

Les ressources géothermiques de la Hongrie et leur exploitation

par I. NADASDI

INTRODUCTION

La Hongrie est un pays relativement pauvre en ressources naturelles. Elle ne possède pas de débouché direct sur la mer, ses matières premières exploitables sont peu nombreuses et les réserves sont relativement faibles. La même constatation vaut également pour les sources d'énergie. Les capacités hydroélectriques du pays sont faibles et la production de combustibles fossiles ne couvre qu'un peu plus de la moitié des besoins énergétiques du pays. L'amélioration de la productivité dans les secteurs primaire et secondaire est largement conditionnée par le développement de la consommation d'énergie. L'importation accrue des sources d'énergie ou d'électricité, dont le prix vient de connaître un renchérissement brutal, a considérablement détérioré les termes d'échange de la Hongrie et met son commerce extérieur à rude épreuve.

Fort heureusement en dehors d'un sol fertile et facile à cultiver, la Hongrie possède une autre ressource naturelle très importante : ses nappes aquifères géothermiques. Le pouvoir calorifique de ses réserves d'eau est supérieur et de loin à celui de ses réserves de combustibles fossiles. Alors que l'énergie géothermique est de plus en plus évoquée partout dans le monde comme une source d'énergie du futur, il est intéressant de voir comment la Hongrie se prépare à l'exploitation de sa grande richesse naturelle. Dans cette analyse, nous nous proposons de faire le point de la situation, sans nous limiter, bien entendu, à l'utilisation énergétique à proprement parler. L'eau géothermique et son exploitation sont considérées dans notre étude comme un pôle de développement nouveau de l'économie hongroise, permettant de procéder à des combinaisons nouvelles de facteurs de production, aussi bien dans les secteurs primaire et secondaire, que dans le secteur tertiaire.

Cette mise au point est utile également, car l'inventaire géothermique de la Hongrie est très avancé. Le pays possède d'ailleurs une remarquable organisation hydraulique et hydrogéologique, souvent citée comme exemple à l'étranger. La science appliquée hongroise a obtenu de très bons résultats dans le domaine de la maîtrise et de l'exploitation des eaux. C'est grâce à l'activité des savants tournés vers l'action comme P. Vásárhelyi (1795-1846) et V. Zsigmondy (1821-1888) que le pays a

résolu des problèmes aussi importants que l'aménagement hydraulique de l'Alföld et l'alimentation en eau potable d'une bonne partie de la population. Si Vásárhelyi est le champion des régularisations des tracés et des profils des cours d'eau, Zsigmondy est le pionnier non seulement des sondages artésiens, mais aussi de captages exploitant des nappes aquifères profondes et géothermiques. Grâce à ces précurseurs, la qualité de l'école hydrologique hongroise ne s'est plus démentie. On peut alors dire que l'exploitation géothermique du sous-sol hongrois n'a pas seulement un passé centenaire mais aussi un bel avenir devant lui.

I. — LES CARACTÉRISTIQUES GÉOTHERMIQUES ET HYDROGÉOLOGIQUES DU SOUS-SOL HONGROIS

A. — UNE ANOMALIE GÉOTHERMIQUE FAVORABLE.

La température des formations superficielles varie en fonction du réchauffement solaire. Elle suit de manière atténuée et avec quelque retard les variations saisonnières et diurnes de la température. En dessous d'une certaine profondeur appelée zone neutre, ayant une température voisine de la température moyenne annuelle, le degré de chaleur ne dépend plus que du flux interne et de la conductibilité thermique des formations. Le flux géothermique est alimenté par la chaleur terrestre et par la décomposition des matières radioactives. S'il peut être considéré comme stable dans le temps, le flux thermique varie dans l'espace qui connaît des variations locales et régionales. Le flux thermique est défini par la quantité de chaleur passant à travers une surface déterminée pendant un temps donné. Il est plus facile d'utiliser le concept du gradient géothermique pour décrire les caractéristiques principales d'un champ géothermique. On entend par gradient ou degré géothermique, la profondeur dont il faut descendre verticalement dans une formation pour que la température s'y élève d'un degré centigrade. La valeur moyenne du gradient thermique au niveau de la terre se situe autour de 30 à 35 m/°C. La valeur moyenne correspondante pour la Hongrie est de l'ordre de 18 m/°C. La partie intérieure du bassin Carpathique correspond à une zone d'anomalie géothermique négative. Cela signifie qu'à une profondeur de — 500 m, compte tenu de la température de la zone neutre, la température des formations géologiques en Hongrie est proche de 35 °C, contre 25 °C en moyenne dans le monde. Les températures correspondantes pour 1 000 et 2 000 mètres sont situées aux environs de 60 °C et 100 °C en Hongrie, contre 40 °C et 70 °C pour l'ensemble des continents. La figure 1 indique les isogradients de la

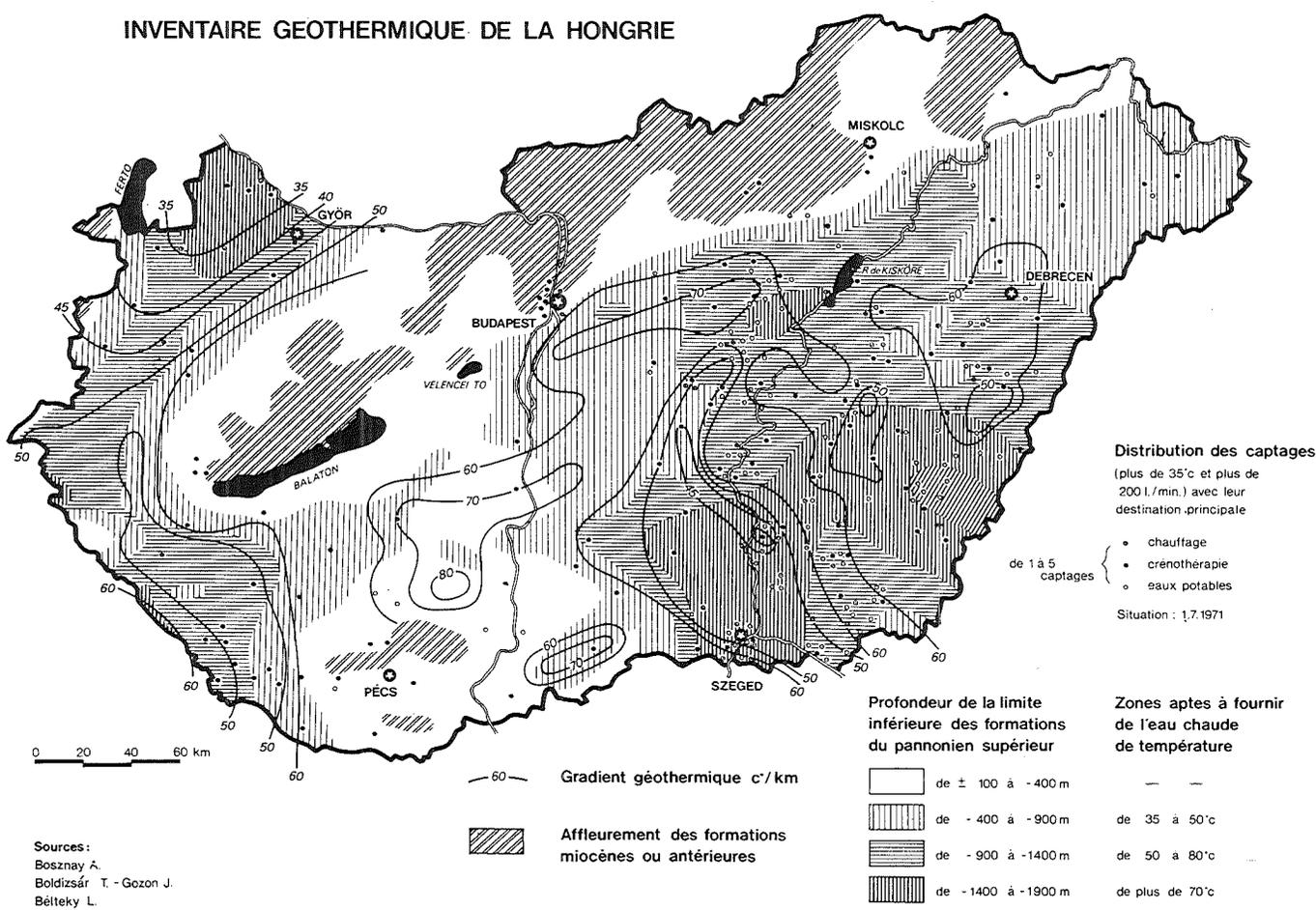


FIG. 1.

Hongrie, empruntés à un travail de T. Boldizsár (1). Afin de faciliter le calcul de la température moyenne des formations géologiques à une profondeur déterminée, le degré géothermique est exprimé sur la carte en C°/km. Dans la mesure où les conditions d'exploitation économique et technique d'un champ géothermique sont largement déterminées par la profondeur des forages, les possibilités de mise en valeur de la chaleur d'origine géothermique sont favorables.

Si dans l'ensemble la Hongrie correspond à une région à anomalie géothermique négative, on y observe toutefois des déviations négatives et positives, zonales ou locales. Il est relativement difficile d'interpréter les caractéristiques géothermiques du sous-sol hongrois. On peut dire que les zones à faible gradient géothermique sont liées à la présence d'accidents tectoniques, à la conductibilité élevée des formations géologiques et surtout à la faible profondeur du socle cristallin.

Quoi qu'il en soit, toutes autres choses étant égales, les zones d'anomalie géothermique négative à l'intérieur de la Hongrie se prêtent particulièrement bien à la prospection géothermique. Nous avons toutefois assorti cette réflexion de la condition *ceteris paribus*. En effet, un champ géothermique, même à très faible gradient thermique, serait très difficile à exploiter dans les conditions technologiques actuelles sans la présence d'un médium fluide, liquide ou gazeux, capable de transmettre la chaleur de la profondeur vers la surface. Cet intermédiaire est l'eau sous forme de liquide ou de vapeur.

Dans le cas de l'exploitation d'un champ de vapeur, on parle de géothermie de haute énergie ou de haute température, et dans le cas de la mise en valeur d'un champ d'eau chaude, on parle de géothermie de basse énergie ou de basse température.

On comprend dès lors que pour une prospection de champ géothermique, il est indispensable d'examiner non seulement les caractéristiques géothermiques du sous-sol, mais aussi les propriétés hydrogéologiques de celui-ci. Il est en effet évident que les meilleures conditions d'exploitation d'un champ géothermique seront réunies lorsque celui-ci est caractérisé non seulement par un faible gradient thermique, mais aussi par la présence de nappes aquifères profondes et puissantes soumises à une pression importante.

B. — PRÉSENCE DE RÉSERVOIRS D'EAU GÉOTHERMIQUE PUISSANTS.

La partie centrale du bassin Carpathique est une région de subsidence, où se sont accumulées de puissantes formations sédimentaires

(1) T. BOLDIZSÁR et J. GOZON, *A geotermikus energia hasznosítása*, Budapest, 1965, p. 9. Voir, aussi la bibliographie à la fin. — Nous tenons à remercier M. W. SMETS du Groupe CREAT d'avoir bien voulu se charger du dessin cartographique.

du Tertiaire supérieur et du Quaternaire. Ces couches sédimentaires se caractérisent également par leur porosité élevée et, par conséquent, par leur haute capacité de rétention d'eau. La porosité et la capacité de rétention d'eau de ces formations varient en fonction inverse de la profondeur. Ce sont, par conséquent, surtout les formations du Pannonien supérieur qui constituent les réservoirs d'eau souterrains de caractère industriel les plus importants de la Hongrie.

Les conditions d'exploitation de ces dernières formations varient en fonction de leur épaisseur. Il est donc très intéressant de consulter une carte indiquant l'épaisseur et la profondeur de ces sédiments. Ils deviennent industriellement exploitables lorsqu'ils dépassent une puissance de 400-500 m et atteignent une profondeur de - 400 à - 500 m (2). Dans ce cas, en effet, les conditions de réalisation d'un captage, pouvant produire de l'eau à 35 °C, ayant un débit de 200-300 l/min au moins, sont généralement réunies. Selon les études stratigraphiques, ces formations du Pannonien supérieur ayant une profondeur de - 400 à - 500 m se retrouvent sous les deux tiers de la superficie du bassin Carpathique. Elles sont aptes à fournir de l'eau chaude d'une température de 35 à 50 °C. Sous quelque 35 % de la superficie, la profondeur de ces formations atteint - 1 400 m et sous 12,5 % environ - 1 900 m ou davantage (3). Les températures des eaux géothermiques correspondantes sont respectivement de 50 à 80 °C et de 80 à 95 °C. Une anomalie géothermique locale négative tend à faire monter la température vers l'extrémité supérieure de la fourchette et une anomalie locale positive vers l'extrémité inférieure de celle-ci.

Au total, les conditions d'obtention d'eau thermique industriellement exploitable sont bonnes sur les deux tiers du pays. Le fait que les bassins les plus productifs se situent dans le sud-est est intéressant, car il contribue à une meilleure répartition des forces productrices dans le pays.

Les formations du Pannonien supérieur renferment plusieurs nappes aquifères, les plus importantes se développant dans des sables et des grès. Les couches du Pannonien inférieur, en dépit de leur profondeur, ne constituent pas des réservoirs intéressants. Etant soumises à une forte pression, leur porosité est faible et le débit obtenu est insuffisant.

Le second type de roche-réservoir important de la Hongrie est constitué par des formations de calcaire dolomitique plus ou moins karstique. Leur condition d'exploitation peut être très favorable. Le débit des captages aménagés dans ces formations est souvent très abondant et la

(2) Les valeurs hypsométriques se rapportent au niveau de la mer. Pour obtenir des cotes relatives au niveau du sol, on doit soustraire 100 m environ de ces valeurs hypsométriques.

(3) Voir notamment L. BÉLTEKY, *A magyar medence hévízhasznosításával kapcsolatos időszerű problémák* (Problèmes actuels relatifs à l'utilisation des eaux thermales du bassin hongrois), dans *Energia es Atomtechnika*, 1966-8, pp. 351-352.

température y est élevée. A Harkany, par exemple, au sud de la ville de Pécs, les sondages de 50 m de profondeur produisent déjà de l'eau thermale à 62 °C. Toutefois, la mécanique hydrogéologique de ces réservoirs est peu connue et leur exploitation présente des caractères aléatoires. De plus, ces formations ne sont présentes que sur 5 % du territoire.

Le volume total de l'ensemble des formations sédimentaires du Tertiaire est estimé à 92 000 km³, dont 40 000 km³ de sédiment poreux. Le volume d'eau contenu dans les sédiments pannoniens géothermiquement utiles est évalué à 4 000 km³. Ce volume correspond aux réserves d'eau géothermique du Pannonien. Cependant, une partie seulement de ce volume d'eau est exploitable. Le volume d'eau libérable est estimé à 400 ou 500 km³ (4). Il faudrait encore y ajouter les autres réserves exploitables et plus particulièrement celle contenue dans les karsts profonds. Très approximativement, nous pouvons estimer leur volume total à 100 km³. Il ne s'agit cependant pas encore de réserves utilement exploitables. Il faut en effet tenir compte des contraintes géographiques d'utilisation de l'eau géothermique. L'eau doit être utilisée, de préférence, à proximité immédiate des captages. Son transport au-delà de 15 km environ devient prohibitif. L'emploi d'eau thermale est donc lié à l'opportunité de son utilisation, elle-même déterminée par la répartition de la consommation. De sorte que 10 à 15 % seulement de l'eau libérable est exploitable, soit 45 à 65 km³ d'eau géothermique.

Quant aux mécanismes des réservoirs, ils sont encore très discutés et les avis sont loin d'être unanimes. D'une manière générale, on admet que l'eau est emmagasinée dans les roches sous forme de lentilles qui communiquent entre elles. L'eau est soumise à une pression dont la valeur est généralement supérieure à la pression hydrostatique et inférieure à la pression géostatique. La pression est généralement suffisante pour que les captages réalisés soient dans leur majorité positifs, produisant de l'eau jaillissante. L'ensemble des couches aquifères, qui se trouvent en interrelations, constitue un système dynamique soumis à une pression importante. Lorsqu'un sondage réduit localement la pression, l'eau tend à remonter à la surface. On a observé, d'autre part, que pendant la période de fermeture éventuelle des puits, le système tend à rétablir la pression initiale en régénérant le fonctionnement des captages. Les baisses de rendement jusqu'à présent observées sont relativement faibles et concernent plutôt les puits exploités dans les formations karstiques.

(4) Voir T. BOLDIZSÁR et J. GOZON, *ouvr. cité*, pp. 87-94 et BÉLTEKY L., *ouvr. cité*, p. 352.

Selon les avis les plus autorisés, la réserve d'eau souterraine comprendrait deux composantes : la réserve dynamique, faisant partie de la circulation d'eau, et la réserve statique, qui ne participe pas au cycle d'eau. La portée pratique de cette distinction est considérable. Il s'agirait donc d'une ressource naturelle en partie renouvelable. Depuis 1971, selon un décret de l'office National de l'Eau (5) (O.V.H. 2/1971) l'exploitation des puits dont le rendement est supérieur à 200 l/min et dont la température est supérieure à 50 °C est subordonnée à des mesures de rendement et de paramètres physico-chimiques des eaux exploitées. L'analyse des résultats contribuera à la connaissance des mécanismes des bassins exploités. On souhaiterait obtenir des informations relatives à l'interférence hydrodynamique des puits voisins. La zone d'influence hydrologique d'un captage moyen est estimé par Boldizsár à 100 km² environ (6).

On peut également poser la question de savoir, quelle est l'importance énergétique des réserves d'eau thermale. Il faut être très prudent dans les calculs et dans l'interprétation des équivalences en calories qu'on avance. Plus encore que pour les réserves en eau, il faut soigneusement séparer les réserves brutes des réserves exploitables, les réserves libérables des réserves exploitées. En outre, une petite partie seulement de l'eau arrivant à la surface peut être exploitée énergétiquement. Selon les calculs de Boldizsár (7), l'ensemble des captages exploités au début des années 1960, et dont la température dépasse 40 °C, avait fourni un peu plus de 110 000 wagons d'équivalent de charbon hongrois à 3 000 kcal/kg. Depuis lors, le nombre de puits exploités a été plus ou moins doublé.

Il est intéressant de citer également un auteur islandais qui, se référant à Boldizsár, écrit : « Measurement of terrestrial heat flow in Hungary were carried out in 1954 and led to the discovery of reserves of 4 000 km³ of hot water (60-200 °C) stored under the hungarian plains. The recoverable heat has been estimated by Boldizsár (1970) at $2,3 \times 10^{19}$ cal. which is about 50 % of the calorific value of the known petroleum reserves of the world » (8).

Il faudrait ajouter également que la Hongrie est l'un des rares pays où l'exploitation de la « géothermie de haute énergie » peut être envisagée en l'absence même de toutes traces d'activité volcanique. Le captage éventuel de la vapeur permettrait de produire directement l'énergie électrique.

(5) L'Office National de l'Eau est une institution de compétence nationale et possède le statut d'un Ministère.

(6) T. BOLDIZSÁR, *Geotermikus energiatermelés* (Production de l'énergie géothermique), Université de Miskolc, Miskolc, 1966, p. 49.

(7) T. BOLDIZSÁR et J. GOZON, *ouvr. cité*, pp. 94-104.

(8) S. S. EINARSSON, *Geothermal district heating*, dans *Geothermal Energy, Earth Sciences*, n° 12, Unesco, Paris, 1973, p. 123.

L'utilisation calorifique de la géothermie de basse température est beaucoup moins économique : de nombreuses difficultés technologiques restent à résoudre. Cette réserve faite, il n'en reste pas moins vrai, que les eaux géothermiques constituent la source énergétique potentielle la plus importante de la Hongrie. Si actuellement l'énergie géothermique n'apparaît pas dans les statistiques du bilan énergétique, on peut raisonnablement espérer que d'ici dix à quinze ans, elle y interviendra pour 4 ou 5 %.

II. — LE « CADASTRE » DES CAPTAGES D'EAUX GÉOTHERMIQUES

Il est relativement difficile d'établir l'inventaire complet des captages d'eau thermale. Le nombre des sondages est en augmentation rapide. En outre, contrairement à l'usage international, en Hongrie, on ne recense comme thermales que les sources ayant une température supérieure à 35 °C, et pour autant qu'elles aient un débit supérieur à 200 l/min. Cette définition rend les comparaisons internationales difficiles, car à l'étranger, certaines sources subthermales, dont la température est inférieure à 35 °C, sont rangées dans la catégorie des eaux thermales. En tout cas, la Hongrie est beaucoup plus riche en sources homo- et hypothermales que les grands pays touristiques d'Europe occidentale tels que la France, la République fédérale d'Allemagne, ou d'Europe méridionale, comme l'Italie ou l'Espagne.

Au 1^{er} janvier 1972 le nombre des captages d'eau thermale était de 466 avec un débit total de 400 m³/min. Leur distribution, compte tenu de leur température et de leur rendement, est donnée au tableau I.

TABLEAU I. — Distribution des captages géothermiques selon la température et le débit au 1^{er} janvier 1972 (9).

°C	Nombre	%	Débit (m ³ /min)	%
35-40	194	41,5	109,9	28,0
45-59	133	28,6	106,4	27,2
60-69	50	10,8	50,3	12,8
70-79	34	7,3	42,2	10,7
80 et +	55	11,8	83,4	21,3
TOTAL	466	100,0	392,2	100,0

(9) L. BÉLTERKY, *Hévízkutak létesítése es komplex hasznosítása* (L'implantation des captages géothermiques et leur exploitation), dans *Hidrologiai közlöny*, 1973/1, p. 28.

S'il n'existe pas une liaison claire entre la température et le nombre de captages, il apparaît que le débit moyen augmente régulièrement avec la température. D'autre part, la perte de température entre le pied et la tête de sondage est, comme les études statistiques le prouvent, de 15 % environ. Pour les cinq catégories de températures retenues, les débits moyens des captages, comme on peut les calculer d'après le tableau, s'établissent comme suit : 560 l/min, 800 l/min, 1 000 l/min, 1 250 l/min et 1 500 l/min. La température constitue une qualité physique essentielle de l'eau et conditionne largement son utilisation. Mis à part le problème d'utilisations successives, les eaux de température inférieure sont plutôt utilisées à des fins balnéaires ou comme eau potable, tandis que les eaux à haute température servent au chauffage.

Le tableau II donne l'utilisation principale des captages au 1^{er} janvier 1972 (10).

TABLEAU II. — Utilisations principales des captages au 1^{er} janvier 1972.

	Nombre	%	Débit total (m ³ /min)	%
Eau potable	110	23,6	56,4	14,3
Utilisation balnéaire	195	41,8	167,2	42,6
Chauffage agricole	77	16,5	115,7	29,6
Chauffage domestique et municipal	6	1,3	9,5	2,4
Usage industriel	11	2,4	10,6	2,7
Réinjection	11	2,4	12,4	3,2
Mis sous scellés	56	12,0	20,4	5,2
Total	466	100,0	392,2	100,0

On remarquera que l'usage traditionnel pour l'approvisionnement en eau potable et pour l'approvisionnement des bains et des piscines reste prépondérant. Le chauffage des installations agricoles commence à prendre de l'importance. L'utilisation pour des usages domestiques et municipaux reste encore très modeste. Le débit moyen des captages d'eau potable est de 510 l/min, celui des bains de 850 l/min, tandis que le rendement des sondages réalisés pour des fins de chauffage est de 1 500 l/min.

La température des eaux géothermiques influe également sur le chimisme des eaux. Toutefois, la géochimie des eaux, la quantité et la qualité des sels et de gaz dissous sont aussi fonction de la pression et de la nature des roches-réservoirs. De manière générale, la concentration

(10) L. BÉLTEKY, *ibidem*, p. 29.

en sel augmente avec la profondeur et la composition chimique de l'eau peut être considérée comme une caractéristique du faciès des roches. La classification hongroise distingue, selon la composition chimique, dix catégories d'eau minérale. Nous nous garderons de les énumérer. Disons simplement que 86 % des captages produisent de l'eau minéralisée, et 46 % appartiennent à la catégorie des eaux chargées de bicarbonate de potassium et de calcium. La teneur en sel peut atteindre de 50 à 60 g/l. La forte minéralisation des eaux présente des avantages et des inconvénients. La teneur importante en sel et gaz est intéressante dans la mesure où elle améliore les principes thérapeutiques des eaux, mais cette eau n'est plus neutre écologiquement. Contrairement à ce qu'on croît, l'eau thermominérale est agressive et polluante.

L'élimination des eaux thermales et thermominérales pose des problèmes particuliers à cause du danger de pollutions chimique et thermique. La réinjection systématique des eaux usées, technique encore peu utilisée en Hongrie, pourrait constituer la solution la plus satisfaisante. L'eau thermominérale s'attaque également aux installations de captage et tend à former des incrustations. La plupart des installations de sondage doivent être traitées régulièrement pour éviter l'obturation des forages et la perte de débit. Certaines installations doivent être traitées de dix en dix jours. Ce détartrage se répercute sur le coût d'exploitation des installations. D'autre part, l'extraction des sels pour la production industrielle n'est pas une opération présentant un grand intérêt sur le plan économique. Il en est différemment de la séparation des gaz ; la séparation du méthane, notamment, constitue souvent un appoint de production avantageux. La mise en bouteille des eaux minérales constitue également une activité intéressante. Malheureusement, la demande d'eau minérale sur le marché intérieur est encore minime.

A présent, on peut se poser la question de savoir si la production actuelle des eaux géothermiques est en rapport avec les réserves disponibles. On peut facilement établir que les réserves sont encore fort peu sollicitées. A supposer que la production des captages soit continue, le débit total indiqué au tableau II correspond annuellement à une production de $2 \cdot 10^8$ m³ d'eau chaude. Ce volume correspond à 1/3 000 des réserves exploitables et à 1/325 des réserves utilement exploitables telles que nous les avons définies plus haut. Selon les experts, si l'on t'en compte d'une durée d'exploitation utile de 50 ans, le nombre de puits pourrait être doublé, et si l'on fait intervenir la fermeture des sondages pendant la mauvaise saison, le nombre de forages pourrait être quadruplé. Tout ceci, bien sûr, n'est qu'un ordre de grandeur (11). Ce type de calcul ignore par contre le renouvellement éventuel des réserves.

(11) BOSZNAY, *Thermalwasserprobleme in Ungarn*, dans *Berichte zur Raumforschung, Raumordnung und Raumplanung*, 1971/2, p. 28.

Au total, la Hongrie possède des réserves d'eau géothermique considérables, constituant une richesse naturelle encore peu exploitée. Elle est sans doute appelée à devenir dans les décennies à venir un pôle de développement de l'économie hongroise.

D'autre part, si l'exploitation de la capacité thermique des champs de vapeur constitue une des sources les plus économiques pour produire de l'électricité, la mise en valeur de la géothermie de basse énergie aussi, est non seulement techniquement possible dès maintenant, mais également économiquement rentable.

III. — L'EXPLOITATION DE L'EAU GÉOTHERMIQUE PRODUITE

Si, depuis des décennies, beaucoup de savants ont franchement mis sur l'exploitation des eaux géothermiques, les autorités économiques et le grand public ont par contre affiché un scepticisme voire une indifférence à l'égard de cette source d'énergie. Aussi l'histoire de l'utilisation des eaux thermales connaît-elle des périodes d'optimisme et d'accélération et des périodes de discrédit et d'abandon. Au début des années 1960, on a caressé l'espoir du lancement d'un grand programme d'utilisation des ressources géothermiques ; le Comité National de Développement Technologique a financé la réalisation de dizaines de forages. Le lancement d'un programme de chauffage des unités résidentielles sur la base des captages géothermiques était dans l'air. Malheureusement pour le programme et pour le bien du pays, un des premiers sondages réalisés à cet effet dans la région de Szeged a fait découvrir le plus important gisement de pétrole et de gaz du pays. A l'inverse, de nombreux forages en vue de la recherche d'hydrocarbures n'ont produit que de l'eau et étaient souvent convertis en puits géothermiques. Etant donné l'importance relative des réserves de gaz, les unités résidentielles nouvelles étaient munies de centrales de chauffage fonctionnant au gaz. On sait, d'autre part, qu'actuellement de grands projets relatifs à l'exploitation complexe des ressources géothermiques sont en cours. La meilleure preuve en est que le gouvernement hongrois a sollicité le concours financier et technique du Fonds de Développement des Nations-Unies (U.N.D.P.). La demande a été acceptée sous le numéro « ONU HONGRIE 1971/511 ». Le travail s'effectue dans le cadre du Bureau du Projet de Développement et de Planification créé par un arrêté du Ministère de la Construction et du Développement urbain (EVM 21/1973). Il s'agit d'un programme de cinq ans et pour les résultats il faudra sans doute attendre la fin de 1976.

A. — LE MODÈLE D'UTILISATION COMPLEXE DES SOURCES THERMALES.

L'exploitation des sources thermales est non seulement techniquement possible mais aussi économiquement rentable. Elle l'est déjà lorsqu'il

s'agit d'une utilisation à fin unique et elle l'est à plus forte raison, lorsqu'il s'agit d'une utilisation à double ou multiple fin. Une des caractéristiques économiques de l'exploitation des eaux géothermiques consiste dans l'importance relative des frais d'investissement. Ceux-ci peuvent, cependant, facilement être amortis grâce à la modicité des frais de fonctionnement. Nous avons déjà vu, d'autre part, que l'utilisation de l'eau chaude est fortement liée à la localisation du sondage. Il est également utile de se rappeler que les conditions d'exploitation d'un captage géothermique dépendent dans une mesure appréciable de la température de l'eau et de sa teneur en sel.

Même s'il s'agit d'une vue de l'esprit, il est utile de décrire comment une chaîne d'utilisation complexe peut être imaginée. La chaîne opère par un refroidissement progressif de l'eau de 100 °C à 35 °C.

1. L'extraction des gaz, et plus particulièrement du méthane, peut être faite en vue d'une utilisation à des fins de séchage notamment. L'extraction du gaz peut être industrielle, ou peut simplement servir pour augmenter la capacité calorifique de l'eau.
2. L'eau à 100 °C peut être utilisée pour la production d'électricité, pour des usages frigorifiques ou pour le chauffage.
3. De l'eau à 80 °C on peut tirer parti pour le chauffage des bâtiments résidentiels, publics ou industriels, ainsi que pour assurer le chauffage des serres.
4. L'eau à 50 °C ou 60 °C convient bien à la distribution d'eau chaude domestique ou industrielle. Elle peut servir au chauffage de l'air ou du sol des cultures maraîchères et horticoles pratiquées sous serre. Elle serait utile également pour le chauffage des étables et des installations d'aviculture. L'utilisation la plus intéressante est cependant celle en vue de l'alimentation en eau des bains thermaux couverts. On envisage également l'emploi de cette eau dans le domaine de la pisciculture et de la production d'algues.
5. L'eau à 35 °C environ peut être utilisée comme eau potable, et lorsque la teneur en sel est faible, comme eau d'irrigation. A cette température, elle peut servir également à l'alimentation des bains et piscines installés à ciel ouvert.

A plusieurs stades de ces utilisations successives, on peut, et on doit même éventuellement, extraire les sels minéraux dissous. Les sels obtenus sont surtout utilisés dans les industries pharmaceutiques.

De nombreux facteurs géographiques, économiques et technologiques rendent difficile l'utilisation complexe des ressources thermales en un lieu ou un temps donné. Fort heureusement, une exploitation économique ne doit pas nécessairement comprendre l'ensemble des stades décrits. D'autre part, une utilisation optimale nécessite aussi une certaine spécialisation de

la production, entendue aussi bien dans le sens technologique que géographique.

B. — UNE UTILISATION NOBLE APPELÉE À CONNAÎTRE UN RENOUVEAU : LE THERMALISME.

La réputation du thermalisme hongrois n'est pas en rapport avec les possibilités qu'il offre et la fréquentation notamment est insuffisante par rapport à l'équipement existant. Le recrutement de la clientèle ne peut être que le résultat d'un travail de longue haleine soutenu par le développement continu des stations thermales et par une publicité bien faite. Il est vrai que le thermalisme et la crénothérapie (12) ont connu une longue période de désaffection du public et de scepticisme de la part des milieux médicaux. Depuis quelque temps on assiste cependant à un renversement de la situation et on est peut-être à la veille d'un nouvel essor.

Il faut tout d'abord remarquer que toutes les sources thermales n'ont pas un intérêt médical, même si tout captage d'eau chaude peut alimenter des bains municipaux sanitaires. Cependant, certains établissements thermaux ne sont pas alimentés par des eaux chaudes, mais par des eaux subthermales fortement minéralisées. On en connaît beaucoup en Hongrie, à commencer par les bains de Balatonfüred. Ils sont souvent situés dans la dorsale hongroise (correspondant *grosso modo* aux zones d'affleurement des formations mézozoïques ou antérieures ; voir fig. 1), dans un cadre naturel attrayant, alors que les bains thermaux d'intérêt thérapeutique se trouvent pour la plupart dans les plaines hongroises plus monotones. On remarquera que les captages opérés principalement en vue de la balnéothérapie sont assez régulièrement répartis sur les deux tiers du territoire : la Hongrie possède donc un réseau d'établissements thermaux à mailles serrées. Les éléments de ce réseau sont également hiérarchisés en fonction de leur localisation, leur importance et surtout en raison de leur valeur thérapeutique. A valeur médicale égale, ce sont surtout les bains situés dans les grandes agglomérations, dans les zones de tourisme et de loisirs et à proximité des voies de communication de transit qui font l'objet d'attention dans les projets en voie d'élaboration. On compte classer les stations thermales en trois catégories : la première comprendrait les établissements d'intérêt national (et aussi international), la seconde engloberait les bains d'intérêt régional et la troisième ceux dont l'intérêt est purement local. On propose d'inclure dans la catégorie supérieure les établissements de Császár, de Gellért, de Lukács et de

(12) On entend par crénothérapie le traitement par les eaux de source.

Széchenyi à Budapest, ainsi que les stations de Balatonfüred, d'Eger, de Hajdúszoboszló, de Harkány, de Héviz et de Parád en province (13).

Budapest comprend également cinq établissements d'intérêt régional. Les Turcs ont fait beaucoup pour le développement du thermalisme budapestois ; le thermalisme est l'un des rares domaines dans lesquels les Turcs ont laissé « un bon souvenir » de leur passage en Hongrie. La capitale hongroise est sans doute une ville thermale unique au monde. L'ensemble des stations de Budapest présente une gamme presque complète des principes thermo-minéraux reconnus par la médecine. Les eaux thermales sont également riches en gaz et en boues radioactives. La créthérapie peut être complétée par des applications de vapeur et de boue et par l'absorption d'eaux minérales de composition et de température des plus variées.

Les bains thermaux renforcent l'attrait touristique de la capitale, mais d'un autre côté, les établissements thermaux sont valorisés par le patrimoine architectural, historique et culturel de cette métropole. Cependant, si la fonction touristique de Budapest s'est considérablement développée depuis la guerre, le nombre de curistes a connu une chute verticale. En 1938, 35 000 curistes ont passé onze jours en moyenne dans les stations thermales de Budapest, dépensant quelque 7,5 millions de dollars (14). A l'heure actuelle la clientèle des bains se rencontre surtout parmi les Budapestois mêmes ; le million de touristes étrangers visitant la capitale séjourne moins de trois jours, tout en ignorant les équipements thermaux.

Quoi qu'il en soit, les responsables voudraient promouvoir le fait thermal à un niveau de pôle de croissance autonome du tourisme national et international. Le pays manque de plages marines, de paysages naturels grandioses et d'ensembles historiques et architectoniques exceptionnels. On croit que les richesses touristiques existantes, qui ne sont pourtant pas négligeables, pourraient être enrichies par le « fait thermal ».

L'organisation en réseaux des établissements thermaux serait également réalisée en fonction des corridors de transit automobile. Sur ce plan, la position de la Hongrie est favorable, mais les quelque trois millions de touristes en transit n'utilisent pour ainsi dire pas les services hongrois, traversant le pays sans s'arrêter. Aux yeux des responsables, les établissements thermaux situés à proximité des routes de transit pourraient freiner la mobilité de ces touristes. Au besoin, l'eau thermo-minérale d'origine géothermique pourrait être conduite par des aqueducs jusqu'à ces axes de transit ; dans certains cas, l'eau géothermique peut, en effet, être transportée dans des conditions satisfaisantes à 10 ou 15 km de leur point d'origine.

(13) A. BOSZNAY, *A termálvizkérdés Magyarországon* (La question de l'eau thermale en Hongrie), dans *Varosépítés*, 1971/5, p. 27.

(14) A. BOSZNAY, *ouvr. cité*, p. 27.

L'idée d'allonger la saison touristique, voire même d'utiliser certains équipements pendant toute l'année à l'intérieur des principales régions touristiques, par la réalisation des captages géothermiques, fait des progrès. L'étang de Héviz et les installations de Balatonfüred ont déjà joué ce rôle dans la région du lac Balaton. En particulier l'étang de Héviz à proximité de l'extrémité occidentale du lac constitue un des hauts lieux touristiques du pays. C'est un lac thermal (le second en importance, après un lac situé en Nouvelle-Zélande) de 5 hectares de superficie, ayant une profondeur de 35 m. Il est alimenté par plusieurs sources naturelles et par des captages. La température de ses eaux oscille entre 29 °C et 42 °C. La gamme thérapeutique thermale y est étendue et les boues radioactives notamment sont très utilisées dans la fangothérapie.

Si, comme l'indique la figure 1, les conditions hydrologiques et géophysiques pour la mise à jour des nappes d'eau géothermique ne sont pas des plus favorables dans le voisinage immédiat du lac, on n'a pas moins réussi à aménager plusieurs captages à faible distance des rives sud-occidentales. Il en est ainsi des bains de Zalakaros, d'Igal et de Csisztapuszta. Ce dernier se trouve à 8 km seulement du centre balnéaire balatonien de Fonyód. On envisage de relier Csisztapuszta par un aqueduc pour alimenter en eaux thermales les installations crénothérapeutiques prévues à Fonyód. Par mauvais temps, tous ces établissements — en dépit de leur équipement rudimentaire — sont littéralement envahis par la foule des estivants du lac Balaton.

Si le long du Danube — Budapest excepté — les conditions d'implantation des captages thermominéraux ne sont pas des plus favorables, il en est différemment le long de la Tisza et de ses affluents de gauche. A peu près partout, on peut obtenir de l'eau géothermique à volonté. C'est le cas, en particulier, autour du réservoir de Kisköre, en voie de remplissage. Cette région connaît un développement touristique rapide, les activités balnéaires, nautiques et halieutiques s'y complétant heureusement par le repos crénothérapeutique.

Le fait que pratiquement toutes les grandes villes de la province possèdent leurs propres établissements thermaux constitue également un avantage, ne fût-ce que par la présence d'une clientèle nationale nombreuse. Soulignons également que parmi les villes d'intérêt touristique international, Eger et Gyula sont également renommées pour leurs thermes.

Au total, ce ne sont pas les potentialités qui manquent. Malheureusement, dans ce domaine, et pas plus que dans d'autres, l'offre ne crée pas son propre débouché. Il faut amplifier la clientèle à la fois nationale et étrangère. S'il est un truisme d'affirmer que sans demande indigène il n'y a pas de thermalisme véritable, il n'en reste pas moins évident que pour réellement tirer parti des possibilités, il faut attirer également

la clientèle étrangère. Certes, un certain âge d'or du thermalisme est révolu et le curiste individuel est devenu rare, mais en contrepartie la généralisation de la sécurité sociale peut amener des masses de curistes mutualistes. Il semble bien notamment que les mutualités suédoises et autrichiennes soient intéressées par le marché hongrois.

Il ne faudrait pas négliger deux types de clientèle : les enfants et les personnes du troisième âge. La cure thermale est, si l'on en croit les recherches françaises, particulièrement bénéfique aux enfants. Aussi pourrait-on organiser des classes thermales. D'autre part, en gérontologie également l'efficacité du thermalisme n'est plus à démontrer. Les personnes âgées ont d'ailleurs un emploi du temps plus souple et peuvent faciliter l'étalement des cures en dehors de la période de pointe. Certaines stations pourraient également se spécialiser dans des cures de relaxation réservées à des personnes adultes surmenées.

S'il est utile d'intégrer les établissements thermaux dans des centres de loisirs pour augmenter l'éventail des distractions et favoriser le rapprochement des générations, il n'en reste pas moins vrai que pour rendre le séjour efficace, il faut assurer aux curistes une atmosphère et un décor reposants. D'autre part, pour être médicalement efficace, une cure doit durer au moins deux ou trois semaines. Cette observation va à l'encontre du modèle de promotion du thermalisme qui opère par la mobilité du touriste possédant une voiture. La cure thermale pourrait être également liée à des cures climatiques et héliothérapeutiques. Harkány, avec son climat subméditerranéen d'une part, et de nombreuses stations de l'Alföld d'autres part, paraissent convenir à de telles associations. De même, dans plusieurs stations les conditions sont réunies pour développer la spéléothérapie.

Toutefois, le développement du thermalisme est largement conditionné par la confiance accordée à la crénothérapie, entendue dans un sens large. Après une grande désaffection manifestée par le public, préférant les traitements directs par des substances chimiques, un virage s'amorce dans l'attitude collective. La méfiance à l'égard de la chimiothérapie s'accroît et la popularité des traitements naturels se développe. Une attitude plus positive du corps médical ne peut qu'amplifier cette évolution. Le thermalisme médical doit se débarrasser de son « empirisme » excessif. La recherche fondamentale en matière de thermalisme et la formation de médecins spécialistes thermalistes devraient être développées. Jusqu'il y a peu, la formation de ces spécialistes était complètement négligée. Il manque également du personnel qualifié auxiliaire et technique.

Les applications médicales du thermalisme sont extrêmement variées. Les principes curatifs découverts augmentent constamment. Les statistiques prouvent que les meilleures applications se trouvent dans les domaines des traitements des rhumatismes, des maladies des voies respira-

toires ainsi que dans celui des convalescences post-opératoires. Si ces vertus curatives sont reconnues, il faudrait également poursuivre les recherches pour étayer le rôle de la crénothérapie dans la médecine préventive.

Comme on le voit, la spécialisation des stations est nécessaire pour créer un réseau d'établissements fonctionnels. Il faut toutefois donner à chaque élément de ce réseau une certaine taille pour pouvoir assurer les équipements, le personnel et les activités satellites indispensables. Sans doute le saupoudrage excessif constitue-t-il un frein au développement. Si la richesse principale est l'eau thermominérale aux principes curatifs médicalement reconnus, il ne suffit pas de s'hypnotiser sur l'eau seule. Il faut également développer le décor et le cadre des stations thermales. Ceux-ci sont souvent très négligés et les équipements fréquemment vétustes. Le problème de la rénovation des installations se pose partout, tout comme le réaménagement de leurs environs. La reconstruction des stations d'intérêt national et régional existants devrait, à notre sens, être prioritaire, primant même la promotion d'établissements nouveaux.

Avant de pouvoir profiter des retombées économiques des activités du thermalisme, il faudrait procéder à des investissements de remplacement et à des investissements nouveaux considérables, tout en n'oubliant pas la formation des cadres médico-hospitaliers, touristiques et techniques. En plus de l'intense activité de programmation que l'on enregistre, il faut également évoquer la création de la Société *Danubius*, chargée de promouvoir le tourisme et la cure thermale en Hongrie. Signalons aussi que certains sous-produits du thermalisme hongrois sont exportés, tels que les boues médicamenteuses, vendues à l'étranger sous le nom de *Kompressz*.

Rappelons également que les eaux thermo-minérales sont souvent employées dans les bains publics municipaux et aussi dans les piscines. Même s'il ne s'agit pas forcément d'une utilisation économique de cette richesse minérale, l'intérêt de ce type d'exploitation est considérable sur le plan de la santé publique. D'autant plus que les installations privées de salles de bains ne sont pas encore très répandues dans les vastes régions rurales de l'Alföld.

C. — UNE EXPLOITATION NOUVELLE APPELÉE À SE DÉVELOPPER : LE CHAUFFAGE GÉOTHERMIQUE.

Dans les pays développés des zones tempérées, les ménages consomment quelque 25 % de l'énergie produite. Une bonne partie de cette énergie est consacrée au chauffage. Le chauffage des locaux d'habitation et de l'eau domestique constitue une partie considérable des bilans énergétiques des économies nationales. L'importance de ce poste s'accroît encore lorsqu'on tient compte du chauffage et de la distribution d'eau

chaude dans les bâtiments publics et dans les bureaux, ainsi que dans les usines. Aussi, l'utilisation de l'eau géothermique pour le chauffage et pour la distribution d'eau chaude ferait faire une économie considérable de combustible fossile. Pour la clarté de l'exposé, il convient de distinguer le chauffage des ensembles résidentiels, des usines et des bâtiments publics d'une part, le chauffage des équipements agricoles d'autre part. La première utilisation n'est pas directement orientée vers la production, tandis que la seconde constitue un facteur de production direct. Il est intéressant de remarquer que les captages destinés à l'alimentation d'équipements de chauffage sont moins dispersés que les établissements de bains thermaux (voir fig. 1). Les captages à des fins industrielles exigent des normes plus élevées quant au débit et la température : il faut un débit de plus de 1 000 l/min et une température supérieure à 70 °C. Les puits servant au chauffage en Hongrie ont un débit moyen de 1 500 l/min et l'eau géothermique produite possède une température moyenne de 80 °C.

1. *Le chauffage des bâtiments.* — Ce type de chauffage requiert une production d'importance moyenne, de pouvoir calorifique en rapport avec la capacité thermique des captages. Cette production d'importance moyenne correspond à un ensemble de 1 000 à 1 500 logements, à un groupe de bâtiments publics ou à une usine importante. Le modèle d'urbanisme hongrois, avec ses constructions en hauteur et avec le regroupement des équipements collectifs, favorise la création de centrales de chauffe, voire d'installations de chauffage urbain. Le célèbre hôtel Gellért, construit au début du siècle, annexé aux bains thermaux de même nom, est chauffé par l'air chaud, sous-produit de l'exploitation complexe des sources.

Ce n'est cependant que depuis une quinzaine d'années que l'on songe à l'utilisation systématique et industrielle de l'énergie géothermique pour le chauffage des ensembles résidentiels. Les calculs sont favorables du point de vue économique ; les frais d'investissement pour le chauffage utilisant le pouvoir calorifique des eaux géothermiques sont comparables à ceux des autres types de chauffage. Les dépenses fixes sont plutôt inférieures à celles qu'exigent les installations fonctionnant au charbon et un peu supérieure à celles du chauffage au gaz. Mais les dépenses d'exploitation sont sensiblement inférieures, du fait même de l'absence de frais d'achat de combustibles. Un autre avantage réside dans la facilité de la distribution de l'eau chaude, qui apparaît comme un sous-produit. Les calculs économiques et l'expérience montrent que les frais d'investissement peuvent être amortis en quatre ou cinq ans, alors que la durée de vie des installations est très longue. Le dessalage éventuel des eaux

(15) S. S. EINARSSON, *ouvr. cité*, p. 125.

et la lutte contre les pollutions chimiques et thermiques peuvent cependant augmenter les frais de fonctionnement.

Au milieu de l'année 1969, le volume total des bâtiments chauffés à l'eau géothermique était estimé à 500 000 m³ environ par Boldizsár (15). Chiffre encore modeste, même s'il y a des raisons de croire que depuis lors le volume chauffé s'est considérablement accru. En fait, le développement de ce type d'utilisation était arrêté par la découverte des gisements de gaz et son utilisation massive comme combustible.

La réalisation la plus importante est l'ensemble résidentiel du quartier d'Odessa de Szeged, comprenant quelque 1 200 logements ; les installations de chauffage fonctionnent depuis dix ans, à la satisfaction générale des intéressés, semble-t-il. A côté de cette réalisation, il faut également mentionner le chauffage des cliniques universitaires de Szeged, celui des hôpitaux de Szentes de Makó et celui d'une importante usine à Hódmezővásárhely. Toutes ces villes se situent dans le sud-est du pays, où les conditions d'exploitation des champs géothermiques de basse température sont très favorables.

Il y a tout lieu de croire que ce type d'utilisation connaîtra un développement considérable dans un proche avenir. Selon les prévisions du plan, en effet, le nombre de logements chauffés à l'eau géothermique atteindra, en 1985, 80 000 unités équivalant à quelque 20 millions de m³ chauffés (16). Il serait sans doute intéressant de mettre au point des technologies nouvelles relatives à l'ensemble des types d'exploitation et à la conversion de la chaleur qui constitueraient sans doute des « biens » exportables. En effet, il n'y a pas de doute, l'intérêt pour l'exploitation industrielle de nouvelles sources d'énergie s'accroît dans le monde et l'énergie géothermique n'échappe pas à cette règle. Le goulot d'étranglement dans l'utilisation complexe des ressources géothermiques ne se situe pas au niveau hydrogéologique mais bien à celui de l'économie et de la technologie.

Si l'utilisation de l'énergie géothermique pour le chauffage des bâtiments reste modeste, dans le domaine du chauffage des installations agricoles, elle est beaucoup plus importante, comme nous allons le voir.

2. *Le chauffage des installations agricoles.* — L'utilisation des eaux géothermiques peut devenir un facteur de modernisation de l'agriculture. Quelques 80 captages sont affectés à titre principal à l'usage de l'agriculture. La plupart de ces puits ont été conçus et implantés, tout comme ceux qui servent au chauffage des bâtiments, en fonction des exigences prévues.

Ici aussi, l'exploitation d'un puits nécessite une organisation complexe, des captages importants, et surtout une production d'eau chaude en

(16) N., *Eltető viz* (L'eau vivifiante), dans *Figyelő*, 9 mai 1973, pp. 1-2.

rapport avec la demande. Celle-ci peut difficilement être assurée en dehors d'une organisation coopérative. L'agriculture hongroise étant « socialisée », le régime de la propriété et le morcellement des exploitations ne fait pas obstacle à l'exploitation des captages.

L'usage le plus répandu consiste dans le chauffage de l'air des serres et le chauffage du sol des couches de forçage plus ou moins couvertes. On chauffe actuellement quelque 45 hectares de serres et quelque 85 hectares de couches dites « hollandaises » (17). Ce type d'utilisation, lié à la production des primeurs et des fleurs, est parmi les plus économiques. Paradoxalement, le goulot d'étranglement dans le développement s'installe non pas dans le manque d'eau, mais dans l'insuffisance de la capacité de production des serres. La fabrication de serres est restée une activité artisanale. Le gouvernement vient de lancer un programme de développement de production de légumes. On compte augmenter le nombre de serres chauffées à l'eau thermale et on espère industrialiser la fabrication des serres. Dans le calcul du prix de revient de la production des cultures sous serre chauffée, le coût du chauffage intervient pour 40 à 50 % lorsqu'on utilise des combustibles fossiles, et seulement pour 15 % environ lorsqu'on utilise les eaux thermales.

L'utilisation agricole des eaux géothermiques présente deux inconvénients. D'abord, la demande d'eau chaude est saisonnière et généralement très faible en été. On doit donc prévoir une utilisation périodique de l'eau ou un dispositif capable d'adapter le débit des captages aux besoins. Ensuite, il est relativement difficile d'organiser, faute de demande suffisante, l'utilisation complexe des eaux. Le chauffage des bureaux, des bâtiments d'exploitation et des étables sont des utilisations plus concurrentes que complémentaires. La distribution d'eau chaude est d'intérêt limité tout comme l'utilisation balnéaire. D'autre part, l'eau tiédie ne se prête que rarement à l'irrigation. On est en train d'expérimenter des utilisations nouvelles dans le domaine de la pisciculture et de la production des algues. Les informations relatives à ce sujet sont rares. Une des utilisations complémentaires apparaît dans le développement de la chaleur produite à des fins de séchage et de conservation de produits agricoles. Enfin, dans certains cas, l'eau thermale est également utilisée comme eau potable.

Le fait que les champs géothermiques les plus productifs et les régions disposant des meilleures forces productrices naturelles se superposent constitue une situation favorable, dont les plans de développement tireront certainement parti. Cette situation est d'autant plus favorable qu'elle contribue non seulement au développement et à la diversification des

(17) L. MATYÁS, *A termálviz jelentősége és hasznosítása* (L'importance de l'eau thermale et son utilisation), dans *Területrendezés*, 1973/4, p. 118.

activités, mais aussi à leur répartition plus équilibrée sur le territoire national.

D. — UNE UTILISATION TRADITIONNELLE : L'EAU THERMOMINÉRALE UTILISÉE COMME EAU POTABLE.

Comme le montre le tableau II, presque 15 % des captages servent en ordre principal à l'alimentation en eau potable. Cette utilisation peut surprendre, car la bonne eau potable est une eau fraîche peu chargée de sels. Pour comprendre cette situation, il faut se rappeler que la mise en valeur séculaire de la Grande Plaine ne pouvait qu'aller de pair avec la production d'eau potable. Le problème a été résolu principalement pendant le dernier tiers du XIX^e siècle, par le forage de très nombreux puits artésiens. Il existe actuellement quelque 40 000 de ces puits, situés dans leur très grande majorité dans l'Alföld. Dans beaucoup de régions de cette plaine, les nappes phréatiques ne fournissent pas d'eau propre à la consommation. Heureusement, les nappes aquifères peu profondes y sont atteintes aisément par des puits artésiens. Il existe toutefois deux ou trois zones dans la Grande Plaine, où ces nappes ne produisent pas d'eau jaillissante ou n'en produisent qu'en quantité insuffisante. Dans ces zones, il faut exploiter des nappes situées à une profondeur de 500 à 600 m. A cause de la profondeur, elles donnent des eaux thermales généralement minéralisées dont la température moyenne oscille entre 35 et 45 °C ; elle est parfois même plus élevée (18). La répartition des puits servant à obtenir de l'eau potable révèle la situation de ces zones.

Les eaux potables thermales ne laissent guère de possibilités à l'usage double ou multiple. Leur température est relativement peu élevée et elles sont presque intégralement consommées. Théoriquement du moins, le surplus pourrait alimenter des bains et des piscines à ciel ouvert.

Dans ce contexte, il est intéressant de mentionner le problème du marché des eaux minérales. En Hongrie, c'est une industrie encore peu développée. Pourtant, les eaux minérales et thermominérales embouteillées pourraient constituer une excellente publicité pour les stations thermales. La vente des eaux minérales, avec ou sans éléments thérapeutiques, progresse, mais le marché reste encore faible. Il est intéressant de remarquer qu'en France, le chiffre d'affaire annuel de la vente des eaux minérales en bouteille dépasse 2 milliards de francs, alors que celui du thermalisme reste inférieur à 1 milliard (19). On est loin de ce compte en Hongrie, toutes proportions gardées. Il n'empêche que certaines eaux minérales se sont taillées un franc succès non seulement sur le marché intérieur, mais aussi à l'étranger. Si la Hongrie faisait partie d'un marché

(18) L. BÉLTEKY, *ouvr. cité*, p. 33.

(19) *Dossier du thermalisme*, dans le journal *Le Monde* du 2 juillet 1974, p. 22.

vraiment libre, l'exportation des eaux minérales pourrait constituer un poste important dans la liste des produits exportables.

Enfin, nous devons encore mentionner qu'un certain nombre de captages sont destinés à fournir de l'eau chaude à des industries, qui l'utilisent soit comme matière première, soit comme matière auxiliaire, soit encore comme source de calories. C'est le cas pour certaines usines qui traitent le chanvre. Mais on connaît également des utilisations dans les industries de la porcelaine et dans les sucreries.

Enfin, un certain nombre de sondages sont mis sous scellés ou servent à la réinjection des eaux, notamment pour maintenir la pression.

CONCLUSIONS

Grâce à la structure hydrogéologique de son sous-sol, caractérisée par la présence de nappes aquifères profondes et puissantes, et grâce à l'anomalie de gradient géothermique, la Hongrie possède des champs géothermiques industriellement exploitables. Le pouvoir calorifique des eaux thermales constitue une des ressources naturelles principales du pays.

L'inventaire des ressources géothermiques est fort avancé. La recherche des champs géothermiques et des champs d'hydrocarbures se développe conjointement. Si la mécanique des bassins géothermiques est encore peu connue, le calcul des réserves fait apparaître que celles-ci sont encore peu sollicitées par les sondages existants. Le nombre de captages hypothermaux ayant un débit de plus de 200 l/min approche de 500. La Hongrie est le pays le plus riche d'Europe par le nombre et la variété de ses sources thermominérales. De plus, le nombre de captages industriellement exploitables peut être doublé sans inconvénient.

L'exploitation des eaux géothermales plus ou moins minéralisées, qu'il s'agisse d'utilisations crénothérapeutique, domestique, municipale, agricole ou industrielle, est encore assez extensive. Pourtant, la mise en valeur des eaux thermales n'est pas seulement techniquement possible, mais elle est aussi économiquement intéressante. L'utilisation est déjà rentable lorsqu'il s'agit d'une utilisation simple ; elle le serait encore davantage si des utilisations successives de l'eau chaude étaient plus développées.

Profitant du renouveau du thermalisme devenu un fait social, les autorités sont soucieuses de promouvoir l'exploitation balnéothérapeutique de l'ensemble des stations et établissements thermaux. La création d'un réseau de bains thermaux hiérarchisés et spécialisés est en voie de réalisation. La mise en place de ce réseau tient compte également du réseau planifié des agglomérations, du tracé des voies de communication de

transit et de l'armature des zones touristiques du pays. Les ressources thermominérales du pays constituent un pôle de croissance autonome et spécifique du tourisme en Hongrie. Budapest, en particulier, possède le complexe d'établissements et de stations thermales le plus important du monde. De même, la mise en bouteille des eaux minéralisées ayant des principes curatifs reconnus est appelée à connaître un développement industriel.

L'exploitation rationnelle des ressources d'eau thermominérale de la Hongrie est conditionnée par les recherches médicales et technologiques, ainsi que par la formation des cadres indispensables. Des programmes de mise en valeur sont en voie d'élaboration avec la collaboration des experts des Nations Unies.

Le fait que les bassins géothermiques les plus productifs correspondent aux régions les plus fertiles constitue un facteur favorable, car il permet non seulement d'augmenter la productivité de l'agriculture, mais il contribue aussi à une meilleure répartition des forces productrices dans le pays. Il serait d'autre part intéressant de confier l'exploitation technologique et économique des captages à une régie nationale autonome.

Selon les calculs et prévisions économiques, d'ici dix ou quinze ans, l'énergie géothermique sera susceptible de couvrir quelque 5 % des besoins énergétiques du pays ; il s'agit donc d'un appoint non négligeable pour un pays aussi pauvre en autres sources d'énergie que la Hongrie. C'est surtout dans le domaine du chauffage des ensembles résidentiels et des groupes de bâtiments publics que l'on peut s'attendre à un développement rapide de l'utilisation de la capacité géothermique des eaux souterraines. La Hongrie pourrait ainsi rapidement résorber le retard qu'elle accuse par rapport aux pays développés en matière d'équipement des logements.

BIBLIOGRAPHIE.

- L. BÉLTEKY. — *A magyar medence hévízhasznosításával kapcsolatos időszerű problémák* (Problèmes actuels relatifs à l'utilisation des eaux thermales du bassin hongrois), dans *Energia es atomtechnika*, 1966/8, pp. 349-355.
- L. BÉLTEKY. — *Hévízkutak létesítése es komplex hasznosítása* (L'implantation des puits thermaux et leur utilisation complexe), dans *Hidrologiai közlöny*, 1973, n° 1, pp. 28-36.
- T. BOLDIZSÁR. — *Geotermikus energiatermeles* (Production de l'énergie géothermique). Université Polytechnique de Miskolc, 1966, 67 p.
- T. BOLDIZSÁR et J. GOZON. — *A geotermikus energia hasznosítása* (L'utilisation de l'énergie géothermique). Budapest, 1965, 191 p.
- A. BOSZNAY. — *Thermalwasserprobleme in Ungarn*, dans *Berichte zur Raumforschung, Raumordnung und Raumplanung*, 1971/2, pp. 25-33.
- A. BOSZNAY. — *A termálvízkerdes Magyarországon* (La question de l'eau thermale en Hongrie), dans *Városépítés*, 1971/5, pp. 27-28.
- S. S. EINARSSON. — *Geothermal district heating*, dans *Geothermal Energy, Earth Sciences*, n° 12, Unesco, Paris, 1973, pp. 123-132.

- T. FARKAS. — *Magyarország egyes üdülõterületei es az idegenforgalom területfejlesztõ szerepe* (Les régions de villégiature en Hongrie et le rôle du tourisme dans le développement du territoire), dans *Városépítés*, 1971/5, pp. 8-11.
- J. GOGUEL. — *Brève histoire de l'énergie géothermique*, dans *Le courrier du C.N.R.S.*, 1974/13, pp. 5-10.
- HAZAFIAS NEPFRONT (Front populaire et patriotique). — *Országos ankét a magyar hőforrások hasznosításának társadalmi kérdéseirõl* (Enquête nationale sur les problèmes sociaux de l'exploitation des ressources thermales hongroises), 2 et 3 août 1963, Szeged.
- W. KERTZ. — *Kann Erdwärme unseren Energiebedarf decken?*, dans *Umschau in Wissenschaft und Technik*, 1974/21, pp. 661-666.
- L. MATYAS. — *A termálviz jelentõsége és hasznosítása* (L'importance de l'eau thermale et son utilisation), dans *Területrendezés*, 1973, n° 4, pp. 116-126.
- MONDE (Journal le). — *Dossier du thermalisme*, 2.7. 1974, pp. 22 et 23. *Thermalisme* 75, 20.2.1975.
- N.- *Eltetõ viz* (Eau vivifiante), dans *Figyelõ*, 9.5.1973, pp. 1-2.
- I. NADASDI. — *Le réseau urbain en Hongrie*, dans *Documentation sur l'Europe Centrale*, 1971/4, pp. 260-275.
- E. SCHMIDT et coll. — *Magyarország hidrologiai atlasza* (Atlas hydrogéologique de la Hongrie), Budapest, 1958.
-