d'air frais, en agençant la circulation d'air, en utilisant des surfaces sélectives « froides » et « chaudes » et, évidemment, d'une manière générale, en améliorant les plans des maisons (S/111).

Un cas particulier de « climatisation » appliquée à des serres (S/64) nécessite un contrôle simultané de la température et de l'humidité et la production d'eau douce par distillation ; ce projet peut être appelé à jouer un rôle important, en particulier dans les zones désertiques isolées.

#### PRODUCTION D'EAU DOUCE PAR DISTILLATION SOLAIRE (GR/19)

En raison de la pénurie croissante et du prix toujours plus élevé de l'eau douce dans un grand nombre de régions, et parce que le manque d'eau ralentit le progrès économique, les possibilités de conversion de l'eau de mer et de l'eau saumâtre en eau douce par distillation solaire ou par d'autres procédés suscitent de plus en plus d'intérêt. La distillation solaire artificielle est le procédé le plus simple et n'est en fait qu'une répétition, dans des conditions de contrôle plus serrées, des phénomènes d'évaporation et de précipitation qui se produisent à une échelle gigantesque dans le cycle de l'eau dans la nature.

Un grand nombre de pays ont consacré des programmes de recherche à la distillation solaire, ainsi qu'il ressort des rapports soumis à la Conférence par le Chili (S/23), l'Espagne (S/73), les Etats-Unis (S/14, S/28, S/29, S/77, S/85), la France (Algérie) (S/89, S/107), l'Inde (S/115), l'Italie (S/113), la République arabe unie (S/63) et l'Union soviétique (S/119). Des progrès ont été accomplis mais on constate également une dispersion et un chevauchement considérable des efforts, surtout en ce qui concerne les distillateurs solaires de petite dimension qui peuvent être construits par des artisans locaux et dont un grand nombre sont actuellement en service, par exemple en Algérie (S/107).

Si l'on peut évaluer assez exactement le coût actuel de l'eau obtenue par distillation solaire, il est impossible

de mesurer l'étendue du champ d'application de ce procédé, surtout parce qu'on n'a jamais délimité exactement les zones propices à une dessalaison rentable. Il est significatif, par exemple, d'entendre Nebbia (S/113) exprimer l'opinion qu'une étude mondiale du marché des distillateurs solaires et, d'une manière générale, du matériel utilisant l'énergie solaire, serait très utile. Parmi les quelques renseignements relatifs au prix de l'eau actuellement pratiqués ou acceptables, lesquels varient évidemment beaucoup selon le lieu et le mode d'utilisation mais qui indiquent cependant le plafond du prix de l'eau déminéralisée, un document indique, par exemple, que l'eau d'irrigation coûte 0,20 dollar le mètre cube aux îles Canaries (S/73) et l'eau de boisson jusqu'à un dollar le mètre cube sur la côte sud-est de l'Espagne, cependant que dans la région ensoleillée d'Antofagasta, au Chili, quelques exploitations minières paient le prix exorbitant de 15 dollars le mètre cube d'eau douce (S/23). Il n'est peut-être pas surprenant que ce qui est sans doute la plus grande distillerie solaire du monde, d'une capacité de production de 22 500 litres par jour, ait été construite justement dans cette région ; mais ce qui est peut-être plus surprenant, c'est qu'elle a été construite il y a près de 80 ans et qu'elle a fonctionné, dit-on, pendant près de 40 ans avec un rendement satisfaisant même en tenant compte des normes actuelles. L'absence de progrès en matière de rendement peut provoquer un certain découragement, mais il est difficile de faire de grands progrès en matière de distillation solaire simple ; on en a fait, néanmoins, pour ce qui est des matériaux nouveaux, et aussi et surtout des connaissances scientifiques. Peut-être permettront-ils de réduire le coût de la distillation solaire et de la rendre réalisable dans de nombreux pays, même si l'on ne parvient jamais au but optimiste de 10 cents le mètre cube d'eau des systèmes de distribution urbains et de 3 cents le mètre cube d'eau d'irrigation que l'on s'est fixé aux Etats-Unis (S/29).

Les nombreux modèles de petits distillateurs simples d'eau potable à usage familial reposent tous sur le principe du collecteur plan. Calorifugés à l'arrière ou au fond, ils se composent généralement d'une surface brunie absorbant la chaleur qui fait évaporer l'eau salée ; la vapeur se condense à son tour en eau douce sur le couvercle transparent et s'écoule dans des cuves séparatrices. Comme il est indiqué dans les rapports techniques, les détails d'agencement et les types de matériaux utilisés varient suivant les très nombreux modèles existants.

Les petits distillateurs ont une production d'environ 7 à 8 litres d'eau par mètre carré de surface d'évaporation en été et d'un litre en hiver, soit une moyenne journalière de 4 à 5 litres et annuelle de 1,5 à 2 mètres cubes par mètre carré. Les prix varient selon le lieu, le mode de fabrication et les types de matériaux utilisés, les revêtements plastiques revenant moins cher par exemple au départ, mais pas nécessairement en fin de compte puisqu'ils sont moins durables. Avec des revêtements de verre, le coût initial est de l'ordre de 15 à 30 dollars par mètre carré et peut être ramené à 10 ou 20 dollars ; dans l'hypothèse d'une durée de vie utile de 20 ans, le mètre cube d'eau douce reviendrait donc de 0,25 à 0,70 dollar (prévision optimiste) ou plus probablement, dans

les conditions actuelles, de 1 à 2 dollars, plus le coût de la main-d'œuvre (GR/19). Il est probable qu'il n'y a pas lieu de tenir compte de ce dernier pour les appareils à usage familial dont on peut facilement augmenter la capacité en augmentant leurs dimensions. Ces petits distillateurs ont naturellement l'avantage d'épargner les dépenses afférentes à la distribution d'eau (à condition qu'il y ait de l'eau salée à proximité) et de ne pas demander d'énergie ou de main-d'œuvre spécialisée. Ils doivent jouer un rôle incontestable dans l'approvisionnement en eau potable.

Les distillateurs solaires de grandes dimensions, ceux du moins dont la capacité dépasse 50 000 litres par jour, font face à une situation beaucoup plus difficile. En général, il faut que leur prix de revient puisse soutenir la comparaison avec l'eau douce transportée de sources plus ou moins éloignées ou obtenue à partir d'autres procédés — très nombreux — de déminéralisation. On a signalé en particulier la nécessité d'un investissement initial peu élevé et d'une longue durée d'utilisation afin de maintenir le coût du produit à un niveau peu élevé, mais il faut également tenir compte des frais d'entretien et d'exploitation.

Les grands distillateurs solaires expérimentés jusqu'ici sont principalement du type à effet unique, comme c'est le cas pour les appareils que le United States Office of Saline Water a installés à Daytona Beach en Floride (S/85). Ces installations, dont la superficie peut atteindre 275 mètres carrés, permettent d'étudier des modèles et des matériaux divers ainsi que les nombreuses variables dont il faut tenir compte, même dans un appareil apparemment aussi simple qu'un distillateur à bassin (S/77, S/107, S/119). Les grands distillateurs simples sont essentiellement semblables aux petits ; certes, ils permettent une certaine économie de par leurs dimensions, mais au détriment de leur efficacité, de sorte que la dépense initiale au mètre carré, pour être acceptable, doit être bien inférieure (S/37). Pour une production annuelle de moins de un million de mètres cubes d'eau potable et d'eau destinée à la consommation industrielle, on peut admettre une dépense d'équipement de l'ordre de 4 à 20 dollars par mètre carré ou de 2 dollars au plus par mètre carré pour l'approvisionnement en eau des villes (GR/19), soit à peu près le dixième de ce que coûtent les nouvelles grandes installations de Daytona Beach, et le cinquième du coût estimatif d'installations capables de produire 100 000 gallons des Etats-Unis par jour (S/85). Dans l'hypothèse d'une très longue durée de vie utile et d'un rendement excellent, ces dernières, qui restent à construire, pourraient, suivant les mêmes calculs, produire prochainement de l'eau douce au prix de 0,30 à 0,65 dollar le mètre cube (soit 1,22 à 2,44 dollars pour 1 000 gallons). Ainsi donc, et à moins de perfectionnements sensibles, il ne saurait être question d'utiliser de simples distillateurs à bassin pour produire de l'eau douce destinée à l'irrigation ou à d'autres usages nécessitant de grandes quantités.

Les grands distillateurs solaires peuvent comporter divers perfectionnements comme la convection forcée et la distillation à effets multiples (S/14), qui augmentent le rendement et aussi les dépenses d'investisse-

ments, sinon le coût du produit. Les calculs les plus optimistes dans cette catégorie donnent un prix de revient d'environ 0,08 dollar le mètre cube d'eau douce (S/128) et un prix de revient nul si l'on combine la distillation et la production d'énergie et que l'on vend l'énergie environ 1 mills le kilowattheure (S/15), mais il faudrait pour cela réaliser une verrière de collecteur en matière plastique d'une surface de près d'un mile carré (2,5 km<sup>2</sup>) d'un seul tenant.

Du point de vue technique, on peut évidemment utiliser des collecteurs de concentration pour fabriquer de la vapeur qui se condenserait ensuite en eau douce. Bien que ce mode de production de la vapeur, considéré en soi, ne soit guère intéressant, on peut le combiner, comme Baum l'a envisagé (S/119), avec la production d'électricité ou la déminéralisation par électrodialyse.

Quel que soit le distillateur solaire utilisé, le chapitre principal de dépenses qu'il faut réduire est celui du collecteur. La façon la plus radicale de tourner la difficulté consiste à utiliser un lac ou la mer comme collecteur, comme dans le procédé dit de Claude, qui fait appel à l'énergie thermique de la mer (sujet qui n'était pas du ressort de la Conférence) et qui utilise un condensateur de surface pour fabriquer de l'eau douce après avoir fait passer la vapeur (qui actionne au passage un turbo-générateur) par une chambre à vide dans un système fonctionnant à basse pression et sous faible différence de température. Un projet pilote à l'intérieur des terres, fonctionnant suivant à peu près le même principe, a été élaboré au Chili (S/23). Un autre système assez analogue paraît plus intéressant : il utilise comme collecteur une « mare solaire » artificielle et sera examiné plus loin car il viserait surtout à produire de l'énergie.

En fait, en ce qui concerne l'évaporation ou la distillation de grandes quantités d'eau à l'aide de l'énergie solaire, il se peut que le procédé dit de Claude offre les meilleures perspectives d'avenir, surtout si on l'utilise pour produire simultanément de l'énergie. Le procédé de simple distillation solaire à grande échelle semble moins encourageant pour le moment et peut même, dans certaines conditions, être remplacé avantageusement par un montage en série de plusieurs petits appareils individuels, ce qui permettrait également d'éviter les frais de distribution de l'eau à partir d'une installation centrale.

#### FOURS SOLAIRES À HAUTE TEMPÉRATURE (GR/20)

En utilisant des appareils d'optique de haute précision, on peut concentrer le rayonnement solaire sur une petite surface et obtenir des températures qui peuvent atteindre 3 500 °C. C'est ce qu'on fait actuellement dans plusieurs appareils dits fours solaires, dont la plupart ont une capacité comprise entre 2 et 3 kilowatts (énergie thermique), surtout aux Etats-Unis, en France, au Japon et en Union soviétique. Jusqu'ici, les fours solaires ont servi presque uniquement à des essais de matériaux et à la recherche, ainsi qu'il ressort des rapports techniques communiqués par des auteurs des pays suivants : Etats-Unis (S/5, S/16, S/25, S/79), France (S/35, S/36, S/48, S/52, S/66, S/81, S/108) et Japon (S/21, S/57), et des

interventions de participants à la Conférence venant d'Australie, du Royaume-Uni et de Yougoslavie. Dans un grand nombre de cas, des essais à petite échelle suffisent parce que la température obtenue dépend de la qualité de l'installation et non de ses dimensions.

Du point de vue des applications pratiques, l'intérêt se porte surtout sur les possibilités d'emploi des fours solaires en vue du raffinage de petites quantités de minerais et de la mise au point de certains procédés chimiques ; dans ces cas, les dimensions limitées et la dépense initiale relativement élevée ne sont pas des obstacles graves si le produit obtenu a une valeur suffisante ou si l'intérêt du procédé vaut la peine que l'on transporte le minerai à partir de mines éloignées. En fait, on a acquis une certaine expérience de ce genre d'exploitation à une échelle semi-industrielle grâce à un four solaire de 75 kilowatts construit en 1952 à Montlouis, en France (S/81), et, dans une certaine mesure, grâce à un grand four construit en 1958 en vue essentiellement de procéder à des recherches sur les matériaux aux Etats-Unis (S/79). Un autre four de 70 kilowatts, qui a coûté 102 000 dollars (plus les frais de main-d'œuvre qualifiée) au Japon, appartient à la même catégorie (S/21). Ces installations sont petites si on les compare au four solaire de 1 000 kilowatts qui est en construction à Odeillo-Font Romeu, près de Montlouis, dans les Pyrénées françaises, et qui, pense-t-on, permettra de produire quotidiennement 2 à 3 tonnes par exemple d'oxydes ultraréfractaires précieux (S/81). Le four solaire peut servir et sert à traiter et produire des matériaux très variés, notamment des substances chimiques pures, des monocristaux et des métaux purs ou rares dont la technique moderne a besoin pour fabriquer des réacteurs nucléaires, des semi-conducteurs, etc. (S/52). En fait, le four solaire, outre la facilité avec laquelle il atteint rapidement des températures élevées, a des avantages particuliers, tels l'absence de contamination qui permet de préparer des produits purs et de haute qualité.

Le four solaire a également ses limitations, dont la plus grave est peut-être la nature de la source d'énergie elle-même. Le caractère intermittent de l'ensoleillement oblige par exemple à n'utiliser que des méthodes et des matériaux qui peuvent s'accommoder de cette situation (S/81), et bien entendu ne permet d'utiliser l'installation que moins de la moitié de l'année puisqu'il n'est pas possible de conserver de la chaleur à une température élevée. Etant donné le rôle prépondérant du taux d'intérêt et de l'amortissement des frais de premier établissement, dont on ne saurait encore apprécier l'effet sur le prix de revient du kilowatt installé, le fait que l'utilisation soit limitée exerce une influence marquée sur le coût du procédé. Il existe aussi d'autres limitations de caractère technique, comme l'exiguïté de la surface réceptrice de chaleur, les difficultés de répartition de la chaleur dans le matériau, etc.

De grands progrès ont été faits, ainsi qu'il ressort des rapports techniques et des discussions, dans la technique et le fonctionnement des fours solaires. Parmi les nombreuses considérations dont il y a lieu de tenir compte, il faut citer le type et le plan du dispositif concentrateur

d'énergie solaire, le mécanisme destiné à orienter l'axe optique de l'appareil dans la direction du soleil, l'aménagement du récepteur ou du four proprement dit (réception directe, réception en cavité, etc.), la disposition et les mesures des divers matériaux, ainsi que le choix des matériaux de construction. On notera par exemple que, dans les grands fourneaux, on utilise un dispositif concentrateur fixe de façon à maintenir l'objectif ou le four en position fixe et à réfléchir les rayons solaires sur le dispositif concentrateur au moyen de grands assemblages de miroirs plan (héliostats) qui suivent le soleil et composés d'un grand nombre de segments. Les petits appareils n'exigent qu'un seul jeu de réflecteurs, et on peut désormais les fabriquer en matière plastique rigide et légère, à laquelle on donne une forme parfaite par polissage au tour. A la suite de l'impulsion donnée aux recherches spatiales, des progrès considérables ont été réalisés aussi dans l'emploi de l'aluminium, qui présente certains avantages par rapport aux miroirs de verre, notamment en ce qui concerne la réflexion des rayons ultraviolets dont on se sert dans les réactions photochimiques, sans parler de ses applications thermiques.

#### PRODUCTION D'ÉNERGIE MÉCANIQUE ET ÉLECTRIQUE PAR MOTEURS SOLAIRES (GR/9)

Il est possible, en théorie, de transformer facilement la chaleur solaire en énergie mécanique au moyen de moteurs alternatifs et de turbines, suivant des principes bien connus, en vue de l'utiliser directement, comme dans le pompage des eaux, ou de la convertir ensuite en électricité. Pourtant, ce domaine général de la technique a fait l'objet de tant de travaux qu'il se prête peut-être moins que les procédés de conversion directe, dont il sera question dans les sections suivantes, à de nouvelles découvertes et, partant, à des applications importantes.

Jusqu'ici, on n'a guère utilisé l'énergie solaire pour produire de l'énergie, encore que l'on ait mis au point, dans divers pays, de nombreux modèles expérimentaux qui se sont révélés capables de fonctionner. On peut imputer cet insuccès à plusieurs facteurs, dont les faiblesses inhérentes à la source même d'énergie (en particulier son caractère intermittent et sa faible densité), l'imperfection des moteurs et le coût prohibitif du collecteur, tout autant qu'à la concurrence des moteurs à essence, peu coûteux, et d'autres engins classiques. Certains progrès prometteurs font cependant apparaître la possibilité d'applications pratiques, notamment, dès maintenant, l'utilisation de petits appareils dans les régions peu développées, et montrent l'intérêt qu'il y a à intensifier les recherches dans ce domaine.

Pour des raisons tant économiques que techniques, il est utile de distinguer les petits moteurs, d'une puissance inférieure à 10 kilowatts par exemple, et ceux dont la puissance est de l'ordre du mégawatt. Les premiers pourraient tirer le meilleur parti du fait que l'énergie solaire est disponible gratuitement en la recueillant et en la transformant au point d'utilisation. Capables de répondre à certains besoins précis — pompage de l'eau, éclairage, etc. — pour lesquels la continuité

et les possibilités d'accumulation ne sont pas des conditions impératives, dans les régions peu développées où les sources d'énergie sont peu abondantes, ils admettent par conséquent une gamme assez étendue de prix de revient et l'emploi de méthodes techniques qui font appel à la chaleur à haute ou à basse température. Les groupes solaires de l'ordre du mégawatt, en revanche, devraient presque certainement lutter contre la concurrence des moteurs classiques qui produisent de l'électricité à bas prix — inférieur par exemple à 10 mills le kilowattheure ; on n'a pas encore construit et expérimenté de moteurs de ce genre, mais on a d'ores et déjà signalé les possibilités intéressantes offertes par les collecteurs de grande superficie opérant à basse température afin de tourner la difficulté et de remédier au coût prohibitif de l'emploi généralisé des collecteurs de concentration. On notera qu'à l'exception d'un modèle de 1 200 à 2 200 kilowatts conçu en Union soviétique, mais qui, du fait de son prix de revient (environ 2 000 dollars le kilowatt), reste à l'état de projet, aucune installation importante envisageant l'emploi de collecteurs paraboliques pour obtenir une température élevée n'a été prise sérieusement en considération ces dernières années.

Il se peut toutefois qu'en raison des températures plus élevées et, par conséquent, du rendement plus élevé du moteur qu'ils actionnent, et du perfectionnement des nouveaux réflecteurs en matière plastique et en aluminium, les collecteurs paraboliques trouvent encore un emploi dans de très petits moteurs thermiques, comme un nouveau type de moteur à air chaud (Stirling) dont la maquette a été exposée à Rome, et aussi dans certaines applications particulières. Il est intéressant de noter par exemple qu'on a établi le plan (S/27) d'un moteur solaire (de prix élevé) de 15 kilowatts destiné à être utilisé dans l'espace, où l'intensité du rayonnement est plus forte et où elle est aussi tout à fait prévisible, dont on a signalé quelques adaptations possibles à l'usage sur le col.

Les efforts récents en matière d'applications terrestres ont surtout porté sur les moyens d'éviter la dépense élevée des collecteurs paraboliques en utilisant des collecteurs de concentration plus faible ou nulle et des fluides autres que la vapeur, ainsi que des moteurs adaptés à la chaleur à basse température. C'est le cas par exemple de la pompe solaire italienne Somor, qui utilise essentiellement un collecteur plan modifié par des miroirs latéraux qui permettent une certaine concentration, et où l'anhydride sulfureux remplace la vapeur ; cette pompe a été mise sur le marché à un prix qui dépasse, semble-t-il, 1 000 dollars le kilowatt.

Mais le progrès peut-être le plus important, qui a été réalisé en Israël (S/54) et qui a fait l'objet d'une démonstration à Rome, est une petite turbine solaire dont le collecteur et la turbine sont de type nouveau et fonctionnent au moyen d'un fluide lourd (le monochlorobenzène) dont le point d'ébullition est inférieur à celui de l'eau. Dans ce générateur, d'une capacité de 2 à 10 kilowatts, la turbine a un rendement (15-20 p. 100) trois fois supérieur à celui des petits moteurs à vapeur et des turbines classiques ; les collecteurs solaires,

montés en groupes d'une longueur de 12 mètres, ont la forme de cylindres renflés en matière plastique dont la moitié de la surface intérieure est recouverte de feuilles d'aluminium afin de concentrer le rayonnement sur un tube récepteur « noir sélectif » qui traverse le cylindre et conduit à un dispositif d'accumulation de chaleur fournissant une température constante (150 °C) pour la turbine, et fonctionnant pendant la nuit à charge réduite. On évalue la dépense initiale à plein rendement (S/54) entre 513 et 1 435 dollars par kilowatt-heure installé et le coût de production entre 34 et 52 mills par kilowatt-heure, le collecteur entrant pour plus des deux tiers dans ces chiffres; ces prix se comparent favorablement au prix de revient de l'énergie produite par de petits moteurs d'autres types dans de nombreux pays.

Au dire de d'Amelio (S/99), même de simples collecteurs plans pourraient suffire à capter le rayonnement solaire et à actionner des moteurs solaires rentables non seulement si on remplace l'eau par un fluide lourd à basse température d'ébullition, mais encore si on ajoute à l'eau un fluide secondaire immiscible qui s'évapore à une température plus basse et qui emprunte de la chaleur à l'eau, laquelle agit comme une grande surface de contact d'échange de chaleur dans la « chaudière ». Après avoir traversé et actionné le moteur, la vapeur est refroidie et condensée par pompage d'eau et elle est restituée au collecteur dans un circuit fermé.

Un autre moyen, plus radical, de réduire le coût du collecteur est la « mare solaire » qui a été imaginée et qui est en cours d'expérimentation en Israël (S/47); si la méthode donne de bons résultats, le prix de revient du collecteur pourrait être ramené de 20 dollars à un dollar le mètre carré et l'énergie solaire pourrait ainsi entrer dans la catégorie tout à fait différente de la grande production. En gros, la « mare solaire » est un collecteur plan équipé d'un absorbeur à fond noir destiné à absorber la chaleur, mais où des couches d'eau de densité différente (salinité) sont stratifiées de telle manière que l'eau la plus lourde se trouve au fond et que la chaleur au fond (qui atteint 90 °C dans les expériences) ne se perd pas du fait de la convection à travers les couches supérieures jusqu'à l'atmosphère comme cela se produit dans les mares ordinaires. Comment extraire effectivement la chaleur du fond, comment empêcher les diverses couches de se mélanger par suite du brassage occasionné par le vent et d'autres causes, et comment maintenir propre une grande mare, tels sont quelques-uns des grands problèmes techniques sur lesquels on travaille, mais qui restent à résoudre.

Si on y parvient, on estime (S/47) que la chaleur à basse température d'une « mare solaire » d'un kilomètre carré de superficie pourrait servir à produire de l'énergie au prix de 10 mills le kilowatt-heure. Une mare de cette superficie pourrait, dit-on, produire annuellement quelque 30 millions de kilowatt-heures à un rendement global de conversion de 1,5 p. 100, soit l'équivalent d'une centrale de 6 000 kilowatts ayant un coefficient de charge de 58 p. 100. En se basant sur un prix de 10 mills, on a calculé indirectement que l'on peut dépenser

1 080 000 dollars pour le collecteur de la « mare » alors que, dans l'hypothèse d'un prix de 20 mills, la dépense initiale pourrait s'élever à 4,5 millions de dollars. Comme dans la plupart des grandes centrales solaires fonctionnant avec de l'eau à basse température (voir procédé de Claude) on peut également, d'après les estimations, obtenir mensuellement, comme sous-produit, 500 mètres cubes d'eau douce au prix de 0,02 dollar le mètre cube.

En conclusion, il apparaît donc que l'on ne peut, dans l'état actuel de la technique, fabriquer de l'électricité à partir de l'énergie mécanique dérivée de l'énergie solaire à un prix inférieur à environ 50 mills le kilowatt-heure, sauf peut-être dans de grandes installations fonctionnant suivant le principe des différences de basse température; situées sur les côtes ou à proximité de plans d'eau, ces installations peuvent en même temps transformer l'eau salée en eau douce et contribuer ainsi à remédier à la fois à la pénurie d'eau et à celle d'énergie.

#### CONVERSION DIRECTE DE LA CHALEUR SOLAIRE EN ÉLECTRICITÉ (GR/10)

Jusqu'ici, on a fabriqué de l'électricité à partir de la chaleur en utilisant exclusivement l'énergie mécanique pour actionner des turbines et des moteurs alternatifs. Depuis quelque temps, cependant, on a effectué de nombreuses recherches en vue de convertir directement la chaleur en électricité en se fondant sur un phénomène dont le principe est connu depuis longtemps, mais qu'il était difficile de mettre en application eu égard au rendement de conversion extrêmement bas et à d'autres problèmes. La situation est maintenant différente grâce aux progrès rapides accomplis dans le domaine de la physique des solides, à la mise au point de matériaux nouveaux aux propriétés physiques particulières (notamment les semi-conducteurs) et à d'autres découvertes. La plupart des pays avancés participent à ce mouvement, sans toutefois avoir nécessairement en vue à ce sujet la production de chaleur par l'énergie solaire.

La chaleur solaire peut être convertie directement en électricité au moyen de convertisseurs thermo-électriques ou « thermocouples » (S/10, S/12, S/55, S/84, S/103, S/118) et de convertisseurs thermo-ioniques ou thermo-électroniques (S/78, S/90). Les uns et les autres nécessitent une chaleur d'une température relativement élevée que l'on peut obtenir par concentration du rayonnement solaire et d'autres sources de chaleur, ou, plutôt, une grande différence de température entre une extrémité chaude et une extrémité froide, et ils sont soumis aux limitations thermodynamiques de ce cycle (néanmoins, le rendement est passé récemment de 1 p. 100 ou moins à 10 p. 100 environ, le point théorique utile étant de quelque 35 p. 100). Ces appareils ont aussi l'avantage de la simplicité et celui de ne pas nécessiter de pièces mobiles; ils sont légers, solides et, apparemment, durables. Ils en sont encore au stade expérimental, mais progressent grâce à l'impulsion donnée par la recherche spatiale, et ils semblent pouvoir convenir surtout quand on a besoin de petites charges de quelques watts à quelques kilowatts, suffisantes pour le pompage des eaux d'irrigation, pour certains emplois

en matière de communications et pour divers usages où la puissance demandée est faible dans les régions isolées.

Dans les générateurs thermo-électriques, on crée un courant électrique en chauffant une jonction dans un circuit ou dans une frette constituée de deux métaux ou semi-conducteurs différents et en maintenant l'autre jonction froide, par exemple au moyen d'eau pompée s'il s'agit d'une pompe à eau. Le rendement dépend dans une grande mesure des métaux employés, et plusieurs mémoires techniques ont traité de cette question. Un autre facteur fondamental est la température atteinte par le métaux et leur résistance à la chaleur; des collecteurs de forte concentration paraissent nécessaires, bien qu'une expérience française (S/55) ait été réalisée avec des collecteurs plans. Plusieurs petits groupes de moins de un kilowatt sont déjà en service dont l'un, dans le Wisconsin, est équipé d'un réflecteur simple en matière plastique (S/103).

Dans un cas au moins (S/12), on signale que la fabrication de petits générateurs thermo-électriques est passée du stade des essais à celui de l'industrialisation en vue de les utiliser comme pompes à eau dans les régions peu développées. Bien qu'il soit encore trop tôt pour tirer des conclusions précises quant à leur rentabilité, on signale dans le cas en question, comme la meilleure estimation possible actuellement, que l'énergie électrique produite par un générateur thermo-électrique solaire de la gamme des 50 à 1 000 watts revient à environ 70 à 100 mills le kilowattheure. La production en série et la longue durée d'emploi permettront peut-être de réduire sensiblement ce prix de revient.

Les perspectives en ce qui concerne le prix de revient sont moins précises s'agissant des convertisseurs thermo-ioniques. Ceux-ci fonctionnent par chauffage (jusqu'à 2 000 °C) d'une cathode qui émet alors des électrons vers une anode froide extrêmement rapprochée dans un tube à vide ou dans une chambre remplie par exemple de vapeur de césium afin de neutraliser la charge spatiale entre les électrodes. La création et l'entretien du vide, la protection des cathodes à haute température contre l'oxydation et l'obtention d'une température suffisamment élevée avec des réflecteurs solaires suffisamment bon marché sont autant de difficultés rencontrées; certains problèmes, comme celui de l'oxydation, sont aigus s'agissant des applications spatiales pour lesquelles la plupart de ces travaux sont effectués et où l'on se préoccupe moins du prix de revient. Le convertisseur à lui seul peut coûter quelque 2 000 dollars le kilowatt (S/90) mais les progrès et la fabrication en série pourraient permettre de réduire sensiblement les prix.

#### CONVERSION DIRECTE DE LA LUMIÈRE SOLAIRE EN ÉLECTRICITÉ (GR/10)

Le rayonnement solaire a une propriété qui lui est propre: il nous parvient en grande partie sous forme de lumière (ou photons à haute énergie) qui peut être transformée directement en électricité au moyen de convertisseurs photo-électriques. Il en est de deux types. L'un est la cellule photogalvanique (ou photo-chimique) qui n'a malheureusement pas encore atteint

le stade de l'application pratique mais qui, en cas de succès, aurait également l'avantage de résoudre le problème de la conservation ou de l'intermittence de l'énergie; on n'en dira pas davantage dans le présent rapport. L'autre type de convertisseur est la cellule photovoltaïque physique, dite cellule photo-électrique ou, communément, pile solaire.

La conversion photovoltaïque de l'énergie solaire a fait un grand pas en avant en 1954 quand a été inventée ce que l'on a appelé le cellule solaire au silicium, qui a fait passer le rendement de moins de 1 p. 100 à quelque 6 p. 100. De grands progrès ont été réalisés depuis lors et les cellules sont fabriquées industriellement dans plusieurs pays.

Le domaine d'application peut-être le plus spectaculaire des cellules solaires est celui de la recherche spatiale, où elles fournissant l'énergie nécessaire aux transmetteurs radio des satellites dont l'un fonctionne depuis plus de trois ans. Les cellules solaires sont également utilisées en grand nombre sur la terre quand il s'agit de produire de petites quantités d'énergie comme pour postes récepteurs de radio et d'autres moyens de communications. Au Japon par exemple, six stations relais et huit phares ont été équipés de piles solaires au cours de la période 1958-1960 (S/11). Dans ces divers cas, les cellules solaires sont reliées à des batteries d'accumulation afin de régulariser le courant et aussi de fournir de l'énergie même en dehors des périodes d'ensoleillement.

Depuis longtemps d'un emploi courant dans les pose-mètres, les cellules solaires qui produisent actuellement de l'énergie fonctionnent de la manière suivante. Un courant électrique se crée quand la lumière du soleil atteint une matière sensible dans une cellule photovoltaïque à couche d'arrêt faite de matériaux de valence différente, comme le silicium, de valence quatre, l'arsenic, de valence cinq, et le bore, de valence trois; la lumière atteint la jonction ( $p-n$ ) des couches séparant les électrons négatifs des charges positives et un courant électrique passe dans des fils reliés aux couches. La plupart des cellules solaires ont été fabriquées jusqu'ici à partir de silicium monocristallin en pellicules minces, mais, comme il ressort des rapports techniques (S/11, S/40, S/44, S/56, S/65, S/106, S/118), on a expérimenté plusieurs matériaux.

L'énergie produite par des cellules photo-électriques est encore trop onéreuse pour l'usage ménager et on s'en sert surtout dans des cas spéciaux où il s'agit de produire de petites charges. Il est significatif que le coût initial est généralement exprimé par watt plutôt que par kilowatt. Mais les prix de revient ont été réduits considérablement, en partie grâce à l'augmentation du rendement, qui atteint maintenant de 12 à 14 p. 100, au moyen de cellules dites à contacts réticulaires et de l'emploi d'une bande plus large du spectre solaire (S/44, S/65). Aux Etats-Unis par exemple, on signale que le prix de revient par watt de capacité des cellules au silicium est passé de 500 dollars en 1958 à 275 dollars en 1960 et à 175 dollars en 1961 (S/65); au Japon cependant, une cellule entièrement équipée avec batterie et systèmes de contrôle coûte actuellement environ

130 dollars par watt et on espère réduire ce prix d'un tiers dans peu de temps (S/11). Même à ce prix, l'énergie produite est compétitive dans certains cas quand l'autre solution consisterait à construire des lignes de transport de courant à faible puissance (S/11, S/44), ce qui serait peu économique, ou à se passer totalement d'électricité.

Il faudra réduire encore sensiblement le coût, qui est actuellement de 100 000 dollars ou plus par kilowatt, avant que l'énergie ainsi produite puisse avoir des applications importantes. Des progrès remarquables sont réalisés dans cette voie. On a notamment effectué des expériences de concentration du rayonnement solaire qui ont montré (GR/10) que la production peut être augmentée 20 fois; mais, si l'on concentre inten-

sément le rayonnement, il faut refroidir la cellule solaire afin d'éviter l'effet préjudiciable de la chaleur sur le rendement.

Parmi les autres progrès réalisés, il faut citer la recherche de matériaux autres que le silicium pur, très onéreux, et en particulier la substitution au silicium monocristallin de silicium polycristallin appliqué suivant des techniques peu coûteuses. Plusieurs rapports (S/44, S/56, S/106) font état des possibilités d'une découverte révolutionnaire: l'utilisation de fines pellicules de cadmium sulfuré, ce qui pourrait éventuellement placer les cellules photo-électriques dans une catégorie entièrement nouvelle et peut-être même ramener leur prix de revient au-dessous de 1 000 dollars par kilowatt, ce qui leur ouvrirait l'accès de l'usage domestique rentable.

## EMPLOI COMBINÉ DE DIVERSES SOURCES D'ÉNERGIE ET PROBLÈMES D'EMMAGASINAGE DE L'ÉNERGIE

De nombreux mémoires ont souligné que le caractère intermittent de la source d'énergie est peut-être l'obstacle le plus grave à l'utilisation pratique de l'énergie solaire et de l'énergie éolienne<sup>1</sup>. Sauf quand l'intermittence importe assez peu, comme dans le pompage de l'eau d'irrigation, ou quand il est possible de s'en accommoder autrement, on peut donc avoir à résoudre le problème qu'elle pose avant de donner à la source d'énergie une application courante pour des besoins qui nécessitent un approvisionnement continu ou des périodes d'emploi déterminées. L'idéal est de trouver un moyen économique de remédier à l'intermittence en mettant en réserve l'énergie (ou le produit utilisable de l'énergie) fournie par la source en question. On peut également combiner plusieurs sources d'énergie, mais en augmentant le nombre des appareils destinés à convertir l'énergie brute en une forme utilisable et interchangeable d'énergie.

Il est impossible d'emmagasiner l'énergie solaire ou éolienne brute en tant que telle pour la transformer ensuite en électricité. Ce qui s'en approcherait le plus, dans le cas de l'énergie solaire, serait d'accumuler de la chaleur, mais il faudrait pour cela atteindre un degré élevé d'isolation calorifique pour la chaleur à haute température et résoudre également d'autres problèmes, entreprise qui ne semble pas avoir dépassé le stade décrit plus haut à propos des moteurs thermiques fonctionnant au moyen de l'énergie solaire. En fait, dans le système à appareil unique, on transforme l'énergie brute et on emmagasine le produit.

La méthode la plus connue consiste naturellement à utiliser les batteries d'accumulateurs électriques. Ces batteries jouent un rôle utile quand on a besoin de petites quantités d'énergie ; malheureusement, elles n'ont aucun caractère économique important en fonction de leurs dimensions et n'ont fait l'objet d'aucune découverte technique récente qui promette une réduction vraiment draconienne du prix de revient qu'Evans (GEN/3) évalue à 13,50 dollars par an et par kilowattheure de capacité d'accumulation.

Plus prometteurs peut-être sont les nombreux et importants travaux consacrés à ce qu'on appelle les cellules électrochimiques. D'après les descriptions qui en sont faites dans les mémoires techniques, ces cellules peuvent se diviser en deux types fondés respectivement sur le principe de l'électrolyse et celui de la régénération thermique.

La première catégorie comprend les cellules à hydro-

<sup>1</sup> La présente section traite presque uniquement de la production d'énergie, le problème de l'accumulation de chaleur en vue d'applications thermiques ayant été examiné ci-dessus à propos de l'énergie solaire seulement. L'énergie géothermique est accumulée naturellement dans le sol et ne pose pas de problèmes d'intermittence.

gène-oxygène (GEN/3 et 9) dans lesquelles l'électricité produite par l'énergie solaire ou éolienne, ou par une autre source, sert à l'électrolyse de l'eau, ou d'autres substances chimiques dans des systèmes analogues, l'hydrogène et l'oxygène obtenus étant alors emmagasinés à part et pouvant être combinés de nouveau plus tard pour produire de l'électricité dans une cellule électrochimique qui à l'avantage de ne pas avoir de pièces mobiles et, surtout, d'avoir un rendement élevé. Jusqu'ici, on n'a pas combiné dans un même appareil l'électrolyseur et la cellule génératrice (GEN/9) et aucune cellule n'est encore sur le marché. Bien que certains problèmes restent à résoudre, les cellules électrochimique de cette catégorie peuvent être appelées à jouer un grand rôle (car elles ont également un rendement élevé dans l'utilisation de combustibles classiques), surtout une fois qu'on aura réduit leur prix de revient. D'après Evans (GEN/3), par exemple, le prix de revient annuel de la cellule électrochimique et de l'électrolyseur pourrait être ramené d'environ 100 dollars à 30 dollars par kilowatt même pour des appareils relativement petits, cependant que Bacon (GEN/9) évalue la dépense totale d'équipement à environ 325 dollars par kilowatt pour une installation de 100 kilowatts ; le même auteur estime qu'il serait prématuré d'employer ces cellules dans les pays sous-développés et il doute qu'elles puissent concurrencer les petits moteurs diesel, sauf dans les pays où le pétrole coûte relativement cher. Cependant de nombreuses recherches sont en cours dans ce domaine auquel on s'intéresse de près dans bien des milieux.

Les cellules électrochimiques à régénération thermique (GEN/2 et 14) ou cellules galvaniques à réversion thermique fonctionnent suivant un cycle fermé et sont rechargées par la chaleur plutôt que par un courant électrique d'origine extérieure. Elles combinent en un seul appareil la production d'électricité, la régénération (ou séparation de l'hydruure de lithium ou d'autres substances chimiques en vue d'une nouvelle combinaison ultérieure et de production d'énergie) et l'accumulation ; elles sont encore au premier stade expérimental, mais peuvent trouver des applications intéressantes en relation avec une haute concentration de rayonnement solaire fournissant la chaleur.

D'autres travaux de recherche relatifs à l'énergie solaire ont pour objet de découvrir des solutions au moyen de la conversion photochimique et de l'accumulation (GEN/2), y compris la séparation par photolyse plutôt que par électrolyse. S'ils aboutissent, les procédés mis au point résoudraient aussi le problème de l'emmagasinement. Toutefois, la méthode photochimique n'a encore donné, en dehors du phénomène naturel de la photosynthèse, aucun résultat pratique dont on puisse tirer parti pour des applications généralisées de l'énergie.

En fait, suivant les conclusions de Daniels (GR/2),

« il est clair qu'il n'y a pas lieu de s'attendre dans l'immédiat à de nouveaux progrès technologiques en matière d'emmagasinage de l'énergie, susceptibles de se traduire par des progrès économiques sensationnels ». Mais, toujours suivant Daniels, les progrès théoriques accomplis sont encourageants et finiront peut-être par se matérialiser sous forme d'appareils utilisables.

Entre temps, on peut trouver des solutions pratiques au problème de l'intermittence en combinant des sources d'énergie différentes, c'est-à-dire en obtenant de l'énergie de plus d'une source. De nombreuses possibilités se présentent dans cette direction.

De grands réseaux électriques peuvent facilement absorber la production intermittente, comme on l'a vu à propos de l'énergie éolienne. Les sources d'énergie intermittentes permettent alors d'économiser du combustible et de conserver l'eau. On peut appliquer des principes analogues sur une échelle plus réduite : dans le cas de l'emmagasinage mécanique, on fait monter de l'eau en un point plus élevé par pompage en vue de produire ensuite de l'énergie au moyen d'une petite turbine hydraulique ; on peut aussi comprimer de l'air pour utiliser ultérieurement l'énergie mécanique, ou encore accumuler l'hydrogène obtenu par électrolyse au moyen de l'énergie éolienne ou solaire et le substituer à d'autres combustibles dans les moteurs à combustion.

On peut multiplier les combinaisons, en sorte que l'énergie nécessaire soit produite entièrement par des sources d'énergie locale [voir l'étude détaillée de Golding (GEN/5)]. Cette méthode offre de nombreux avantages : outre qu'on élimine aussi les frais de distribution, on peut remédier à l'intermittence et, en particulier, produire de l'énergie à l'usage de multiples petites collectivités dans les pays sous-développés qui ne connaissent que l'énergie manuelle et ne bénéficient pas des commodités les plus simples. Dans ces conditions, il est nécessaire d'examiner attentivement à l'avance les conditions et les périodes de demande d'énergie, de manière à utiliser au mieux les différents appareils et sources d'énergie locale et à fournir les charges essentielles selon un horaire précis s'il n'y a absolument pas moyen de s'accommoder de l'intermittence.

Cependant, on a peut-être trop insisté sur le problème de l'intermittence et, par conséquent, sur celui de la conservation de l'énergie, qui peut revenir bien plus cher que la production même d'énergie. Cela semble être le cas notamment dans les collectivités rurales des régions sous-développées où, comme le fait observer Kapur (GEN/8), la question de l'intermittence n'est pas aussi importante et où « ce qu'il faut faire, c'est créer les conditions de travail et d'effort productif les meilleures, compte tenu des limitations actuelles de la recherche et du développement ».

## **ANNEXES**



# ANNEXE 1

## Ordre du jour

### Conférence des Nations Unies sur les sources nouvelles d'énergie

#### Energie solaire. — Energie éolienne. — Energie géothermique

(21 - 31 août 1961)

Lundi 21 août  
17 heures

#### Séance d'ouverture

Mardi 22 août  
10 heures

#### I. Séance générale : Sources nouvelles d'énergie et production d'énergie

#### II. Séances techniques sur l'utilisation des sources nouvelles pour la production d'électricité

#### III. Séances techniques sur l'utilisation de l'énergie solaire à des fins autres que la production d'énergie mécanique et d'électricité

##### II.A. Energie géothermique

16 heures

II.A.1. Prospection des champs géothermiques et recherches nécessaires pour évaluer la puissance utilisable : description des champs connus — prospection préliminaire — recherche en vue de l'évaluation.

III.A. Energie solaire disponible et instruments de mesure : données sur le rayonnement — réseaux — instruments.

Mercredi 23 août  
10 heures

II.A.2. Exploitation de l'énergie géothermique et production d'électricité au moyen de l'énergie géothermique :

III.B. Matières nouvelles employées dans l'utilisation de l'énergie solaire : matières plastiques, métaux, verre, surfaces sélectives et autres matières.

- a) Procédés d'exploitation de l'énergie géothermique ; matériel nécessaire ;
- b) Utilisation de l'énergie géothermique pour la production de l'électricité.

15 h 30

II.A.3. Utilisation de l'énergie géothermique pour le chauffage ; systèmes combinés pour la production d'électricité et le chauffage, avec éventuellement extraction de sous-produits :

- a) Chauffage ;
- b) Systèmes combinés et sous-produits.

III.C. Emploi de l'énergie solaire pour le chauffage :

1. Chauffage de l'eau ;
2. Chauffage des locaux.

Jeudi 24 août  
10 heures

II.A.4. Examen général et résumé concernant des problèmes et des résultats d'énergie géothermique ; séance plénière.

##### II.B. Energie éolienne

16 heures

II.B.1. Etude du comportement des vents et recherches de sites appropriés pour les installations éoliennes.

III.C. Emploi de l'énergie solaire pour le chauffage (suite) :

3. Séchage par la chaleur solaire ;
4. Cuisinières solaires ;
5. Accumulation de chaleur.

Vendredi 25 août  
10 heures

II.B.2. Plans et essais d'installations éoliennes :

- a) Plans ;
- b) Essais.

III.D. Emploi de l'énergie solaire pour la production de froid :

1. Conservation des aliments par réfrigération ;
2. Refroidissement et déshumidification des locaux.

16 heures

II.B.3. Utilisation de l'énergie éolienne : progrès récents et améliorations possibles :

- a) Usages domestiques et autres usages individuels ;
- b) Services collectifs (installations isolées et installations associées à des centrales de type classique) ;
- c) Interconnexion avec les réseaux électriques.

III.F. Application de l'énergie solaire aux opérations à haute température (fours solaires) : Matériel, recherches, utilisations possibles.

<i>Lundi 28 août</i> 10 h 30	II.B.4. Examen général et résumé des problèmes et des résultats concernant l'énergie éolienne ; séance plénière.	
	II.C. <i>Energie solaire</i>	
16 heures	II.C.1. Utilisation de l'énergie solaire pour la production d'énergie mécanique et d'électricité : a) Au moyen de moteurs alternatifs et de turbines.	
<i>Mardi 29 août</i> 10 heures	II.C.1. Utilisation de l'énergie solaire pour la production d'énergie mécanique et d'électricité ( <i>suite</i> ) : b) Par conversion directe en électricité : i) Au moyen de convertisseurs thermo-électriques ; ii) Au moyen de cellules photo-électriques.	III.E. Emploi de l'énergie solaire pour la production d'eau douce : distillateurs de petite et de grande dimension.
16 heures	II.D. Emploi combiné de diverses sources d'énergie ; problèmes d'emmagasinement de l'énergie : 1. Emploi combiné de diverses sources d'énergie ; 2. Problèmes d'emmagasinement de l'énergie.	
<i>Mercredi 30 août</i> 10 heures		III.G. Examen général et résumé des problèmes et des résultats concernant l'utilisation de l'énergie solaire à des fins autres que la production d'énergie mécanique et d'électricité ; séance plénière.
16 heures	III.G. ( <i>suite</i> ) et II.C.2. Examen général et résumé des problèmes et des résultats relatifs à l'utilisation de l'énergie solaire pour la production d'énergie mécanique et d'électricité : séance plénière.	
<i>Jeudi 31 août</i> 10 heures	<b>Séance de clôture</b>	

## ANNEXE 2

### Bureau de la Conférence

<i>Présidents</i>	<i>Points de l'ordre du jour</i>
S. E. M. Egidio Ortona Ambassadeur extraordinaire et plénipotentiaire Directeur général, Département des affaires économiques Ministère des affaires étrangères Gouvernement de l'Italie	Séance d'ouverture
D <sup>r</sup> Ibrahim Helmi Abdel-Rahman Director Institute of National Planning 5 Sh. Zaki Le Caire (République arabe unie)	III.B
M. Pierre J. Ailleret Directeur général adjoint de l'Electricité de France 12, place des Etats-Unis Paris XVI <sup>e</sup> (France)	II.D
M. H. Christopher H. Armstead Senior Co-ordinating Engineer Merz and McLellan Milburn, Esher Surrey (Angleterre)	II.A.2
D <sup>r</sup> Freddy Ba Hli Director General Union of Burma Applied Research Institute Kanbe, Yankin P.O. Rangoon (Birmanie)	III.C.3 III.C.4 III.C.5
Professeur Valintin A. Baum Directeur adjoint Institut Krjijanovsky d'électricité Directeur du laboratoire de recherche solaire Leninsky Prospect 19 Moscou (URSS)	III.F
D <sup>r</sup> Emanuele Cambilargiu Professeur de dynamique éolienne Ecole d'ingénieurs Montevideo (Uruguay)	II.B.2
D <sup>r</sup> Averardo Chierici Directeur général « Larderello » S.p.A. Lungarno Pacinotti 16 Pise (Italie)	II.A.4
D <sup>r</sup> Farrington Daniels Professor Emeritus, Chemistry Solar Energy Laboratory Engineering Experiment Station Mechanical Engineering Building University of Wisconsin Madison 6 (Wisconsin) [Etats-Unis d'Amérique]	II.C.2 III.G
Sir Vincent Z. de Ferranti Chairman, International Executive Council of World Power Conference Henbury Hall Macclesfield Cheshire (Angleterre)	I

<i>Présidents</i>	<i>Points de l'ordre du jour</i>
M. Andrew J. Drummond Chief Research Physicist The Eppley Laboratory, Inc. 12 Sheffield Avenue Newport (Rhode Island) [Etats-Unis d'Amérique]	III.A
Professor Carlo Garbato 15 Via Pietro A. Mascagni Milan (Italie)	II.A.3
Profesor Julio G. Hirschmann Vicerrector Universidad Técnica Federico Santa María Casilla 110-V Valparaiso (Chili)	III.E
Dr K. Langlo Chef de la division technique Organisation météorologique mondiale Genève (Suisse)	II.B.1
Professeur Henri Masson Doyen de la Faculté des sciences de Dakar Sénégal	II.C.1
M. Roger N. Morse Officer in Charge Commonwealth Scientific and Industrial Research Organization Engineering Section P.O. Box 26 Highett (Victoria) [Australie]	III.C.1 III.C.2
M. Teodoro Oniga Directeur du Centre d'études de mécanique appliquée (CEMA) Ladeira dos Tabajaras, 94-Apart. 705 Guanabara Rio de Janeiro (Brésil)	III.D
M. David Owen Président-Directeur Bureau de l'assistance technique Organisation des Nations Unies	Séance de clôture
M. Peder Gerhard Poulsen-Hansen Directeur général Association danoise des centrales électriques Président de la Commission danoise de l'énergie éolienne Livjaerggade 22 Copenhague (Danemark)	II.B.3
M. Frank E. Studt Principal Scientific Officer New Zealand Department of Scientific and Industrial Research P.O. Box 8018 Wellington (Nouvelle-Zélande)	II.A.1
Professor M. S. Thacker Director-General Council of Scientific and Industrial Research Professor Emeritus, Chemistry New Delhi (Inde)	II.B.4
	<i>Points de l'ordre du jour</i>
	III.C.1, b
<i>Rapporteurs</i>	
Professeur Valentin A. Baum Directeur adjoint Institut Krjijanovski d'électricité Chef du laboratoire de recherche solaire Leninsky Prospect 19 Moscou (URSS)	

<i>Rapporteurs</i>	<i>Points de l'ordre du jour</i>
Profesor Pedro Blanco Director Comisión Nacional de Energías Especiales Ortega y Gasset, 40 Madrid 6 (Espagne)	III.A
Dr Gunnar Bodvarsson Chef du Bureau de l'énergie thermique naturelle Direction de l'énergie électrique Boîte postale 40 Reykjavik (Islande)	II.A.3
Dr Farrington Daniels Professor Emeritus, Chemistry Solar Energy Laboratory Engineering Experiment Station Mechanical Engineering Building University of Wisconsin Madison 6 (Wisconsin) [Etats-Unis d'Amérique]	II.D.2
Le Père Emmanuel S. de Breuvery, S.J. Directeur, Ressources et transports Département des affaires économiques et sociales Organisation des Nations Unies	I II.A.4 II.B.4 II.C.2-III.G
Dr John A. Duffie Director Solar Energy Laboratory Mechanical Engineering Building University of Wisconsin Madison 6 (Wisconsin) [Etats-Unis d'Amérique]	III.B
Profesor Jesús Ruiz Elizondo Comisión Nacional de Energía Nuclear Ana María Mier N.º 13 Mexico 12 (D. F.) [Mexique]	II.A.1
M. Edward W. Golding The Electrical Research Association Danes Inn House 265 Strand Londres W.C. 2 (Angleterre)	II.B.1 II.D.1
M. Cyril Gomella Ingénieur conseil 5, rue Berthezène Alger (Algérie)	III.E
Dr Ulrich Hütter Professor, Technische Hochschule Stuttgart Holzgartenstrasse 9A Stuttgart-N., Wuerttemberg République fédérale d'Allemagne	II.B.3
Dr George O. G. Löf Consulting Chemical Engineer 512 Farmers' Union Building Denver 3 (Colorado) [Etats-Unis d'Amérique]	III.C.2 III.C.3 III.C.4
Dr Kailash N. Mathur Director Central Scientific Instruments Organization Council of Scientific and Industrial Research Rafi Marg New Delhi 1 (Inde)	III.C.5
Dr Isao Oshida Director Kobayashi Institute of Physical Research 2431 Kokubunji Kitatama-gun Tokyo (Japon)	III.C.1

M. John H. Smith Geothermal Engineer Ministry of Works P.O. Box 8024 Wellington (Nouvelle-Zélande)	II.A.2
Dr Harry Tabor Directeur Laboratoire national israélien de physique Bâtiment Danziger Hebrew University Jérusalem (Israël)	II.C.1, a III.D
M. Félix Trombe Directeur de recherches Centre national de la recherche scientifique 37, boulevard Saint-Michel Paris V <sup>e</sup> (France)	III.F
Dr Louis Vadot NEYRPIC - SOGREA Grenoble (Isère) [France]	II.B.2

### ANNEXE 3

#### Nombre de personnes ayant pris part à la Conférence

*Classées par pays ou par territoire <sup>a</sup>*

Afghanistan . . . . .	2	Indonésie . . . . .	1	Salvador . . . . .	4
Afrique du Sud . . . . .	2	Irak . . . . .	1	Sénégal . . . . .	4
Antilles néerlandaises . . . . .	1	Iran . . . . .	1	Soudan . . . . .	1
Arabie Saoudite . . . . .	3	Islande . . . . .	4	Suède . . . . .	9
Argentine . . . . .	1	Israël . . . . .	11	Suisse . . . . .	6
Australie . . . . .	4	Italie . . . . .	87	Tanganyika . . . . .	1
Autriche . . . . .	1	Jamaïque . . . . .	1	Tchécoslovaquie . . . . .	2
Belgique . . . . .	7	Japon . . . . .	14	Thaïlande . . . . .	2
Bermudes . . . . .	1	Jordanie . . . . .	1	Tunisie . . . . .	1
Birmanie . . . . .	1	Kenya . . . . .	1	Turquie . . . . .	1
Bolivie . . . . .	2	Liban . . . . .	4	Union des Républiques socialistes soviétiques . . . . .	2
Brésil . . . . .	2	Libye . . . . .	1	Uruguay . . . . .	1
Bulgarie . . . . .	1	Luxembourg . . . . .	2	Venezuela . . . . .	1
Canada . . . . .	3	Madagascar . . . . .	1	Yougoslavie . . . . .	3
Ceylan . . . . .	1	Mali . . . . .	3		
Chili . . . . .	4	Maroc . . . . .	5		
Chine: Taïwan . . . . .	3	Mexique . . . . .	3	<i>Institutions spécialisées</i>	
Colombie . . . . .	2	Niger . . . . .	2	Organisation internationale du Tra- vail . . . . .	1
Congo (Léopoldville) . . . . .	2	Nigéria . . . . .	3	Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agricul- ture . . . . .	8
Côte-d'Ivoire . . . . .	1	Nouvelle-Zélande . . . . .	5	Organisation des Nations Unies pour l'éducation, la science et la culture . . . . .	2
Danemark . . . . .	2	Pakistan . . . . .	1	Organisation mondiale de la santé .	1
Equateur . . . . .	2	Pays-Bas . . . . .	5	Organisation météorologique mon- diale . . . . .	3
Espagne . . . . .	7	Pérou . . . . .	1	Agence internationale de l'énergie atomique . . . . .	1
Etats-Unis d'Amérique . . . . .	63	Philippines . . . . .	3		
Fidji . . . . .	1	Pologne . . . . .	2		
France <sup>b</sup> . . . . .	57	Portugal . . . . .	1		
Gabon . . . . .	1	République arabe unie . . . . .	8		
Ghana . . . . .	3	République fédérale d'Allemagne .	7		
Grèce . . . . .	5	Royaume-Uni de Grande-Bretagne et d'Irlande du Nord . . . . .	16		
Hongrie . . . . .	2				
Inde . . . . .	11				

<sup>a</sup> Normalement par lieu de résidence, à l'exception des personnes ayant donné comme adresse des ambassades, des représentants des institutions spécialisées des Nations Unies et d'autres personnes telles que des étudiants ou chercheurs résidant à l'étranger et ayant donné leur adresse dans leur pays d'origine.

<sup>b</sup> Parmi lesquels 11 venant d'Algérie.

## ANNEXE 4

### Liste des documents de séance classés par points de l'ordre du jour<sup>a</sup>

#### Point I de l'ordre du jour

##### Les sources nouvelles d'énergie dans le cadre du développement énergétique

- RAPPORT GÉNÉRAL : Rapporteur E. S. de Breuvery, GR/1 (GEN).  
Les aspects sociaux des sources d'énergie (vue à long terme) :  
*I. H. Abdel-Rahman* (République arabe unie), GEN/11.
- L'abondance des flux naturels d'énergie et le choix entre les  
moyens de les capter : *P. J. Ailleret* (France), GEN/12.
- Réflexions sur la valeur économique de l'énergie d'origine géo-  
thermique, éolienne et solaire, en particulier après transforma-  
tion en énergie électrique : *A. M. Angelini* (Italie), GEN/1.
- L'énergie, gage de progrès pour les pays sous-développés : *H.*  
*Hartley* (Royaume-Uni), GEN/4.
- Considérations sociales et économiques ayant trait à la mise en  
œuvre de l'énergie solaire dans les régions sous-développées :  
*J. C. Kapur* (Inde), GEN/8.
- Les problèmes posés par la fourniture d'énergie aux pays sous-  
développés, en tenant particulièrement compte des sources  
nouvelles de force motrice : *H. F. Mueller* (République fédé-  
rale d'Allemagne), GEN/7.
- Les nouvelles sources d'énergie et l'économie énergétique du  
globe : *B. C. Netschert* et *G. O. G. Löf* (Etats-Unis d'Amé-  
rique), GEN/10.
- L'énergie : ses nouvelles sources et leur mise en œuvre : *M. S.*  
*Thacker* (Inde), GEN/15.

#### Point II.A.1 de l'ordre du jour

##### Prospection des champs géothermiques et recherches nécessaires pour évaluer la puissance utilisable

- RAPPORT GÉNÉRAL : Rapporteur *J. Ruiz Elizondo*, GR/3 (G).
- Méthodes d'essai concernant les puits de vapeur et d'eau : *V. V.*  
*Averiev* (Union des Républiques socialistes soviétiques), G/74.
- Puits géothermiques — Recherches physiques : *C. J. Banwell*  
(Nouvelle-Zélande), G/53.
- Sur l'étude structurale de la zone de Roccastrada pour recherche  
de vapeur par les méthodes géophysique, gravimétrique et  
électrique : *F. Battini* et *P. Menut* (Italie), G/26.
- Caractéristiques physiques des ressources thermiques naturelles  
de l'Islande : *G. Bodvarsson* (Islande), G/6.
- Exploration des températures du sous-sol en Islande : *G. Bod-*  
*varsson* et *G. Palmason* (Islande), G/24.
- Prospection des champs géothermiques et recherches nécessaires  
à leur valorisation, exécutées dans les diverses régions d'Italie :  
*R. Burgassi* (Italie), G/65.

<sup>a</sup> Sous chaque point de l'ordre du jour, le rapport général du rapporteur, qui a le même titre que le point de l'ordre du jour, figure en tête de la liste ; il est suivi des différents documents relatifs à la question.

Ces documents sont classés par ordre alphabétique des noms d'auteurs ; pour chaque document sont marqués le titre, le nom de l'auteur et de son pays et sa cote.

Les cotes des documents sont abrégées par élimination du préfixe E/CONF.35/ qui précède normalement les symboles « GR », « GEN », « G », « W » et « S » lorsque la cote est complète.

Prospection géothermique pour la recherche des forces endo-  
gènes : *R. Burgassi*, *F. Battini* et *J. Mouton* (Italie), G/61/  
Rev.1.

Contribution des méthodes géophysiques à la prospection des  
champs géothermiques : *J. J. Breusse* (France), G/25.

Aspects géochimiques des sources thermales du Salvador : *G.*  
*Christmann* (Salvador), G/10.

Energie géothermique au Mexique : *L. F. de Anda*, *J. I. Septién*  
et *J. Ruiz Elizondo* (Mexique), G/77.

Milieu géologique des régions hyperthermiques des Etats-Unis  
continentaux. Suggestions en vue de leur prospection pour la  
fourniture d'énergie géothermique : *L. C. Decius* (Etats-Unis  
d'Amérique), G/48.

Recherches en vue de la mise en œuvre de l'énergie géothermique  
à Waiotapu, Nouvelle-Zélande : *N. D. Dench* (Nouvelle-Zélande),  
G/17.

Eléments scientifiques dans les recherches et l'exploitation géo-  
thermiques : *D. Doyle* et *F. E. Studt* (Nouvelle-Zélande),  
G/55.

Notes sur l'activité géothermique au Salvador : *F. Durr* (Salva-  
dor), G/11.

Programmes d'exploration géothermique : *F. Durr* (Salvador),  
G/20.

Puits géothermiques — études chimiques : *A. J. Ellis* (Nouvelle-  
Zélande), G/42.

Géologie et géochimie des champs géothermiques : *G. Facca* et  
*F. Tonani* (Italie), G/67.

Recherches préliminaires sur le champ géothermique de Rabaul  
pour la production d'énergie électrique : *A. C. L. Fooks* (Nou-  
velle-Zélande), G/12.

Géologie des gîtes de vapeur géothermique en Nouvelle-Zélande :  
*G. W. Grindley* (Nouvelle-Zélande), G/34.

Statut actuel de l'utilisation de l'énergie géothermique et rôle de  
l'énergie géothermique dans l'économie énergétique du Japon :  
*H. Harada* et *T. Mori* (Japon), G/57.

Considérations géologiques et énergie géothermique dans la  
région volcanique de Taupo, Nouvelle-Zélande : *J. Healy*  
(Nouvelle-Zélande), G/28.

Géologie isotopique dans les régions hydrothermiques de la  
Nouvelle-Zélande : *J. R. Hulston* (Nouvelle-Zélande), G/31.

Variante des techniques de détermination de l'enthalpie et du  
débit en poids : *R. James* (Nouvelle-Zélande), G/30.

Echantillonnage des produits des puits géothermiques : *W. A. J.*  
*Mahon* (Nouvelle-Zélande), G/46.

Application de la photogéologie à la prospection des gîtes de  
vapeur naturelle : *E. Marchesini* (Italie), G/69.

Les anomalies thermiques et les champs géothermiques dans le  
cadre des intrusions récentes en Toscane : *G. Marinelli* (Italie),  
G/58.

Considérations géologiques au sujet de la région thermique dite  
« The Geysers » en Californie : *J. R. McNitt* (Etats-Unis  
d'Amérique), G/3.

- Echantillonnage et analyse de gaz des sources naturelles de vapeur : *R. G. C. Nencetti* (Italie), G/76.
- Echantillonnage et analyse des eaux de sources thermales ou provenant de manifestations vaporifères : *R. G. C. Nencetti* (Italie), G/73.
- Méthodes et dispositifs de mesure en tête des puits employés au champ géothermique de Larderello après éruption d'un sondage : *R. G. C. Nencetti* (Italie), G/75.
- Les eaux hyperthermiques de Paoujetsk, dans la presqu'île du Kamtchatka, sources d'énergie géothermique : *B. I. Piip, V. V. Ivanov et V. V. Averiev* (Union des Républiques socialistes soviétiques), G/38.
- Résultats des forages exécutés au lac de lave de Kilauea Iki dans l'Etat d'Hawaii — possibilités de production d'énergie ressortant de ces travaux : *D. E. Rawson et W. P. Bennett* (Etats-Unis d'Amérique), G/5.
- Analyses chimiques et exigences quant aux laboratoires : expérience acquise dans les régions hydrothermiques de la Nouvelle-Zélande : *J. A. Ritchie* (Nouvelle-Zélande), G/29.
- Les champs géothermiques actuellement connus au Japon : *M. Saito* (Japon), G/1.
- Rôle des méthodes de prospection, particulièrement d'ordre géophysique, et résultats obtenus dans les champs géothermiques japonais : *K. Sato* (Japon), G/23.
- Prospection géophysique dans les champs hydrothermiques de la Nouvelle-Zélande : *F. E. Studt* (Nouvelle-Zélande), G/33.
- Prospection des champs hydrothermiques par étude de l'activité thermique en surface : *G. E. K. Thompson, C. J. Banwell, G. B. Dawson et D. J. Dickinson* (Nouvelle-Zélande), G/54.
- Evaluation préliminaire des champs géothermiques par la géochimie et la géologie, complétées par le forage de puits peu profonds : *D. E. White* (Etats-Unis d'Amérique), G/2.
- Prospection chimique des régions de sources chaudes pour l'utilisation de la vapeur géothermique : *S. H. Wilson* (Nouvelle-Zélande), G/35.
- Point II.A.2 de l'ordre du jour**
- Exploitation de l'énergie géothermique et production d'électricité au moyen de l'énergie géothermique**
- RAPPORT GÉNÉRAL : Rapporteur *J. H. Smith*, GR/4 (G).
- II.A.2, a. *Procédés d'exploitation de l'énergie géothermique ; matériel nécessaire*
- Mise au point et utilisation d'un séparateur vapeur-eau destiné à être utilisé en liaison avec des puits géothermiques : *P. Bangma* (Nouvelle-Zélande), G/13.
- Protection contre les éruptions et autres aspects de la sécurité dans le forage des puits à vapeur géothermique : *R. S. Bolton* (Nouvelle-Zélande), G/43.
- Forage à air comprimé dans les sondages pour la recherche des vapeurs géothermiques : *R. Contini et U. Cigni* (Italie), G/70.
- Méthodes d'exploitation de l'énergie géothermique et équipement nécessaire : *R. Contini* (Italie), G/71.
- Techniques de perforation géothermique à Wairakei, Nouvelle-Zélande : *S. B. Craig* (Nouvelle-Zélande), G/14.
- Silencieux pour les puits de vapeur géothermique : *N. D. Dench* (Nouvelle-Zélande), G/18.
- Méthodes et matériel pour l'exploitation de l'énergie géothermique à la centrale de « The Geysers » (Californie) [Etats-Unis] : *E. F. English* (Etats-Unis d'Amérique), G/51.
- Matériel en service au projet de mise en œuvre de l'énergie géothermique à Wairakei, Nouvelle-Zélande : *W. M. Fisher* (Nouvelle-Zélande), G/49.
- Mise au point de tubages de puits pour les forages géothermiques de Wairakei, Nouvelle-Zélande : *A. C. L. Fooks* (Nouvelle-Zélande), G/16.
- Recherches sur la corrosion en milieu hydrothermique à Wairakei, Nouvelle-Zélande : *P. K. Foster, T. Marshall et A. Tombs* (Nouvelle-Zélande), G/47.
- Mesure du débit des puits, des températures et des pressions de fond, ainsi que des écoulements superficiels de chaleur à Wairakei : *A. M. Hunt* (Nouvelle-Zélande), G/19/Rev.
- Organisation des mesures et entretien des puits dans un champ de vapeur géothermique en exploitation : *I. A. Innes* (Nouvelle-Zélande), G/15.
- Travaux de perforation en vue de l'exploitation de la vapeur naturelle et de l'eau chaude en Islande : *T. Karlsson* (Islande), G/36.
- La perforation « rotary » pour recherches d'énergie endogène : *G. Minucci* (Italie), G/66.
- Etude des caractéristiques des techniques de forage rotatif dans les puits de vapeur ou d'eau chaude en territoire volcanique : *R. Niijima* (Japon), G/22.
- Ruptures de tubages dans les puits géothermiques de Wairakei : *J. H. Smith* (Nouvelle-Zélande), G/44.
- Organisation du forage et frais de fonçage des puits de vapeur géothermique : *J. H. Smith* (Nouvelle-Zélande), G/40.
- Boues de forages dans les puits géothermiques : *D. I. Woods* (Nouvelle-Zélande), G/21.
- II.A.2, b. *Utilisation de l'énergie géothermique pour la production de l'électricité*
- La centrale d'énergie géothermique de Wairakei, Nouvelle-Zélande : *H. C. H. Armstead* (Royaume-Uni), G/4.
- Production expérimentale d'énergie géothermique à la centrale de « The Geysers », comté de Sonoma, Californie, Etats-Unis d'Amérique : *A. W. Bruce* (Etats-Unis d'Amérique), G/8 et Add.1.
- Organisation d'une centrale électrique à énergie géothermique : considérations techniques et économiques : *A. Chierici* (Italie), G/62.
- Considérations sur le fonctionnement des centrales géothermo-électriques de Larderello et sur le transport du fluide endogène : *P. Di Mario* (Italie), G/68.
- Projet de centrale géothermique de 15 000 kW à Hveragerdi, Islande : *S. S. Einarsson* (Islande), G/9.
- Cycles thermiques pour installations géothermiques, description des turbines de la centrale de « The Geysers », Californie : *A. Hansen* (Etats-Unis d'Amérique), G/41.
- Progrès réalisés dans le domaine des centrales à turbo-alternateurs à condensation ou alimentées en vapeur naturelle : *A. Saporiti* (Italie), G/60.
- Progrès réalisés dans les installations avec groupes turbo-alternateurs sans condenseur alimentés en vapeur naturelle : *A. Saporiti* (Italie), G/60.
- Orientations constructives récentes pour centrales géothermiques : *F. P. Villa* (Italie), G/72.
- Comparaison entre les condenseurs à mélange et les condenseurs à surface dans l'utilisation de la vapeur boracifère endogène de Larderello pour la production de force motrice, et l'extraction de certains produits chimiques : *C. F. Zancani* (Italie), G/50.

*Point II.A.3 de l'ordre du jour***Utilisation de l'énergie géothermique pour le chauffage ; systèmes combinés pour la production d'électricité et le chauffage avec, éventuellement, extraction de sous-produits**

RAPPORT GÉNÉRAL : Rapporteur G. Bodvarsson, GR/5 (G).

*II.A.3, a. Chauffage*

Production et distribution de la chaleur naturelle en vue du chauffage domestique et industriel en Islande : G. Bodvarsson et J. Zoëga (Islande), G/37.

Récents progrès en Nouvelle-Zélande dans l'utilisation de l'énergie géothermique pour le chauffage : R. N. Kerr, P. Bangma, W. L. Cooke, F. G. Furness et G. Vamos (Nouvelle-Zélande), G/52.

Chauffage géothermique industriel en Islande : B. Lindal (Islande), G/59.

Exploitation des serres par le chauffage géothermique en Islande : B. Lindal (Islande), G/32.

Extraction du sel de l'eau de mer par des évaporateurs à multiples effets alimentés par la vapeur naturelle : B. Lindal (Islande), G/27.

Production de sel au Japon par l'énergie géothermique : Y. Mizutani (Japon), G/7.

Le service de chauffage du district municipal de Reykjavik : H. Sigurdsson (Islande), G/45.

*II.A.3, b. Systèmes combinés et sous-produits*

Problèmes techniques et économiques soulevés par la présence d'impuretés chimiques dans les fluides d'origine géothermique : C. Garbato (Italie), G/63.

Extraction du lithium et des autres minéraux des eaux géothermiques de Wairakei : A. M. Kennedy (Nouvelle-Zélande), G/56.

Utilisation de l'énergie géothermique pour la production de l'acide borique et des sous-produits contenus dans les « soiffioni » de Larderello : D. Lenzi (Italie), G/39.

*Point II.B.1 de l'ordre du jour***Étude du comportement des vents et recherche de sites appropriés pour les installations éoliennes**

RAPPORT GÉNÉRAL : Rapporteur E. W. Golding, GR/6 (W).

Mesure des paramètres caractéristiques de l'énergie éolienne en vue du choix des sites favorables à l'installation d'aéromoteurs : A. G. Argand (France), W/35.

Les méthodes spéculatives dans la prospection relative aux ressources en énergie éolienne : M. Ballester (Espagne), W/7.

Prospection en vue de l'utilisation de l'énergie éolienne : J. A. Barasoain et L. Fontán (Espagne), W/16.

Diagrammes anémométriques pour l'Argentine méridionale ; considération sur l'utilisation de l'énergie éolienne et solaire du pays : E. Cambilargiu (Uruguay), W/10.

Régime de l'écoulement du vent sur les collines (dans ses rapports avec la mise en œuvre de l'énergie éolienne) : J. H. Frenkiel (Israël), W/33.

Mesures effectuées sur le vent : M. Jensen (Danemark), W/14.

Certains aspects du choix de l'emplacement des centrales éoliennes en montagne : K. O. Lange (Etats-Unis d'Amérique), W/28.

La mesure du vent en météorologie : A. Perlat (France), W/13.  
Quelques aspects des sondages anémométriques : S. Petterssen (Etats-Unis d'Amérique), W/26.

Ressources indiennes en énergie éolienne établies en tenant spécialement compte de la répartition du vent : K. P. Ramakrishnan et S. P. Venkiteshwaran (Inde), W/19.

Techniques de mesure de la vitesse du vent : M. Sanuki (Japon), W/2.

Recherches sur le comportement du vent et étude de sites appropriés pour l'établissement de centrales éoliennes : K. H. Soliman (République arabe unie), W/4.

Mesures sur le vent avec la mise en œuvre de l'énergie éolienne : J. R. Tagg (Royaume-Uni), W/12.

Revue des données disponibles sur les observations relatives au vent : Organisation météorologique mondiale, W/11.

*Point II.B.2 de l'ordre du jour***Plans et essais d'installations éoliennes**

RAPPORT GÉNÉRAL : Rapporteur L. Vadot, GR/7 (W).

*II.B.2, a. Plans*

Regulation and control system of an experimental 100-kilowatt wind electric plant operating parallel with an AC network : S. Armbrust (République fédérale d'Allemagne), W/34.

Expériences faites avec génératrices à aéromoteur dont l'hélice est installée derrière une tour à profil aérodynamique : E. Cambilargiu (Uruguay), W/39.

La réalisation classique des petits moulins à vent destinés à servir au drainage aux Pays-Bas avec considérations sur la possibilité de les perfectionner et de les adapter aux pays peu développés : A. Havinga (Pays-Bas), W/32.

Disposition aérodynamique des pales des turbines éoliennes présentant un gros paramètre de fonctionnement : U. Hütter (République fédérale d'Allemagne), W/31.

Réalisation des centrales éoliennes : J. Juul (Danemark), W/17.

Centrales éoliennes appropriées pour alimenter un réseau de distribution d'énergie : A. Ledács-Kiss (Hongrie), W/36.

Turbines éoliennes d'un nouveau type au Japon : T. Moriya et Y. Tomosawa (Japon), W/5.

Considérations sur un aspect naturel de l'aménagement de l'énergie du vent : P. P. Santorini (Grèce), W/37.

Centrale électrique à énergie éolienne branchée directement sur un réseau de distribution en courant alternatif — Problème de l'appareillage : L. H. G. Sterne (Belgique) et G. Fragoianis (Grèce), W/30.

Groupe électrogène à énergie éolienne de petites dimensions du type à magnéto : F. Villinger (République fédérale d'Allemagne), W/27.

*II.B.2, b. Essais*

Essais sur les centrales éoliennes : V. Askegaard (Danemark), W/15.

Quelques rapports entre la vitesse du vent et la puissance disponible à une centrale éolienne : G. Clausnizer (République fédérale d'Allemagne), W/3.

Méthodes d'essais employées sur l'aérogénérateur 100 kilowatts Andreau Enfield de Grand Vent ; F. H. Delafond (France), W/9.

Essais de centrales éoliennes : J. G. Morrison (Royaume-Uni), W/24.

### Point II.B.3 de l'ordre du jour

#### Utilisation de l'énergie éolienne : progrès récents et améliorations possibles

RAPPORT GÉNÉRAL : Rapporteur U. Hütter, GR/8 (W).

##### II.B.3, a. Usages domestiques et autres usages individuels

La centrale éolienne d'Eilat : J. H. Frenkiel (Israël), W/6.

Expérience acquise avec une centrale électrique éolienne Jacobs entre 1931 et 1957 : M. L. Jacobs (Etats-Unis d'Amérique), W/22.

Petit appareil de TSF actionné par une dynamo de bicyclette entraînée par une éolienne : H. Stam, H. Tabak et C. J. van Vlaardingen (Pays-Bas), W/38.

Adaptation des conceptions classiques des éoliennes à l'intention plus spéciale des pays peu industrialisés : H. Stam (Pays-Bas), W/40.

Fonctionnement de la génératrice éolienne du modèle Allgaier (6 à 8 kilowatts) installée à Porbandar, Inde : S. P. Venkiteshwaran (Inde), W/25.

Méthode permettant d'améliorer l'utilisation d'énergie par les génératrices entraînées par aéromoteurs et leur intégration dans des systèmes classiques : J. G. Walker (Royaume-Uni), W/18.

Utilisation de l'énergie fournie au hasard en s'adressant particulièrement à la question des centrales éoliennes à petite échelle : J. G. Walker (Royaume-Uni), W/29.

##### II.B.3, b. Services collectifs (installations isolées et installations associées à des centrales de type classique)

Réalisation et progrès possibles dans le domaine de l'exploitation de l'énergie éolienne : J. T. Arnfred (Danemark), W/1.

Modèles d'aéromoteurs jugés appropriés pour être employés en Inde sur une grande échelle : P. Nilakantan, K. P. Ramakrishnan et S. P. Venkiteshwaran (Inde), W/23.

##### II.B.3, c. Interconnexion avec les réseaux électriques

Problèmes concernant le couplage automatique d'un aérogénérateur sur un réseau : F. H. Delafond (France), W/8.

Progrès récents et perfectionnements possibles dans le domaine de l'utilisation de l'énergie éolienne en liaison avec les réseaux de distribution électriques danois : J. Juul (Danemark), W/20/Rev.1.

Economie et exploitation des centrales électriques éoliennes : J. Juul (Danemark), W/21.

### Point II.C.1. de l'ordre du jour

#### Utilisation de l'énergie solaire pour la production d'énergie mécanique et d'électricité

##### II.C.1, a. Au moyen de moteurs alternatifs et de turbines

RAPPORT GÉNÉRAL : Rapporteur H. Tabor, GR/9 (S).

Machines thermiques pour la conversion de l'énergie solaire en énergie mécanique : L. d'Amelio (Italie), S/99.

L'énergie, sous-produit des installations économiques de distillation solaire : R. L. Hummel (Etats-Unis d'Amérique), S/15.

Mise au point d'un moteur héliomécanique de 15 kilowatts (mesures en électricité) destiné aux applications interplanétaires. Ses rapports avec la construction de moteurs analogues destinés à des applications terrestres : B. T. Maccauley (Etats-Unis d'Amérique), S/27.

Collecteurs solaires à grande surface (piscines solaires) pour la production d'énergie : H. Tabor (Israël), S/47.

Petite turbine pour centrale autonome à énergie solaire : H. Tabor et J. L. Bronicki (Israël), S/54.

Etude économique du fonctionnement au Sahara des insolateurs à air : M. Touchais (France), S/45.

##### II.C.1, b. Par conversion directe en électricité

RAPPORT GÉNÉRAL : Rapporteur V. A. Baum, GR/10 (S)/Rev.1.

Semi-conductor converters of solar energy : V. A. Baum, R. P. Borovikova et A. S. Okhotin (Union des Républiques socialistes soviétiques), S/118.

##### II.C.1, b, i. Au moyen de convertisseurs thermo-électriques

Essais préliminaires d'un convertisseur thermo-électrique à chauffage solaire : R. R. Breihan, F. Daniels, J. A. Duffie et G. O. G. Löf (Etats-Unis d'Amérique), S/103.

Convertisseur thermoïonique à chauffage solaire : G. N. Hatsoopoulos et P. J. Brosens (Etats-Unis d'Amérique), S/78.

Générateurs thermo-électriques pour la conversion de l'énergie solaire en vue de la production d'énergie électrique et mécanique : K. Katz (Etats-Unis d'Amérique), S/12.

Un générateur thermo-électrique : M. Kobayashi (Japon), S/10.

Nouveaux générateurs solaires thermo-électriques : R. G. Michel (France), S/55.

Orientation des recherches techniques de l'I.E.S.U.A. pour la production d'énergie à partir du rayonnement solaire : M. Perrot et M. Touchais (France), S/84.

Conversion de l'énergie solaire en électricité au moyen d'une cellule thermoïonique : V. C. Wilson (Etats-Unis d'Amérique), S/90.

##### II.C.1, b, ii. Au moyen de cellules photo-électriques

Emploi des batteries solaires au silicium : M. Kobayashi (Japon), S/11.

Application des cellules photovoltaïques dans le domaine des télécommunications : G. L. Pearson (Etats-Unis d'Amérique), S/40.

Dernières acquisitions dans le domaine de la conversion photovoltaïque de l'énergie solaire : M. B. Prince (Etats-Unis d'Amérique), S/65.

Conversion photovoltaïque de l'énergie solaire à prix modique : P. Rappaport et H. I. Moss (Etats-Unis d'Amérique), S/106.

Dispositifs photovoltaïques à pellicule mince pour la conversion de l'énergie solaire : L. E. Ravich (Etats-Unis d'Amérique), S/56.

Nouveaux progrès dans la conversion photovoltaïque de l'énergie solaire en vue d'applications à la surface de la terre : M. Wolf (Etats-Unis d'Amérique), S/44.

### Point II.D de l'ordre du jour

#### Emploi combiné de diverses sources d'énergie ; problèmes d'emménagement de l'énergie

##### II.D.1. Emploi combiné de diverses sources d'énergie

La production d'énergie à partir des ressources locales : E. W. Golding (Royaume-Uni), GEN/5.

##### II.D.2. Problèmes d'emménagement de l'énergie

RAPPORT GÉNÉRAL : Rapporteur F. Daniels GR/2/(GEN).

Emmagasinage ou accumulation d'énergie employant les processus électrolytiques et les cellules à hydrogène-oxygène : F. T. Bacon (Royaume-Uni), GEN/9.

Accumulation électrochimique de l'énergie pour les sources de force motrice à fonctionnement intermittent : G. E. Evans (Etats-Unis d'Amérique), GEN/3.

Conversion chimique et emmagasinage d'énergie solaire concentrée : R. J. Marcus et H. C. Wohlers (Etats-Unis d'Amérique), GEN/2.

- Conversion chimique de l'énergie solaire en énergie électrique : *C. R. McCully* (Etats-Unis d'Amérique), GEN/6.
- Production de gaz par la distillation destructive réalisée au moyen de l'énergie solaire en combinaison avec un générateur à gaz autonome et un réservoir pour la fourniture continue de gaz et de force motrice : *H. Melzer* (Brésil), GEN/13.
- Les cellules à hydrure métallique en tant qu'accumulateurs d'énergie : *R. C. Werner* et *T. A. Ciarlariello* (Etats-Unis d'Amérique), GEN/14.

### Point III.A de l'ordre du jour

#### Energie solaire disponible et instruments de mesure

- RAPPORT GÉNÉRAL : Rapporteur *P. Blanco*, GR/11 (S).
- L'énergie solaire au Canada : *E. A. Allcut* et *F. C. Hooper* (Canada), S/20.
- Quelques aspects de la climatologie du rayonnement : *J. N. Black* (Australie), S/13.
- Données météorologiques concernant l'ensoleillement et l'éclairage énergétique en vue des applications pratiques : *R. A. Dogniaux* (Belgique), S/59.
- Instruments de mesure du rayonnement solaire — aperçu de méthodes nouvelles et progrès récents réalisés : *A. J. Drummond* (Etats-Unis d'Amérique), S/117.
- Disponibilités en soleil de la République arabe unie : *M. K. Elnesr* et *A. M. Khalil* (République arabe unie), S/62.
- Aspects de la climatologie du rayonnement pour l'application de l'énergie solaire : *E. F. Flach* et *W. Mörkofer* (Suisse), S/74.
- Dispositifs de mesure du coefficient de rayonnement nocturne de matériaux divers, dans leurs conditions locales d'emploi : *H. Gondet* (France), S/95.
- Mesures du rayonnement global dans des réseaux de stations : *K. Gräfe* (République fédérale d'Allemagne), S/61.
- Instruments simples pour l'évaluation de l'intensité du rayonnement solaire quotidien : *H. Heywood* (Royaume-Uni), S/9.
- Evaluations des valeurs moyennes mensuelles du rayonnement à ondes courtes total quotidien des surfaces verticales et inclinées d'après les archives d'ensoleillement pour les latitudes 40° N - 40° S : *J. K. Page* (Royaume-Uni), S/98.
- Energie solaire — Les réseaux et les instruments actinométriques : *C. Perrin de Brichambaut* (France), S/80.
- Utilisation pratique des diagrammes de radiation solaire en vue de la détermination des rendements, des frais d'exploitation et des charges d'amortissement des insolateurs : *M. Perrot* et *M. Touchais* (France), S/41/Rev.1.
- La mesure absolue de l'énergie solaire : *R. Peyturaux* (France), S/69.
- Solar radiation and its measurement at a network of stations, with special reference to India : *L. A. Ramdas* (Inde), S/105.
- Archives relatives au rayonnement solaire en Australie : *C. M. Sapsford* (Australie), S/32.
- Instrumentation pour les mesures du rayonnement solaire : *P. Schöffner*, *P. M. Kuhn* (E.-U.) et *C. M. Sapsford* (Australie), S/92.
- Doses et propriétés du rayonnement solaire au Japon et instruments utilisés pour sa mesure : *K. Sekihara* (Japon), S/2.
- Mesures sur le rayonnement solaire au Canada : *E. J. Truhlar*, *J. R. Latimer*, *C. L. Mateer* et *W. L. Godson* (Canada), S/18.
- Répartition de l'énergie solaire en Inde : *S. P. Venkiteshwaran* (Inde), S/60.
- Pertes nocturnes de chaleur des surfaces horizontales dans les régions arides : *J. I. Yellott* et *P. Kokoropoulos* (Etats-Unis d'Amérique), S/34.

### Point III.B de l'ordre du jour

#### Matières nouvelles employées dans l'utilisation de l'énergie solaire

- RAPPORT GÉNÉRAL : Rapporteur *J. A. Duffie*, GR/12 (S).
- Collecteurs de concentration solaire en composition plastique : *F. Daniels* et *R. R. Breihan* (Etats-Unis d'Amérique), S/104.
- Pellicules en composition plastique pour applications dans le domaine de l'énergie solaire : *F. E. Edlin* et *D. E. Willauer* (Etats-Unis d'Amérique), S/33.
- Caractéristiques spectrales thermo-directionnelles de certaines surfaces pour les collecteurs solaires : *D. K. Edwards*, *J. T. Gier*, *K. E. Nelson* et *R. D. Roddick* (Etats-Unis d'Amérique), S/43.
- Un nouveau collecteur de l'énergie rayonnante solaire — théorie et vérifications expérimentales : *G. F. Francia* (Italie), S/71.
- Choix de matériaux disponibles pour l'utilisation et le réglage de l'énergie solaire : *R. E. Gaumer* (Etats-Unis d'Amérique), S/42.
- Lentilles et prismes en échelons pour l'utilisation de l'énergie solaire : *I. Oshida* (Japon), S/22.
- Verres et montages spéciaux pour l'utilisation de l'énergie solaire : *I. Peyches* (France), S/91.
- Etudes supplémentaires sur les revêtements noirs sélectifs : *H. Tabor*, *J. Harris*, *H. Weinberger* et *B. Doron* (Israël), S/46.
- Recherches sur les surfaces sélectives utilisables pour la climatisation des habitations : *F. Trombe*, *M. Foëx* et *M. Le-Phat-Vinh* (France), S/6.
- Emploi de certains alliages d'aluminium pour utilisation de l'énergie solaire : *P. Vachet* et *J. Mercier* (France), S/86.

### Point III.C de l'ordre du jour

#### Emploi de l'énergie solaire pour le chauffage

##### III.C.1. Chauffage de l'eau

- RAPPORT GÉNÉRAL : Rapporteur *I. Oshida*, GR/13 (S).
- Dix ans d'expérience des chauffe-eau solaires dans la République arabe unie : *M. S. M. Abou-Hussein* (République arabe unie), S/50.
- Chauffe-eau solaires : *S. Andrassy* (Etats-Unis d'Amérique), S/96.
- Application de l'énergie solaire au chauffage de l'eau : *E. A. Farber* (Etats-Unis d'Amérique), S/1.
- Emploi de l'énergie solaire pour le chauffage de l'eau : *J. Geoffrey* (France), S/58.
- Chauffe-eau solaires : *K. N. Mathur* et *L. Khanna* (Inde), S/102.
- Chauffage de l'eau au moyen de l'énergie solaire : *R. N. Morse* (Australie), S/38.
- Le joncteur solaire — moyen automatique d'économiser les dispositifs auxiliaires avec les installations de chauffe-eau solaires : *N. Robinson* et *E. Neeman* (Israël), S/31.
- Etude sur le chauffage solaire de l'eau en Algérie : *J. Savornin* (France), S/72.
- Les chauffe-eau solaires : *R. Sobotka* (Israël), S/26.
- Progrès récents des chauffe-eau solaires au Japon : *I. Tanishita* (Japon), S/68.
- Essais standards pour les chauffe-eau solaires : *A. Whillier* et *S. J. Richards* (Afrique du Sud), S/97.

### III.C.2. Chauffage des locaux

- RAPPORT GÉNÉRAL : Rapporteur G. O. G. Löf, GR/14 (S).
- Machine à analogie électro-mécanique pour la réalisation des projets de centrale de chauffage par l'énergie solaire : *R. F. Benseman* (Nouvelle-Zélande), S/19.
- Fonctionnement d'un système expérimental utilisant l'énergie solaire pour le chauffage et le rayonnement nocturne pour la climatisation d'un bâtiment : *R. W. Bliss, Jr.* (Etats-Unis d'Amérique), S/30.
- Utilisation de l'énergie solaire pour le chauffage des locaux — maison solaire n° IV du M.I.T. : *C. D. Engebretson* (Etats-Unis d'Amérique), S/67.
- Installations for solar space heating in Girin : *N. Fukuo, T. Kozuka, S. Iida, I. Fujishiro, T. Irisawa, M. Yoshida et H. Mii* (Japon), S/112.
- Conception et performances d'un système de chauffage ménager qui fait usage d'air chauffé par le soleil — la maison solaire du Colorado : *G. O. G. Löf, M. M. El-Wakil et J. P. Chiou* (Etats-Unis d'Amérique), S/114.
- Critère pour l'établissement des plans de maisons à chauffage solaire : *A. Olgay* (Etats-Unis d'Amérique), S/93.
- La maison à chauffage solaire de Capri : *G. V. Pleijel et B. I. Lindström* (Suède), S/49.
- Utilisation de l'énergie solaire pour le chauffage — chauffage des locaux, chauffage de l'eau et climatisation de la maison de M. Thomason : *H. E. Thomason* (Etats-Unis d'Amérique), S/3.
- Rapport sur une période de deux ans et demi d'habitation expérimentale dans la maison solaire Yanagimachi n° II : *M. Yanagimachi* (Japon), S/94.

### III.C.3. Séchage par la chaleur solaire

- RAPPORT GÉNÉRAL : Rapporteur G. O. G. Löf, GR/15 (S).
- Séchage des produits agricoles au moyen d'air chauffé par le soleil : *F. H. Buelow* (Etats-Unis d'Amérique), S/17.
- Utilisation de l'énergie solaire pour le séchage des produits agricoles : *C. P. Davis, Jr. et R. I. Lipper* (Etats-Unis d'Amérique), S/53.
- Séchage solaire des schistes argileux pétrolifères : *A. T. Talwalkar, J. A. Duffie et G. O. G. Löf* (Etats-Unis d'Amérique), S/83.
- Le rôle de l'énergie solaire dans le séchage des fruits : *B. W. Wilson* (Australie), S/4.

### III.C.4. Cuisinières solaires

- RAPPORT GÉNÉRAL : Rapporteur G. O. G. Löf, GR/16 (S).
- Courbes indiquant le régime de la baisse de température dans les fourneaux solaires du type à enceinte fermée : *S. M. Abou-Hussein* (République arabe unie), S/75.
- Essais en laboratoire et sur place de fourneaux solaires à réflecteurs en composition plastique : *J. A. Duffie, G. O. G. Löf et B. Beck* (Etats-Unis d'Amérique), S/87.
- Construction et rendement des cuisinières pliantes du type parapluie : *G. O. G. Löf et D. A. Fester* (Etats-Unis d'Amérique), S/100.
- Report on tests conducted using the Telkes solar oven and the Wisconsin solar stove over the period July to September 1959 : *Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture*, S/116.
- Une cuisinière solaire cylindro-parabolique : *A. S. Prata* (Portugal), S/110.
- Cuisinières solaires économiques mais pratiques : *H. Stam* (Pays-Bas), S/24.

Cuisinières solaires pratiques : *M. Telkes et S. Andrassy* (Etats-Unis d'Amérique), S/101.

### III.C.5. Accumulation de l'énergie

- RAPPORT GÉNÉRAL : Rapporteur K. N. Mathur, GR/17 (S).
- Quelques aspects physico-chimiques de l'emménagement de la chaleur : *M. Goldstein* (Etats-Unis d'Amérique), S/7.
- Bâtiments utilisant l'énergie solaire sous les climats tempérés et tropicaux : *E. Speyer* (Etats-Unis d'Amérique), S/8.

## Point III. D de l'ordre du jour

### Emploi de l'énergie solaire pour la production de froid

- RAPPORT GÉNÉRAL : Rapporteur H. Tabor, GR/18 (S).
- Emploi de l'énergie solaire pour la réfrigération : *R. Chung et J. A. Duffie* (Etats-Unis d'Amérique), S/82.

#### III.D.1. Conservation des aliments par réfrigération

- Unité frigorifique à absorption avec réflecteur conoïdal fixe : *T. Oniga* (Brésil), S/70.
- Bilan économique de la fabrication de glace avec un appareil à absorption utilisant le soleil comme moyen de chauffage : *F. Trombe et M. Foëx* (France), S/109/Rev.1.

#### III.D.2. Refroidissement et déshumidification des locaux

- La maison à refroidissement solaire d'Altenkirch : *S. Adler, G. Levite et H. Tabor* (Israël), S/88.
- Recherches techniques et économiques préliminaires sur les utilisations de l'énergie solaire, plus particulièrement en vue de la climatisation des locaux en Inde et au Pakistan : *N. G. Ashar* (Inde), et *A. R. Reti* (Etats-Unis d'Amérique), S/37.
- Etude d'une maison solaire saharienne : *E. Crausse et H. Gachon* (France), S/76.
- Perspectives en ce qui concerne le conditionnement d'air utilisant l'énergie solaire en Australie : *N. B. Sheridan* (Australie), S/39.
- Utilisation de l'énergie solaire pour la réalisation simultanée de la distillation de l'eau saumâtre et la climatisation des serres en zones arides : *F. Trombe et M. Foëx* (France), S/64/Rev.1.
- Principes de climatisation des maisons dans les pays à ciel clair : *F. Trombe et C. H. La Blanchetais* (France), S/111.

## Point III.E de l'ordre du jour

### Emploi de l'énergie solaire pour la production d'eau douce

- RAPPORT GÉNÉRAL : Rapporteur G. Gomella, GR/19 (S).
- Distillateurs solaires : *V. A. Baum* (URSS), S/119.
- Quelques expériences sur la distillation solaire de l'eau à petite échelle : *L. Fontán et J. A. Barasoain* (Espagne), S/73.
- Possibilités d'extension des dimensions des distillateurs solaires : *C. Gomella* (France), S/107.
- Alambic solaire à multiple effet et à convection forcée pour le dessalage des eaux de mer et saumâtres : *N. Grune, R. A. Collins et T. L. Thompson* (Etats-Unis d'Amérique), S/14.
- Déminéralisation des eaux saumâtres par le rayonnement solaire dans la République arabe unie : *M. M. Hafez et M. K. Elnesr* (République arabe unie), S/63.
- Evaporateur et distillateur au Chili : *J. G. Hirschmann* (Chili), S/23.
- Recherches sur la distillation solaire à l'Université de Californie : *E. D. Howe* (Etats-Unis d'Amérique), S/29.
- Un collecteur de chaleur solaire de grandes dimensions et de prix modique — son application à la conversion de l'eau de mer en eau douce : *R. L. Hummel* (Etats-Unis d'Amérique), S/28.

- Expériences sur la déminéralisation de l'eau en Inde septentrionale : *M. L. Khanna* et *K. N. Mathur* (Inde), S/115.
- Entartrage et incrustation dans les distillateurs solaires : *G. Lejeune* (France), S/89.
- Application de principes théoriques en vue d'améliorer le rendement de distillateurs solaires du type bassin : *G. O. G. Löf* (Etats-Unis d'Amérique), S/77.
- Statut actuel et avenir des alambics solaires : *G. Nebbia* (Italie), S/113.
- Progrès réalisés dans la distillation solaire — Département de l'intérieur des Etats-Unis : *J. J. Strobel* (Etats-Unis d'Amérique), S/85.
- Mesure des températures au four solaire : *M. Foëx* (France), S/66.
- Les applications industrielles — un défi aux chercheurs qui se consacrent aux fours solaires : *P. E. Glaser* (Etats-Unis d'Amérique), S/16.
- Nouvelles techniques et perspectives dans le domaine des fours solaires : *T. S. Laszlo* (Etats-Unis d'Amérique), S/5.
- Etude sur les concentrations énergétiques données par les miroirs paraboliques de très grande surface : *A. Le-Phat-Vinh* (France), S/48.
- Synthèses chimiques dans le four solaire : *R. J. Marcus* et *H. C. Wehlers* (E.-U.), S/25/Rev.1.
- Recherches appliquées dans un four solaire : *T. Noguchi*, *M. Mizuno*, *N. Nakayama* et *H. Hayashi* (Japon), S/57.
- Construction d'un four solaire de grandes dimensions : *R. Sakurai*, *K. Shishido*, *O. Kamada* et *K. Inagaki* (Japon), S/21.
- Conditions de traitement et mesures physiques dans les fours solaires : *F. Trombe*, *M. Foëx* et *C. H. La Blanchetais* (France), S/35.
- Purification des substances par chauffage au four solaire : *F. Trombe* et *M. Foëx* (France), S/52.
- Les applications pratiques actuelles des fours solaires et leurs possibilités économiques de développement : *F. Trombe* et *M. Foëx* (France), S/81.
- Obtention de carbure de bore et traitement thermique de minéraux au four solaire : *G. E. Vuillard* (France), S/36.

### *Point III.F de l'ordre du jour*

#### **Application de l'énergie solaire aux opérations à haute température (fours solaires)**

RAPPORT GÉNÉRAL : Rapporteur *F. Trombe*, GR/20 (S).

Traitement sous haut vide au four solaire — dispositif expérimental, préparation et étude de nouveaux composés des terres rares : *J. C. Achard* (France), S/108.

Qualité de l'image et utilisation du four solaire du service de l'intendance de l'armée des Etats-Unis : *E. S. Cotton*, *W. P. Lynch*, *W. Zagieboylo* et *J. M. Davies* (Etats-Unis d'Amérique), S/79.

## ANNEXE 5

### Liste des documents de séance classés selon leur cote

(E/CONF.35/—)  
Rapport général  
des Rapporteurs

	<i>Langues</i>	<i>Points de l'ordre du jour</i>	<i>Rapporteurs</i>
GR/1 (GEN)	Anglais et français	I	de Breuverly, E. S.
GR/2 (GEN)	Anglais et français	II.D.2	Daniels, F.
GR/3 (G)	Espagnol, anglais et français	II.A.1	Elizondo, J. R.
GR/4 (G)	Anglais et français	II.A.2	Smith, J. H.
GR/5 (G)	Anglais et français	II.A.3	Bodvarsson, G.
GR/6 (W)	Anglais et français	II.B.1	Golding, E. W.
GR/7 (W)	Anglais et français	II.B.2	Vadot, L.
GR/8 (W)	Anglais et français	II.B.3	Hütter, U.
GR/9 (S)	Anglais et français	II.C.1, a	Tabor, H.
GR/10 (S) Rev.1	Russe, anglais et français	II.C.1, b	Baum, V. A.
GR/11 (S)	Espagnol, anglais et français	III.A	Blanco, P.
GR/12 (S)	Anglais et français	III.B	Duffie, J. A.
GR/13 (S)	Anglais et français	III.C.1	Oshida, I.
GR/14 (S)	Anglais et français	III.C.2	Löf, G. O. G.
GR/15 (S)	Anglais et français	III.C.3	Löf, G. O. G.
GR/16 (S)	Anglais et français	III.C.4	Löf, G. O. G.
GR/17 (S)	Anglais et français	III.C.5	Mathur, K. N.
GR/18 (S)	Anglais et français	III.D	Tabor, H.
GR/19 (S)	Français et anglais	III.E	Gomella, C.
GR/20 (S)	Français et anglais	III.F	Trombe, F.

#### Mémoires <sup>a</sup>

##### GÉNÉRALITÉS

			<i>Auteurs</i>
GEN/1	Français et anglais	I	Angelini, A. M.
GEN/2	Anglais	II.D.2	Marcus, R. J., et Wohlers, H. C.
GEN/3	Anglais	II.D.2	Evans, G. E.
GEN/4	Anglais et français	I	Hartley, sir Harold
GEN/5	Anglais	II.D.1	Golding, E. W.
GEN/6	Anglais	II.D.2	McCully, C. R.
GEN/7	Anglais et français	I	Mueller, H. F.
GEN/8	Anglais et français	I	Kapur, J. C.
GEN/9	Anglais	II.D.2	Bacon, F. T.
GEN/10	Anglais et français	I	Netschert, B. C., et Löf, G. O. G.
GEN/11	Anglais et français	I	Abdel-Rahman, I. H.
GEN/12	Français et anglais	I	Ailleret, P.
GEN/13	Anglais	II.D.2	Melzer, H.
GEN/14	Anglais	II.D.2	Werner, R. C., et Ciarlariello, T. A.
GEN/15	Anglais et français	I	Thacker, M. S.

##### ENERGIE GÉOTHERMIQUE

G/1	Anglais	II.A.1	Saito, M.
G/2	Anglais	II.A.1	White, D. E.
G/3	Anglais	II.A.1	McNitt, J. R.
G/4	Anglais	II.A.2, b	Armstead, H. C. H.
G/5	Anglais	II.A.1	Rawson, D. E., et Bennett, W. P.
G/6	Anglais	II.A.1	Bodvarsson, G.
G/7	Anglais	II.A.3, a	Mizutani, Y.
G/8	Anglais	II.A.2, b	Bruce, A. W.
G/9	Anglais	II.A.2, b	Einarsson, S. S.
G/10	Anglais	II.A.1	Christmann, G.
G/11	Anglais	II.A.1	Durr, F.
G/12	Anglais	II.A.1	Fooks, A. C. L.
G/13	Anglais	II.A.2, a	Bangma, P.

<sup>a</sup> Sauf exceptions notées ci-après, pour chaque mémoire il a été publié un résumé en deux langues (anglais et français) ayant la même cote suivie du mot « summary ». Les exceptions sont les mémoires se rapportant au point I de l'ordre du jour et les mémoires W/34, S/76, S/80, S/89, S/112, S/116, S/118 et S/119.

<i>(E/CONF.35/—)</i>	<i>Langues</i>	<i>Points de l'ordre du jour</i>	<i>Auteurs</i>
G/14	Anglais	II.A.2, a	Craig, S. B.
G/15	Anglais	II.A.2, a	Innes, I. A.
G/16	Anglais	II.A.2, a	Foocks, A. C. L.
G/17	Anglais	II.A.1	Dench, N. D.
G/18	Anglais	II.A.2, a	Dench, N. D.
G/19/Rev.1	Anglais	II.A.2, a	Hunt, A. M.
G/20	Anglais	II.A.1	Durr, F.
G/21	Anglais	II.A.2, a	Woods, D. I.
G/22	Anglais	II.A.2, a	Niijima, R.
G/23	Anglais	II.A.1	Sato, K.
G/24	Anglais	II.A.1	Bodvarsson, G., et Palmason, G.
G/25	Français	II.A.1	Breusse, J. J.
G/26	Français	II.A.1	Battini, F., et Menut, P.
G/27	Anglais	II.A.3, a	Lindal, B.
G/28	Anglais	II.A.1	Healy, J.
G/29	Anglais	II.A.1	Ritchie, J. A.
G/30	Anglais	II.A.1	James, R.
G/31	Anglais	II.A.1	Hulston, J. R.
G/32	Anglais	II.A.3, a	Lindal, B.
G/33	Anglais	II.A.1	Studt, F. E.
G/34	Anglais	II.A.1	Grindley, G. W.
G/35	Anglais	II.A.1	Wilson, S. H.
G/36	Anglais	II.A.2, a	Karlsson, T.
G/37	Anglais	II.A.3, a	Bodvarsson, G., et Zoëga, J.
G/38	Russe/Anglais	II.A.1	Piip, B. I., Ivanov, V. V., et Averiev, V. V.
G/39	Français	II.A.3, b	Lenzi, D.
G/40	Anglais	II.A.2, a	Smith, J. H.
G/41	Anglais	II.A.2, b	Hansen, A.
G/42	Anglais	II.A.1	Ellis, A. J.
G/43	Anglais	II.A.2, a	Bolton, R. S.
G/44	Anglais	II.A.2, a	Smith, J. H.
G/45	Anglais	II.A.3, a	Sigurdsson, H.
G/46	Anglais	II.A.1	Mahon, W. A. J.
G/47	Anglais	II.A.2, a	Foster, P. K., Marshall, T., et Tombs, A.
G/48	Anglais	II.A.1	Decius, L. C.
G/49	Anglais	II.A.2, a	Fisher, W. M.
G/50	Anglais	II.A.2, b	Zancani, C.
G/51	Anglais	II.A.2, a	English, E. F.
G/52	Anglais	II.A.3, a	Kerr, R. N., Bangma, P., Cooke, W. L., Furness, F. G., et Vamos, G.
G/53	Anglais	II.A.1	Banwell, C. J.
G/54	Anglais	II.A.1	Thompson, G. E. K., Banwell, C. J., Dawson, G. B., et Dickinson, D. J.
G/55	Anglais	II.A.1	Doyle, D., et Studt, F. E.
G/56	Anglais	II.A.3, b	Kennedy, A. M.
G/57	Anglais	II.A.1	Harada, H., et Mori, T.
G/58	Français	II.A.1	Marinelli, G.
G/59	Anglais	II.A.3, a	Lindal, B.
G/60	Anglais	II.A.2, b	Saporiti, A.
G/61/Rev.1	Français	II.A.1	Burgassi, R., Battini, F., et Mouton, J.
G/62	Anglais	II.A.2, b	Chierici, A.
G/63	Français	II.A.3, b	Garbato, C.
G/64	Anglais	II.A.2, b	Saporiti, A.
G/65	Français et anglais	II.A.1	Burgassi, R.
G/66	Français et anglais	II.A.2, a	Minucci, G.
G/67	Anglais	II.A.1	Facca, G., et Tonani, F.
G/68	Français et anglais	II.A.2, b	Di Mario, P.
G/69	Anglais	II.A.1	Marchesini, E.
G/70	Anglais	II.A.2, a	Contini, R., et Cigni, U.
G/71	Français et anglais	II.A.2, a	Contini, R.
G/72	Anglais	II.A.2, b	Villa, F. P.
G/73	Français	II.A.1	Nencetti, R. G. C.
G/74	Russe/Anglais	II.A.1	Averiev, V. V.
G/75	Français	II.A.1	Nencetti, R. G. C.
G/76	Français	II.A.1	Nencetti, R. G. C.
G/77	Anglais	II.A.1	de Anda, L. F. Septién, J. I., et Elizondo, J. R.

<i>(E/CONF.35/—)</i>	<i>Langues</i>	<i>Points de l'ordre du jour</i>	<i>Auteurs</i>
<b>FORCE ÉOLIENNE</b>			
W/1	Anglais	II.B.3, <i>b</i>	Arnfred, J. T.
W/2	Anglais	II.B.1	Sanuki, M.
W/3	Anglais	II.B.2, <i>b</i>	Clausnizer, G.
W/4	Anglais	II.B.1	Soliman, K. H.
W/5	Anglais	II.B.2, <i>a</i>	Moriya, T., et Tomosawa, Y.
W/6	Anglais	II.B.3, <i>a</i>	Frenkiel, J. H.
W/7	Espagnol/Anglais	II.B.1	Ballester, M.
W/8	Français	II.B.3, <i>c</i>	Delafond, F. H.
W/9	Français	II.B.2, <i>b</i>	Delafond, F. H.
W/10	Espagnol/Anglais	II.B.1	Cambilargiu, E.
W/11	Anglais	II.B.1	Organisation météorologique mondiale
W/12	Anglais	II.B.1	Tagg, J. R.
W/13	Français	II.B.1	Perlat, A.
W/14	Anglais	II.B.1	Jensen, M.
W/15	Anglais	II.B.2, <i>b</i>	Askegaard, V.
W/16	Espagnol/Anglais	II.B.1	Barasoain, J. A., et Fontán, L.
W/17	Anglais	II.B.2, <i>a</i>	Juul, J.
W/18	Anglais	II.B.3, <i>a</i>	Walker, J. G.
W/19	Anglais	II.B.1	Ramakrishnan, K. P., et Venkiteshwaran, S. P.
W/20/Rev.1	Anglais	II.B.3, <i>c</i>	Juul, J.
W/21	Anglais	II.B.3, <i>c</i>	Juul, J.
W/22	Anglais	II.B.3, <i>a</i>	Jacobs, M. L.
W/23	Anglais	II.B.3, <i>b</i>	Nilakantan, P., Ramakrishna, K. P., et Venkiteshwaran, S. P.
W/24	Anglais	II.B.2, <i>b</i>	Morrison, J. G.
W/25	Anglais	II.B.3, <i>a</i>	Venkiteshwaran, S. P.
W/26	Anglais	II.B.1	Petterssen, S.
W/27	Anglais	II.B.2, <i>a</i>	Villinger, F.
W/28	Anglais	II.B.1	Lange, K. O.
W/29	Anglais	II.B., <i>a</i>	Walker, J. G.
W/30	Anglais	II.B.2, <i>a</i>	Sterne, L. H. G., et Fragoianis
W/31	Anglais	II.B.2, <i>a</i>	Hütter, U.
W/32	Anglais	II.B.2, <i>a</i>	Havinga, A.
W/33	Anglais	II.B.1	Frenkiel, J. H.
W/34	Anglais	II.B.2, <i>a</i>	Armbrust, S.
W/35	Français	II.B.1	Argand, A. G.
W/36	Anglais	II.B.2, <i>a</i>	Ledacs-Kiss, A.
W/37	Français	II.B.2, <i>a</i>	Santorini, P. P.
W/38	Anglais	II.B.3, <i>a</i>	Stam, H., Tabak, H., et van Vlaardingen, C. J.
W/39	Espagnol/Anglais	II.B.2, <i>a</i>	Cambilargiu, E.
W/40	Anglais	II.B.3, <i>a</i>	Stam, H.
<b>ENERGIE SOLAIRE</b>			
S/1	Anglais	III.C.1	Farber, E. A.
S/2	Anglais	III.A	Sekihara, K.
S/3	Anglais	III.C.2	Thomason, H. E.
S/4	Anglais	III.C.3	Wilson, B. W.
S/5	Anglais	III.F	Laszlo, T. S.
S/6	Français et anglais	III.B	Trombe, F., Foëx, M., et Le-Phat-Vinh, M.
S/7	Anglais	III.C.5	Goldstein, M.
S/8	Anglais	III.C.5	Speyer, E.
S/9	Anglais	III.A	Heywood, H.
S/10	Anglais	II.C.1, <i>b, i</i>	Kobayashi, M.
S/11	Anglais	II.C.1, <i>b, ii</i>	Kobayashi, M.
S/12	Anglais	II.C.1, <i>b, i</i>	Katz, K.
S/13	Anglais	III.A	Black, J. N.
S/14	Anglais	III.E	Grune, W. N., Collins, R. A., et Thompson, T. L.
S/15	Anglais	II.C.1, <i>a</i>	Hummel, R. L.
S/16	Anglais	III.F	Glaser, P. E.
S/17	Anglais	III.C.3	Buelow, F. H.
S/18	Anglais	III.A	Truhlar, E. J., Latimer, J. R., Mateer, C. L., et Godson W. L.

(E/CONF.35/—)	Langues	Points de l'ordre du jour	Auteurs
S/19	Anglais	III.C.2	Benseman, R. F.
S/20	Anglais	III.A	Allcut, E. A., et Hooper, F. C.
S/21	Anglais	III.F	Sakurai, R., Shishido, K., Kamada, O., et Inagaki, K.
S/22	Anglais	III.B	Oshida, I.
S/23	Espagnol/Français	III.E	Hirschmann, J. G.
S/24	Anglais	III.C.4	Stam, H.
S/25/Rev.1	Anglais	III.F	Marcus, R. J., et Wohlers, H. C.
S/26	Anglais	III.C.1	Sobotka, R.
S/27	Anglais	II.C.1, a	Macauley, B. T.
S/28	Anglais	III.E	Hummel, R. L.
S/29	Anglais	III.E	Howe, E. D.
S/30	Anglais	III.C.2	Bliss Jr., R. W.
S/31	Anglais	III.C.1	Robinson, N., et Neeman, E.
S/32	Anglais	III.A	Sapsford, C. M.
S/33	Anglais	III.B	Edlin, F. E., et Willauer, D. E.
S/34	Anglais	III.A	Yellott, J. I., et Kokoropoulos, P.
S/35	Français	III.F	Trombe, F., Foëx, M., et Henry La Blanchetais, Ch.
S/36	Français	III.F	Vuillard, G. E.
S/37	Anglais	III.D.2	Ashar, N. G., et Reti, A. R.
S/38	Anglais	III.C.1	Morse, R. N.
S/39	Anglais	III.D.2	Sheridan, N. B.
S/40	Anglais	II.C.1, b, ii	Pearson, G. L.
S/41/Rev.1	Français	III.A	Perrot, M., et Touchais, M.
S/42	Anglais	III.B	Gaumer, R. E.
S/43	Anglais	III.B	Edwards, D. K., Gier, J. T., Nelson, K. E., et Roddick, R. D.
S/44	Anglais	II.C.1, b, ii	Wolf, M.
S/45	Français et anglais	II.C.1, a	Touchais, M.
S/46	Anglais	III.B	Tabor, H., Harris, J., Weinberger, H., et Doron, B.
S/47	Anglais	II.C.1, a	Tabor, H.
S/48	Français	III.F	Le-Phat-Vinh, A.
S/49	Anglais	III.C.2	Pleijel, G. V., et Lindström, B. I.
S/50	Anglais	III.C.1	Abou-Hussein, M. S. M.
S/51 (non publié)			
S/52	Français	III.F	Trombe, F., et Foëx, M.
S/53	Anglais	III.C.3	Davis, Jr., C. P., et Lipper, R. I.
S/54	Anglais	II.C.1, a	Tabor et Bronicki, J. L.
S/55	Français et anglais	II.C.1, b, i	Michel, R. G.
S/56	Anglais	II.C.1, b, ii	Ravich, L. E.
S/57	Anglais	III.F	Noguchi, T., Mizuno, M., Nakayama, N., et Hayashi, H.
S/58	Français et anglais	III.C.1	Geoffroy, J.
S/59	Français	III.A	Dogniaux, R.
S/60	Anglais	III.A	Venkiteswaran, S. P.
S/61	Anglais	III.A	Gräfe, K.
S/62	Anglais	III.A	Elnesr, M. K., et Khalil, A. M.
S/63	Anglais	III.E	Hafez, M. M., et Elnesr, M. K.
S/64/Rev.1	Français et anglais	III.D.2	Trombe, F., et Foëx, M.
S/65	Anglais	II.C.1, b, ii	Prince, M. B.
S/66	Français	III.F	Foëx, M.
S/67	Anglais	III.C.2	Engbretson, C. D.
S/68	Anglais	III.C.1	Tanishita, I.
S/69	Français	III.A	Peyturaux, R.
S/70	Français et anglais	III.D.1	Oniga, T.
S/71	Français et anglais	III.B	Francia, G. F.
S/72	Français et anglais	III.C.1	Savornin, J.
S/73	Espagnol/Français	III.E	Fontán, L., et Barasoain, J. A.
S/74	Anglais	III.A	Flach, E. F., et Mörkofer, W.
S/75	Anglais	III.C.4	Abou-Hussein, M. S. M.
S/76	Français et anglais	III.D.2	Crausse, E., et Gachon, H.
S/77	Anglais	III.E	Löf, G. O. G.
S/78	Anglais	II.C.1, b i	Hatsopoulos, G. N., et Brosens, P. J.
S/79	Anglais	III.F	Cotton, E. S., Lynch, W. P., Zagieboylo, W., et Davies, J. M.

<i>(E/CONF.35—)</i>	<i>Langues</i>	<i>Points de l'ordre du jour</i>	<i>Auteurs</i>
S/80	Français	III.A	Perrin de Brichambaut, C.
S/81	Français	III	Trombe, F., et Foëx, M.
S/82	Anglais	III.D	Chung, R., et Duffie, J. A.
S/83	Anglais	III.C.3	Talwalkar, A. T., Duffie, J. A., et Löf, G. O. G.
S/84	Français et anglais	II.C.1, b, i	Perrot, M., et Touchais, M.
S/85	Anglais	III.E	Strobel, J. J.
S/86	Français et anglais	III.B	Vachet, P., et Mercier, J.
S/87	Anglais	III.C.4	Duffie, J. A., Löf, G. O. G., et Beck, B.
S/88	Anglais	III.D.2	Adler, S., Levite, G., et Tabor, H.
S/89	Français	III.E	Lejeune, G.
S/90	Anglais	II.C.1, b, i	Wilson, V. C.
S/91	Français et anglais	III.B	Peyses, I.
S/92	Anglais	III.A	Schoffer, P., Kuhn, P. M., et Sapsford, C. M.
S/93	Anglais	III.C.2	Olgyay, A.
S/94	Anglais	III.C.2	Yanagimachi, M.
S/95	Français	III.A	Gondet, M.
S/96	Anglais	III.C.1	Andrassy, S.
S/97	Anglais	III.C.1	Whillier, A., et Richards, S. J.
S/98	Anglais	III.A	Page, J. K.
S/99	Anglais	II.C.1, a	d'Amelio, L.
S/100	Anglais	III.C.4	Löf, G. O. G., et Fester, D. A.
S/101	Anglais	III.C.4	Telkes, M., et Andrassy, S.
S/102	Anglais	III.C.1	Mathur, K. N., et Khanna, M. L.
S/103	Anglais	II.C.1, b, i	Breihan, R. R., Daniels, F., Duffie, J. A., et Löf, G. O. G.
S/104	Anglais	III.B	Daniels, F., et Breihan, R. R.
S/105	Anglais	III.A	Ramdas, L. A.
S/106	Anglais	II.C.1, b, ii	Rappaport, P., et Moss, H. I.
S/107	Anglais	III.E	Gomella, C.
S/108	Français	III.F	Achard, J. C.
S/109/Rev.1	Français et anglais	III.D.1	Trombe, F., et Foëx, M.
S/110	Français et anglais	III.C.4	Prata, A. S.
S/111	Français et anglais	III.D.2	Trombe, F. et Henry La Blanchetais, Ch.
S/112	Anglais	III.C.2	Fukuo, N., Kozuka, T., Iida, S., Fujishiro, I., Irisawa, T., Yoshida, M., et Mii, H.
S/113	Anglais	III.E	Nebbia, G.
S/114	Anglais	III.C.2	Löf, G. O. G., El Wakil, M. M., et Chiou, J. P.
S/115	Anglais	III.E	Khanna, M. L., et Mathur, K. N.
S/116	Anglais	III.C.4	Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture — Division de la nutrition
S/117	Anglais	III.A	Drummond, A. J.
S/118	Anglais	II.C.1, b	Baum, V. A., Borovikova, R. P., et Okhotin, A. S.
S/119	Anglais	III.E	Baum, V. A.

# ADRESSES OÙ LES PUBLICATIONS DE L'ONU SONT EN VENTE

## AFRIQUE

**AFRIQUE DU SUD:** VAN SCHAIK'S BOOK STORE (PTY.), LTD.  
Church Street, Box 724, Pretoria.  
**CAMEROUN:** LIBRAIRIE DU PEUPLE AFRICAIN  
La Gérante, B. P. 1197, Yaoundé.  
**ÉTHIOPIE:** INTERNATIONAL PRESS AGENCY  
P. O. Box 120, Addis-Abeba.  
**GHANA:** UNIVERSITY BOOKSHOP  
University College of Ghana, Legon, Accra.  
**MAROC:** CENTRE DE DIFFUSION DOCUMENTAIRE  
DU B.E.P.I., 8, rue Michaux-Bellaire, Rabat.  
**RÉPUBLIQUE ARABE UNIE:** LIBRAIRIE  
"LA RENAISSANCE D'ÉGYPTE"  
9 Sh, Adly Pasha, Le Caire.

## AMÉRIQUE DU NORD

**CANADA:** THE QUEEN'S PRINTER  
Ottawa, Ontario.  
**ÉTATS-UNIS D'AMÉRIQUE:** SALES SECTION,  
UNITED NATIONS, New York.

## AMÉRIQUE LATINE

**ARGENTINE:** EDITORIAL SUDAMERICANA, S. A.  
Alsina 500, Buenos Aires.  
**BOLIVIE:** LIBRERIA SELECCIONES  
Casilla 972, La Paz.  
**BRÉSIL:** LIVRARIA AGIR  
Rua México 98-B, Caixa Postal 3291,  
Rio de Janeiro.  
**CHILI:**  
EDITORIAL DEL PACIFICO  
Ahumada 57, Santiago.  
LIBRERIA IVENS  
Casilla 205, Santiago.  
**COLOMBIE:** LIBRERIA BUCHHOLZ  
Av. Jiménez de Quesada 8-40, Bogotá.  
**COSTA RICA:** IMPRENTA Y LIBRERIA TREJOS  
Apartado 1313, San José.  
**CUBA:** LA CASA BELGA  
O'Reilly 455, La Habana.  
**ÉQUATEUR:** LIBRERIA CIENTIFICA  
Casilla 362, Guayaquil.  
**GUATEMALA:** SOCIEDAD ECONOMICA-  
FINANCIERA  
6a Av. 14-33, Ciudad de Guatemala.  
**HAÏTI:** LIBRAIRIE "À LA CARAVELLE"  
Port-au-Prince.  
**HONDURAS:** LIBRERIA PANAMERICANA  
Tegucigalpa.  
**MEXIQUE:** EDITORIAL HERMES, S. A.  
Ignacio Mariscal 41, México, D. F.  
**PANAMA:** JOSE MENENDEZ  
Agencia Internacional de Publicaciones,  
Apartado 2052, Av. 8A, Sur 21-58, Panamá.  
**PARAGUAY:** AGENCIA DE LIBRERIAS  
DE SALVADOR NIZZA  
Calle Pte. Franco No. 39-43, Asunción.  
**PÉROU:** LIBRERIA INTERNACIONAL  
DEL PERU, S. A., Casilla 1417, Lima.  
**RÉPUBLIQUE DOMINICAINE:** LIBRERIA  
DOMINICANA  
Mercedes 49, Santo Domingo.  
**SALVADOR:** MANUEL NAVAS Y CIA.  
1a. Avenida Sur 37, San Salvador.  
**URUGUAY:** REPRESENTACION DE EDITORIALES,  
PROF. H. D'ELIA  
Plaza Cagancha 1342, 1<sup>o</sup> piso, Montevideo.  
**VENEZUELA:** LIBRERIA DEL ESTE  
Av. Miranda, No. 52, Edf. Galipán, Caracas.

## ASIE

**BIRMANIE:** CURATOR, GOVT. BOOK DEPOT  
Rangoon.  
**CAMBODGE:** ENTREPRISE KHMÈRE DE LIBRAIRIE  
Imprimerie & Papeterie, S. à R. L., Phnom-Penh.  
**CEYLAN:** LAKE HOUSE BOOKSHOP  
Assoc. Newspapers of Ceylon, P. O. Box 244,  
Colombo.  
**CHINE:**  
THE WORLD BOOK COMPANY, LTD.  
99 Chung King Road, 1st Section, Taipeh,  
Taiwan.  
THE COMMERCIAL PRESS, LTD.  
211 Honan Road, Shanghai.  
**CORÉE (RÉPUBLIQUE DE):** EUL-YOO PUBLISHING  
CO., LTD.  
5, 2-KA, Chongno, Seoul.  
**HONG-KONG:** THE SWINDON BOOK COMPANY  
25 Nathan Road, Kowloon.  
**INDE:**  
ORIENT LONGMANS  
Bombay, Calcutta, Hyderabad, Madras  
et New Delhi.  
OXFORD BOOK & STATIONERY COMPANY  
Calcutta et New Delhi.  
P. VARADACHARY & COMPANY  
Madras.  
**INDONÉSIE:** PEMBANGUNAN, LTD.  
Gunung Sahari 84, Djakarta.  
**JAPON:** MARUZEN COMPANY, LTD.  
6 Tori-Nichome, Nihonbashi, Tokyo.  
**PAKISTAN:**  
THE PAKISTAN CO-OPERATIVE BOOK SOCIETY  
Dacca, East Pakistan.  
PUBLISHERS UNITED, LTD.  
Lahore.  
THOMAS & THOMAS  
Karachi.  
**PHILIPPINES:** ALEMAR'S BOOK STORE  
769 Rizal Avenue, Manila.  
**SINGAPOUR:** THE CITY BOOK STORE, LTD.  
Collyer Quay.  
**THAÏLANDE:** PRAMUAN MIT, LTD.  
55 Chakrawat Road, Wat Tuk, Bangkok.  
**VIÊT-NAM (RÉPUBLIQUE DU):** LIBRAIRIE-  
PAPETERIE XUÂN THU  
185, rue Tu-do, B. P. 283, Saigon.

## EUROPE

**ALLEMAGNE (RÉP. FÉDÉRALE D'):**  
R. EISENSCHMIDT  
Schwanthaler Str. 59, Frankfurt/Main.  
ELWERT UND MEURER  
Hauptstrasse 101, Berlin-Schöneberg.  
ALEXANDER HORN  
Spiegelgasse 9, Wiesbaden.  
W. E. SAARBACH  
Gertrudenstrasse 30; Köln (1).  
**AUTRICHE:**  
GEROLD & COMPANY  
Graben 31, Wien, 1.  
B. WÜLLERSTORFF  
Markus Sittikusstrasse 10, Salzburg.  
**BELGIQUE:** AGENCE ET MESSAGERIES  
DE LA PRESSE, S. A.  
14-22, rue du Persil, Bruxelles.  
**DANEMARK:** EJNAR MUNKSGAARD, LTD.  
Nørregade 6, København, K.  
**ESPAGNE:**  
LIBRERIA BOSCH  
11 Ronda Universidad, Barcelona.  
LIBRERIA MUNDI-PRENSA  
Castelló 37, Madrid.

**FINLANDE:** AKATEEMINEN KIRJAKAUPPA  
2 Keskuskatu, Helsinki.  
**FRANCE:** ÉDITIONS A. PÉDONE  
13, rue Soufflot, Paris (V<sup>e</sup>).  
**GRÈCE:** LIBRAIRIE KAUFFMANN  
28, rue du Stade, Athènes.  
**IRLANDE:** STATIONERY OFFICE  
Dublin.  
**ISLANDE:** BÓKAVERZLUN SIGFÚSAR  
EYMUNDSSONAR H. F.  
Austurstraeti 18, Reykjavik.  
**ITALIE:** LIBRERIA COMMISSIONARIA  
SANSONI  
Via Gino Capponi 26, Firenze,  
et Via D.A. Azuni 15/A, Roma.  
**LUXEMBOURG:** LIBRAIRIE J. TRAUSSCH-  
SCHUMMER  
Place du Théâtre, Luxembourg.  
**NORVÈGE:** JOHAN GRUNDT TANUM  
Karl Johansgate, 41, Oslo.  
**PAYS-BAS:** N.V. MARTINUS NIJHOFF  
Lange Voorhout 9, 's-Gravenhage.  
**PORTUGAL:** LIVRARIA RODRIGUES & CIA.  
186 rua Aurea, Lisboa.  
**ROYAUME-UNI:** H. M. STATIONERY OFFICE  
P. O. Box 569, London, S.E.1  
(et agences HMSO à Belfast, Birmingham,  
Bristol, Cardiff, Edinburgh, Manchester).  
**SUÈDE:** C. E. FRITZE'S KUNGL. HOVBOK-  
HANDEL A-B  
Fredsgatan 2, Stockholm.  
**SUISSE:**  
LIBRAIRIE PAYOT, S. A.  
Lausanne, Genève.  
HANS RAUNHARDT  
Kirchgasse 17, Zürich 1.  
**TCHÉCOSLOVAQUIE:** ČESKOSLOVENSKÝ  
SPISOVATEL  
Národní Třída 9, Praha 1.  
**TURQUIE:** LIBRAIRIE HACHETTE  
469 Istiklal Caddesi, Beyoglu, Istanbul.  
**UNION DES RÉPUBLIQUES SOCIALISTES  
SOVIÉTIQUES:**  
MEJDOUNARODNAJA KNIGA  
Smolenskaja Plochtchad, Moskva.  
**YOUgoslavIE:**  
CANKARJEVA ZALOŽBA  
Ljubljana, Slovenja.  
DRŽAVNO PREDUZEĆE  
Jugoslovenska Knjiga, Terazije 27/11,  
Beograd.  
PROSVJETA  
5, Trg Bratstva i Jedinstva, Zagreb.  
PROSVETA PUBLISHING HOUSE  
Import-Export Division, P. O. Box 559,  
Terazije 16/1, Beograd.

## MOYEN-ORIENT

**IRAK:** MACKENZIE'S BOOKSHOP  
Baghdad.  
**ISRAËL:** BLUMSTEIN'S BOOKSTORES  
35 Allenby Rd. et 48 Nachlat Benjamin St.,  
Tel Aviv.  
**JORDANIE:** JOSEPH I. BAHOU & CO.  
Dar-ul-Kutub, Box 66, Amman.  
**LIBAN:** KHAYAT'S COLLEGE BOOK  
COOPERATIVE  
92-94, rue Blass, Beyrouth.

## Océanie

**AUSTRALIE:** MELBOURNE UNIVERSITY  
PRESS, 369 Lonsdale Street, Melbourne, C.1.  
**NOUVELLE-ZÉLANDE:** UNITED NATIONS  
ASSOCIATION OF NEW ZEALAND  
C. P. O. 1011, Wellington.

[62F1]

Les commandes et demandes de renseignements émanant de pays où il n'existe pas encore de bureaux de vente peuvent être adressées à la Section des ventes, ONU, New York (É.-U.), ou à la Section des ventes, ONU, Palais des Nations, Genève (Suisse).