

ONDREJ FRANKO*

PROBLÈMES RELATIFS À L'EXPLORATION DES EAUX THERMOMINÉRALES DES KARPATES OCCIDENTALES

Résumé. L'auteur donne un aperçu de l'état de nos connaissances sur les eaux thermominérales des Karpates occidentales, met au point la question de leur origine et de leur régime thermique. La dernière partie de l'ouvrage est consacrée à la question des réserves et du bilan des eaux thermominérales ainsi qu'aux recherches à faire.

Introduction

On connaît actuellement dans les Karpates, en Slovaquie, environ 40 localités où émergent les eaux thermominérales dont l'ensemble fournit un débit d'environ 600 l/sec. La température maximum des sources naturelles est de 70 °C (Piešťany 69,5 °C), des sources artificielles 80 °C (forage Lakšárska Nová Ves 2 dans la plaine Záhorská). Le débit maximum des sources naturelles est estimé à 100 l/sec (Piešťany), un forage fournit jusqu'à 80 l/sec (Vyšné Ružbachy, Dudince). Les eaux thermominérales sont localisées principalement dans la zone tectonique des Karpates occidentales centrales, moins dans les bassins et dépressions néogènes. Les autres zones tectoniques ne présentent pas de conditions favorables à l'existence de sources thermales de quelque importance. Les problèmes examinés dans la suite se rapportent en premier lieu aux sources thermominérales de la zone centrale.

Etat actuel de nos connaissances

Nos connaissances actuelles sur les eaux thermominérales de la Slovaquie occidentales sont basées principalement sur les recherches de M. Maheľ dont l'exposé global est donné dans son travail de 1952. Cet auteur passe en revue les questions générales — l'origine des eaux thermominérales, leurs rapports avec les propriétés physiques et chimiques des roches (chimisme des eaux), le rapport entre la structure tectonique et les propriétés physiques des eaux (température, débit, caractère de l'émergence, allure du circuit thermal), la situation géographique des régions d'émergence etc. Il y donne également une description des différentes zones tectoniques des Karpates occidentales du point de vue des gisements d'eaux minérales et retrace brièvement les diverses localités et régions d'émergence. Une étude approfondie de ces questions est présentée dans l'ouvrage de O. Hyňie (1963) qui complète les données de M. Maheľ par les résultats de ses propres recherches et de ceux d'autres auteurs qui s'en ont occupé après 1952.

La richesse des Karpates occidentales centrales en eaux thermominérales a pour causes:

1. l'existence de roches carbonatées (calcaires et dolomies) du Trias moyen et supérieur sur de grandes étendues;
2. tectonique alpinotype des complexes mésozoïques formant de grands plis suivant l'infexion desquels certaines couches descendent très profondément et remontent ensuite pour réapparaître par places à la surface du sol;

* O. Franko, géologue diplômé, Institut géologique Dionýz Štúr, Bratislava, Mlynská dolina 1.

3. jeunes fractures longitudinales et transversales;
4. manifestations volcaniques au Tertiaire supérieur.

Le premier facteur détermine l'émergence de sources à fort débit (jusqu'à 80 l/sec), le second est la cause de la haute thermalité des eaux, thermalité augmentant en rapport avec le degré géothermique (jusqu'à 70—80 °C). Les eaux froides circulant à des petites profondeurs au-dessous de la surface du sol viennent souvent se mélanger aux eaux thermales et abaissent leur température; les sources à faible débit se refroidissent au cours de leur remontée par des voies étroites. Le troisième et en partie le second facteur, ou la combinaison des deux, déterminent l'émergence des sources. Le circuit hydrothermal est représenté par un thermo-siphon dont la branche descendante suit les plis plongeant en profondeur et la branche ascendante a pour voies des jeunes failles longitudinales et transversales de moindre importance, plus rarement une remontée de la couche aquifère plissée en synclinal. La cause de l'émergence de l'eau à la surface est principalement la pression hydrostatique qui dans la branche descendante est plus grande que dans la branche ascendante; la sursaturation en CO₂ joue une rôle moins important (cas des sources à dégagement gazeux). Pour remonter des profondeurs les eaux utilisent principalement les puissantes fractures longitudinales d'allure régionale; leur émergence est liée à des diaclases transversales locales déterminant l'emplacement des griffons. C'est au quatrième facteur qu'est due l'émergence des sources émulsionnées de gaz carbonique (par exemple Lúčky, Liptovský Ján, Dudince et autres).

Comme les complexes de roches triasiques carbonatées, les sources thermominérales sont réparties assez uniformément. Elles sont liées aux calcaires et aux dolomies des séries de couverture des nappes de la Krížna et du Choč, où se trouvent leurs zones d'infiltration. Ainsi, par exemple, les eaux thermales de Piešťany et de Koplotovce sont liées à la série de couverture du Považský Inovec, celles de Trenčianske Teplice et de Belušské Slatiny — à la série de couverture des montagnes de Strážov (dite série de Manín—Inovec), celles de Turčianske Teplice et Rojkov—Stankovany — à la nappe de la Krížna dans la Veľká Fatra (Grande Fatra), celles de Lúčky, Bešeňová et Liptovský Ján — à la nappe de la Krížna dans les Basses Tatras, celles de Rajecké Teplice — aux nappes de la Krížna et du Choč dans la Malá Fatra (Petite Fatra).

Sur leur trajet vers la surface les eaux thermominérales traversent non seulement les roches du Mésozoïque, mais passent, utilisant les failles, par les roches du Paléogène des Carpates centrales, les sédiments néogènes et les roches néovolcaniques de la Slovaquie centrale.

La liaison des eaux thermales avec les roches carbonatées est mise en évidence non seulement par les forts débits et les températures élevées, mais aussi par leur chimisme. Celui-ci permet de se faire une idée de la composition des roches avec lesquelles les eaux entrent en contact et des processus chimiques qui y ont lieu. Il s'agit d'eaux à cations Ca⁺⁺ et Mg⁺⁺ et anions SO₄²⁻ et HCO₃⁻ prédominants. On a donc affaire le plus fréquemment à des eaux sulfatées bicarbonatées calciques et magnésiennes et bicarbonatées sulfatées calciques et magnésiennes dont la minéralisation varie de 500—800 mg/l à 3000 mg/l; dans des cas isolés elle s'élève à 4000—6000 mg/l. En fait de gaz les eaux contiennent CO₂, parfois H₂S, et sont donc en même temps carbonatées et sulfurées. La teneur en CO₂ libre varie autour de 100—300 mg/l, rarement elle atteint 1500 mg/l; la teneur en H₂S s'exprime par des centièmes, voire des dixièmes de milligrammes par

litres, dans des cas très rares on a constaté 8 mg/l. Cette caractéristique montre que la composition chimique des eaux thermominérales est assez uniforme. On peut les envisager comme eaux thermominérales du type slovaque. D'après les sels on reconnaît les eaux calciques, calciques-séléniteuses, séléniteuses. Au cours de leur cheminement à travers les sédiments tertiaires les eaux thermales sont métamorphisées; les réactions sont dues tantôt à un échange d'ions entre l'eau et la roche (Na^+ est substitué par Ca^{++}), tantôt à un lessivage de Cl^- des sédiments tertiaires, cas échéant, à un mélange avec les eaux enfermées dans le Tertiaire. En fin de compte les eaux peuvent devenir bicarbonatées chlorurées sodiques et calciques (p. ex. à Dudince, Baškovce est ailleurs) avec une minéralisation de 4000—6000 mg/l à peu près. Elles contiennent des sels alcalins, le sel de Glauber et des chlorures. Par leur origine les ions des différents éléments sont liés aux roches avec lesquelles l'eau entre en contact. M a h e l' (1952) suppose que SO_4^{--} est fourni aux eaux par les couches sous-jacentes du Werfénien qui contiennent des intercalations de sulfates, de gypse en particulier. Il se peut également qu'un lien d'origine les rattache aux roches du Keuper karpatique. La présence de H_2S , lié à ces sulfates, est due aux sulfobactéries capables de réduire les sulfates dans un milieu anaérobie chaud. Les points de vue divergent quant à l'origine de CO_2 . M a h e l' (1952) suppose que dans la plupart des cas il s'agit de CO_2 juvénile prenant naissance par décomposition thermique des carbonates à des grandes profondeurs, cas échéant par décomposition des carbonates en présence d'acides organiques ou inorganiques. D'après H y n i e (1963) la majeure partie de CO_2 est d'origine purement juvénile, c'est-à-dire liée aux manifestations volcaniques du Tertiaire supérieur.

Selon M a h e l' (1952) les eaux thermominérales de la zone des Karpates occidentales centrales sont vadeuses; du point de vue génétique il s'agit d'eaux géothermales juvéniles au sens large du mot (H y n i e 1963).

Une origine vadeuse est également attribuée aux eaux thermales des dépressions et bassins néogènes. Ce sont des eaux contenues dans les couches superficielles, 500 m de profondeur au maximum, généralement liées à des assises de sables à grain de différente grosseur qui forment plusieurs horizons artésiens faiblement inclinés à partir des bords vers le centre des dépressions et des bassins et souvent coupés par des failles. Ces eaux sont alimentées par les précipitations atmosphériques aux pieds des montagnes et plus souvent encore par les alluvions fluviatiles sous lesquelles elles sont amenées. Echauffées par la chaleur que leur communiquent les roches ces eaux peuvent avoir une température de 24 °C (Šurany-Plaine Danubienne) et même de 36 °C (Dolná Strehová — bassin houiller Juhoslovanská). Au point de vue chimique on a des eaux bicarbonatées calciques et magnésiennes, bicarbonatées calciques, magnésiennes et sodiques, bicarbonatées sodiques, bicarbonatées sodiques, calciques et magnésiennes, parfois bicarbonatées sodiques, magnésiennes et calciques dont la minéralisation s'exprime par 500—700 mg/l à peu près, rarement par plus de 1000 mg/l. Généralement pas d'émergence naturelles; les niveaux aquifères atteints par les forages fournissent de l'eau potable (p. ex. à Galanta, à Nové Zámky et ailleurs) ou de l'eau pour usages industriels (p. ex. à Dolná Strehová).

Quelques problèmes relatifs aux recherches sur les eaux thermales¹

Ces derniers temps on s'occupe tout spécialement de l'utilisation plus appropriée et plus complexe des sources thermominérales connues et de la recherche de nouvelles sources. C'est qu'on en fait de plus en plus usage en médecine, en énergétique et principalement dans les stations balnéaires. Dans ce but il faudrait d'une part mieux utiliser les sources naturelles existantes, d'autres part chercher de nouveaux griffons dans les régions d'émergences, et, enfin, déceler de nouvelles sources dans les régions encore inexplorees de ce point de vue, mais paraissant favorables. Pour pouvoir répondre à tout ce que réclament ces circonstances on ne peut pas se contenter des connaissances actuelles permettant tout au plus d'utiliser les sources naturelles, et cela encore incomplètement.

Un des problèmes principaux qui se posent est celui de l'origine des eaux thermominérales. Mahef (1952) a prouvé qu'elles sont vadeuses. Cette explication globale est toutefois insuffisante. En effet, il faut mettre en évidence les changements physico-chimiques que subit l'eau au contact avec les différentes roches dans la branche descendante et, en particulier, dans la branche ascendante (métamorphisme des eaux, rapports eau-roche); il faut également connaître les proportions des eaux issues de différentes formations géologiques et de différents horizons aquifères souterrains qui constituent, dans leur ensemble, l'eau thermominérale donnée. Jusqu'à présent on s'est fort peu occupé de ces questions, et il me semble que sans les avoir éclairées on n'a pas le droit d'affirmer que l'origine des eaux thermominérales est parfaitement connue.

Les rapports eau-roche sont multiples, et actuellement une branche spéciale de la science — l'hydrogéochimie — s'en occupe. Chez nous c'est J. Janák (1959) qui est un spécialiste de ces questions. Sans entrer dans les détails de ce sujet disons seulement que plusieurs faits, par exemple le métamorphisme des eaux, ont été mis en évidence par les travaux de forage et de pompage à Dudince (Janák 1959) et à Bojnice (Franko 1964). Dans les deux cas il s'agit de réaction ionique entre l'eau et la roche, d'un échange de bases — Ca⁺⁺ se substituant à Na⁺. A Dudince, cette réaction se produit au passage de l'eau des couches mésozoïques dans les sédiments néogènes (grès kaoliniques du Tortonien, marnes, tufs et tuffites), à Bojnice — dans les dépôts paléogènes (argilites éocènes).

La question de savoir dans quelle mesure les eaux contenues dans différentes formations géologiques et les eaux souterraines provenant de différents horizons contribuent-elles à la formation des eaux thermominérales est très compliquée et s'attache à d'autres questions — métamorphisme, température, bilan des eaux. A Bojnice, le bilan des eaux (Franko 1964) et les recherches hydrochimiques (Gazda 1964) ont montré que les eaux faiblement thermales (23,5—36 °C) sortant du Mésozoïque par des griffons disposés en ligne reçoivent les eaux contenues dans les brèches dolomitiques de la base du Paléogène (Eocène) qui forment le toit des couches mésozoïques. Le bilan met en évidence la

¹ Les faits sur lesquels l'auteur s'appuie en abordant différents problèmes sont décrits dans le travail de O. Franko 1964 intitulé „Les problèmes relatifs à l'étude des eaux thermominérales de la Slovaquie“, Geologické práce, Zprávy 32, Bratislava, qui contient une carte de la répartition des sources thermominérales de la Slovaquie.

disparition de l'eau desdites brèches, les études hydrochimiques — le coefficient Mg/Ca qui varie de 0,45 à 0,5 pour les sources plus chaudes ($45\text{--}47^{\circ}\text{C}$) et indique la prépondérance des calcaires, de 0,55 à 0,6 dans les sources moins chaudes et dénote une teneur plus élevée en Mg provenant des brèches dolomitiques.

L'étude des gaz des sources thermominérales (chez nous elle ne fait que commencer) peut apporter de précieux renseignements sur l'origine des eaux.

La question de la température des eaux thermales est d'une grande importance. On sait que l'eau descendant dans les profondeurs est réchauffée par les roches (la vitesse de l'échauffement dépend de la conductibilité thermique de la roche et de la vitesse d'écoulement de l'eau) dont la température s'élève en rapport avec le degré géothermique. Sa valeur n'est pas encore connue pour les roches mésozoïques des Carpates occidentales centrales, mais on peut supposer qu'elle est d'environ 33 m, ce qui représente la moyenne du degré géothermique des couches superficielles de la lithosphère. Cette question a une importance théorique, et il faut s'en occuper. Se basant sur les expériences acquises j'admets que pour obtenir la vraie valeur du degré géothermique dans les terrains mésozoïques les forages ne sont pas à situer dans la région d'émergence, mais dans les régions au-dessus des branches descendantes des circuits souterrains ou même là où les eaux ne jaillissent pas. C'est que la région d'émergence constitue une anomalie du champ thermique terrestre.

On sait toutefois que les eaux thermominérales s'écoulent non seulement des terrains mésozoïques, mais qu'elles émergent aussi des terrains paléogènes des Carpates centrales, des formations néovolcaniques du Néogène — les forages les ont atteintes là comme dans les roches carbonatées sous-jacentes du Mésozoïque. Il faut donc connaître le degré géothermique desdits terrains. Et ce n'est pas sa valeur moyenne (par exemple pour les sédiments néogènes) qui nous intéresse, mais sa valeur prise séparément pour chaque région. Les résultats acquis montrent que dans le Néogène de la Plaine Danubienne, dans les dépôts pannoniens-tortonien, le degré géothermique varie autour de 21 m jusqu'à une profondeur d'environ 2400 m (Dlabač — Michaliček 1960), dans le bassin de Horná Nitra (dans le secteur houiller de Nováky) il est de 17—18 m jusqu'à une profondeur de 320 m, dans les terrains pliocènes-tortonien du bassin de Zvolen il est de 16 m à peu près, dans le bassin houiller Juhoslovanská — dans le secteur du graben Strhár-Trenč (Tortonien-Hélvétien) — il mesure 18 m jusqu'à une profondeur de 520 m.

Le degré géothermique dans les formations dites de „couverture“ (par rapport au Mésozoïque) pourra nous renseigner si l'eau atteinte par le forage dans une telle formation provient précisément de celle-ci ou si elle s'écoule du Mésozoïque sous-jacent (le chimisme, comme la température, est un critérium important), ou encore si l'eau thermale atteinte par le forage dans les roches carbonatées du Mésozoïque au contact avec les formations de „couverture“ a une température qui correspond à la profondeur de ce point (p. ex. des roches carbonatées des nappes du Choč et de la Krížna) ou si son origine doit être cherchée plus profondément (p. ex. dans les roches carbonatées de la nappe de la Krížna ou de l'unité tectonique dite de l'enveloppe).

Les conditions de température au sein des terrains mésozoïques sont très compliquées et encore insuffisamment éclairées. Si les calcaires et les dolomies triasiques du soubassement des formations dites de couverture constituent des

réservoirs d'eau thermale (voir plus loin) il faut supposer que dans ces réservoirs mêmes la température de l'eau augmente avec la profondeur. Puis il y a des venues d'eau plus chaude qui montent, utilisant des voies plus facilement accessibles, des parties profondes du réservoir vers les parties supérieures. On aura donc à expliquer les rapports de température entre le réservoir d'eau thermale et les flux d'eau plus chaude en son sein.

Le refroidissement des eaux thermales au cours de leur remontée est à étudier avec un soin tout aussi grand. On sait que, de façon générale, l'eau se refroidit durant son ascension d'une part en se mélangeant aux eaux plus froides des formations de „couverture“ (le Quaternaire y compris), d'autre part — lorsque les débits sont faibles (centièmes et dixièmes de litre-seconde) — en se frayant lentement un passage par les fissures étroites des formations de „couverture“.

Il arrive aussi (Piešťany, Bojnice) que les eaux thermales sont refroidies par des apports d'eau plus froide circulant dans les mêmes terrains mésozoïques. Lorsque les eaux proviennent de l'unité tectonique de „couverture“ ou de la nappe de la Križna leur refroidissement peut être dû aux eaux contenues dans les roches carbonatées de la nappe de la Križna, respectivement de celle du Choč.

La vie des sources — les voies de remontée, la migration des griffons — mérite une attention spéciale. Il faut comparer les travertins des sources qui jaillissent actuellement avec ceux des sources tarries, autrement dit mettre en évidence l'âge des différents amas de travertins. Il est très important d'éclairer ces questions afin de procéder au captage des eaux thermales et orienter les recherches dans la direction de la migration des griffons.

L'accumulation des eaux thermominérales dans les complexes de calcaires et de dolomies doit faire l'objet d'une étude approfondie. Selon Maheľ (1952) les structures plissées favorisent la formation de puissantes veines thermales concentrées ou de vastes horizons aquifères. Hynie (1963) suppose que les eaux thermominérales appartiennent aux structures hydrogéologiques des eaux ordinaires. Ovčinnikov (1958) admet que ces eaux constituent des réservoirs artésiens. On voit qu'il y a une grande divergence d'opinions sur cette question très importante pour le captage des sources naturelles et la recherche de nouvelles ressources d'eaux thermales. Les observations sur les eaux thermominérales des bassins de Horná Nitra et de Zvolen, ainsi que la révision d'anciens ouvrages me conduisent à faire la supposition que voici: les veines d'eau thermale qui existent dans les complexes calcaires et dolomitiques sont liées à certaines voies plus accessibles — dislocations tectoniques, zones de dislocations, cavernes dans les calcaires. Leur ensemble constitue un réservoir d'eau thermale dans les sédiments donnés. En admettant l'existence de veines d'eau thermale il faut nécessairement admettre que l'eau s'écoule du réservoir par des sources naturelles ou artificielles.

De ce point de vue le bassin de Zvolen, constituant un réservoir unique d'eau thermale avec plusieurs veines, est une région idéale et en même temps la mieux étudiée. Sa structure géologique et tectonique est classique: soubassement formé de roches carbonatées mésozoïques se reliant aux mêmes roches des pentes sud de la Veľká Fatra (Grande Fatra) et des Nízke Tatry (Basses Tatras) où se trouvent les zones d'infiltration, bassin coupé par des failles longitudinales et transversales. Les roches carbonatées du soubassement mésozoïque ont été atteintes par 7 forages dont 4 donnèrent lieu à des écoulements d'eau thermale.

Trois percements fournissaient chacun un débit de 13—25 l/sec, le quatrième — 3,3 l/sec. Près du bord du bassin, à la limite d'un tronçon surélevé (les quartzites du Trias inférieur s'y trouvent à une faible profondeur) il y a deux régions d'émergence des sources thermominérales naturelles — celle de Sliač et celle de Borová Hora. A Sliač, le débit est de 5,6 l/sec, à Borová Hora 1 l/sec. Ces constatations permettent de supposer l'existence de deux veines d'eaux thermales liées à des failles ou à des zones de dislocations. Une de ces veines d'eau est en rapport avec la zone de dislocations limitant le bassin au Sud — elle donne les sources de Sliač et de Borová Hora. L'autre est liée à une faille transversale passant à l'intérieur du bassin près de son bord ouest. Cette veine d'eau a été atteinte par le forage de Kováčová (25 l/sec, 45 °C). Dans le bassin même (mais pas sur une faille), à Sielnice, le forage P-2 a atteint l'eau thermale avec un débit de 3,3 l/sec à peine. Ajoutons que toutes ces données ont été fournies par les sondages géologiques. Nous manquons encore de recherches hydrogéologiques spéciales qui mettraient en évidence les principaux rapports hydrauliques au sein du bassin, c'est-à-dire les rapports mutuels des différentes veines d'eau et leurs rapports avec le réservoir dans son ensemble.

Presque pas de recherches relatives aux zones d'infiltration — on se la représente d'après la structure géologique uniquement. Cet état de choses est dû principalement à ce que les voies par lesquelles les eaux souterraines sortent des complexes calcaires et dolomitiques étaient inconnues. Actuellement la question du bilan des eaux de ces complexes est mise au point, l'écoulement spécifique des eaux de certains complexes connu — on peut donc aborder l'étude en raisonnant par analogie.

Les premiers travaux dans cette direction ont aussitôt montré que les suppositions faites antérieurement sont à modifier. Ainsi la zone d'infiltration des eaux thermominérales de Piešťany est représentée non seulement par les terrains formés de roches carbonatées de la couverture du Považský Inovec (Mahel 1952), mais par celles de la nappe de la Krížna également (Kullmann 1964). La zone d'infiltration des sources thermales de Bojnice ne s'étend pas uniquement à l'Ouest des émergences (supposition de Hyňie 1963) dans les terrains constitués principalement de brèches dolomitiques basales de l'Eocène, mais la majeure partie des eaux est emmagasinée dans les terrains mésozoïques gisant au-dessous du bassin de la Horná Nitra (Franko 1964).

Lorsqu'on étudie le problème de l'accumulation des eaux thermominérales (réservoirs) il importe de délimiter non seulement les zones d'infiltration, mais aussi les réservoirs et révéler le mouvement de l'eau, en premier lieu sa direction et sa vitesse (variations en fonction de la profondeur du réservoir) car le temps de l'échange de l'eau du réservoir en dépend. Ce temps, nous ne le connaissons pas encore. Jusqu'à présent on supposait que l'eau s'écoule suivant l'inclinaison des couches des plis à partir de la zone d'infiltration vers la région d'émergence (thermo-siphon). Et pourtant on sait que dans les Carpates occidentales centrales les eaux thermominérales sont liées principalement aux dépressions structurales, par exemple à celle du Liptov—Spiš, celle de la Horná Nitra. Il faut donc voir si dans le réservoir même l'eau ne suit pas la direction de sa pente, c'est-à-dire la direction de l'inclinaison de son axe longitudinal émergeant aux endroits les plus disloqués tectoniquement et les plus favorables morphologiquement.

Passons à la question du régime des sources thermominérales. Il faut suivre ses relations avec les facteurs climatiques, les réservoirs peu profonds d'eaux

souterraines ordinaires dans lesquels les eaux thermales viennent en grande partie se diffuser. Il est important d'observer les débits des sources en rapport avec les précipitations atmosphériques dans la région d'émergence et dans la zone d'infiltration, de déterminer en combien de temps les pressions se transmettent-elles de la zone d'infiltration jusque dans la région d'émergence par suite de l'oscillation du niveau de l'eau souterraine, ce qui a une influence sur le niveau des sources et par conséquent sur leur débit. Il s'agit d'un phénomène complexe — de la transmission des pressions dans le réservoir d'eaux souterraines thermales; le retard qu'on observe est la conséquence des pertes de pression dues aux résistances dans le système roche-eau. Ce retard des maxima et des minima de débit par rapport aux maxima et minima des précipitations atmosphériques doit être déterminé.

Une question des plus importantes qui se posent est l'évaluation des réserves d'eaux thermales. Leur utilisation exige qu'on prenne des mesures pour conserver leurs propriétés physico-chimiques optimales (ce qui revient à ne pas déranger le régime naturel des sources). Ce sont donc les réserves dynamiques qui nous intéresseront en premier lieu. On peut les calculer par la méthode du bilan, par les méthodes hydrauliques et hydrodynamiques. Puisqu'il ne sera pas possible d'explorer prochainement les réservoirs d'eaux thermominérales dans les complexes calcaires et dolomitiques, on est obligé d'employer la méthode du bilan et les méthodes hydrauliques. Se basant sur l'écoulement spécifique connu des eaux souterraines des complexes calcaires et dolomitiques on constatera par la méthode du bilan les pertes d'eau qui se produisent dans les régions supposées être les zones d'infiltration. Puisque dans la plupart des cas il s'agit de débits inférieurs à 50 l/sec il sera assez difficile de constater ces pertes; il y a encore la pénétration possible des eaux karstiques dans les dépôts tertiaires et quaternaires dont on ne tient pas compte. On sera par conséquent obligé de compléter la méthode du bilan par les méthodes hydrauliques; souvent c'est l'inverse qu'il faudra adopter — considérer les méthodes hydrauliques comme principales et les compléter par la méthode du bilan. En effet, les premières sont basées sur les résultats des pompages qui sont les plus sûrs pour le calcul des réserves. La durée des pompages joue un rôle important.

Bilan des eaux thermominérales de la Slovaquie

Le bilan des eaux thermominérales de la Slovaquie n'est pas encore établi. Les recherches que j'ai effectuées à plusieurs endroits, les matériaux des archives et les données de la littérature ont servi de base pour dresser le bilan approximatif. Pour la plupart des sources les débits sont plutôt diminués, donc, en réalité, le débit de l'ensemble des sources thermominérales de la Slovaquie est plus grand (de 20 % à peu près) que le chiffre donné. Ainsi, pour Piešťany nous ne comptons que 36 l/sec — c'est la quantité qui est utilisée — bien que le débit total soit estimé à 70—100 l/sec. Il en est de même pour Vyšné Ružbachy et Dudince. Puisque les eaux thermominérales sont des matières premières nous avons calculé leur température utile. Nous comprenons par cela la température réelle de l'eau diminuée de la température annuelle moyenne de l'air (pour la Slovaquie la période 1901—1950 donne le chiffre 6,95 °C — pour simplifier prenons 7 °C). Ensuite nous calculons l'utilité calorifique de la source qui s'exprime par la quantité de litres-heure multipliée par la température utile de

l'eau thermale. Son coefficient est kcal/heure. Nous avons calculé l'utilité calorifique séparément pour chaque source d'un lieu. Dans la table 1 ci-dessous nous ne donnons que les températures minimums et maximums des sources d'un lieu et leur débit total.

La table montre que le débit de l'ensemble des sources de la Slovaquie s'exprime approximativement par 500 l/sec ce qui représente 47 millions kcal/heure d'utilité calorifique. Puisque pour la plupart des sources les débits sont sous-estimés on peut réellement compter avec 600 l/sec d'eau thermale. Le but de nos recherches est de trouver des nouvelles ressources thermales, des sources plus chaudes que celles connues actuellement. Les résultats acquis montrent

Table 1

Localité	Température de l'eau en °C		Débit 1/sec.	Utilité calorifique kcal/heure
	réelle	utile		
Banská Štiavnica	48,5	41,5	17,00	2 539 800,00
Beluš, Slatiny	22,0	15,0	2,00	108 000,00
Bešeňová	22,0	15,0	1,00	54 000,00
M. Bielice	39,0	32,0	2,22	255 743,00
V. Bielice	33,0—39,0	26,0—32,0	7,62	842 832,00
Bojnice	20,8—45,9	13,8—38,9	38,97	4 467 823,80
Bor. Hora	27,0	20,0	1,00	72 000,00
Brusno	16,0—19,0	9,0—12,0	0,64	25 855,20
Dol. Strehová	36,0	29,0	5,00	522 000,00
Dudince	28,0—29,4	21,0—22,4	15,70	1 262 520,00
Gánovce	20,5—23,0	13,5—16,0	3,20	182 520,00
Hranovnica	20,2	13,2	9,00	427 680,00
Chalmová	39,0	32,0	1,00	115 200,00
Kalinčiakovo	25,8	18,8	7,00	473 760,00
Koplotovce	24,0	17,0	1,00	61 200,00
Kováčová	46,0	39,0	15,00	2 106 000,00
Králiky	18,0	11,0	35,00	1 386 000,00
Lipt. Ján	26,0—29,0	19,0—22,0	40,70	3 106 800,00
Lúčky	22,7—33,0	15,7—26,0	21,90	1 532 520,00
Luboriečka	22,0	15,0	0,44	23 760,00
Malinovec	26,2	19,2	8,80	608 256,00
Mošovce	22,0	15,0	1,00	54 000,00
Patince	26,5—27,0	19,5—20,0	30,00	2 107 800,00
Pieštany	36,0—67,3	29,0—60,3	36,00	7 460 640,00
Rajecké Teplice	39,0	32,0	5,33	614 016,00
Sklené Teplice	32,5—53,0	25,5—46,0	15,87	2 175 404,40
Sliač	33,2	26,2	5,50	518 760,00
Slov. Kľačany	29,2	22,2	0,10	7 992,00
Stankovany	17,0	10,0	3,00	108 000,00
Šafárikovo	17,0	10,0	27,40	986 400,00
Štúrovo	37,0—41,0	30,0—34,8	8,01	958 680,00
Švábovce	21,0—22,5	14,0—15,5	4,20	233 280,00
Trenč. Teplice	33,8—40,2	31,8—33,2	45,00	5 302 800,00
Turč. Teplice	43,4	36,4	25,00	3 276 000,00
Vyhne	36,6	29,6	6,50	692 640,00
Vyšné Ružbachy	22,4—23,5	15,4—16,5	41,03	2 406 690,00
Vyšný Sliač	22,0	15,0	5,00	270 000,00
Total			493,13	47 346 973,00

qu'on peut découvrir des nouvelles sources d'une part dans les régions d'émergences naturelles (citons à titre d'exemple Liptovský Ján où l'écoulement naturel de 6 l/sec s'élève à 40 l/sec après forage, P o r u b s k ý 1959), d'autre part dans les réservoirs d'eaux thermales (p. ex. bassin de Zvolen; sources naturelles 7 l/sec, après percement par les forages 50—70 l/sec, et d'autres). Pour le moment on n'a pas la possibilité d'obtenir des eaux plus chaudes que celles actuellement connues. Nous savons que l'eau s'écoulant après forage dans la région d'émergence est à peine plus chaude ($1-2^{\circ}\text{C}$ au maximum). On a toutefois la possibilité de capter les sources aux points les plus bas des réservoirs formés par l'infexion synclinale des couches (p. ex. bassin du Liptov et d'autres) ou par des tronçons effondrés de terrains mésozoïques (p. ex. Kováčová par rapport à Sliač). D'autres possibilités se présentent dans le soubassement des terrains tertiaires de la Plaine Danubienne et de la dépression Záhorská, ce qui est confirmé, entre autres, par le sondage à pétrole de Laksárska Nová Ves (dépression Záhorská) qui atteint (à 1900 m de profondeur) de l'eau thermale ayant une température de 80°C et un débit de 2 l/sec à peu près (Puits tchécoslovaques de pétrole, Hodonín, 1963).

On peut avoir des nouvelles sources fortement thermales dans les sédiments tertiaires, principalement dans les assises gréseuses néogènes, ce qui est mis en évidence par les forages de Dolná Strehová, de Slovenské Klačany et de Hámor. Les résultats des sondages pour le pétrole sont encore plus convaincants. Ainsi, par exemple, le forage Diakovce I dans la Plaine Danubienne a rencontré à 2500—3000 m de profondeur des venues d'eau avec 1 l/sec de débit et jusqu'à 138°C de température au „gîte“ (D l a b a č — M i c h a l i č e k 1960). Un indice important pour la recherche des sources dans les régions qui paraissent favorables sont les anomalies du champ thermique terrestre. Et c'est dans cette direction qu'il faut pousser les recherches géophysiques.

Pour terminer je veux dire quelques mots de l'exploration des eaux thermo-minérales telle que je me la représente dans l'avenir.

Les travaux de recherches sont à effectuer par étapes.

1-re étape. Dresser une liste de toutes les eaux thermominérales pour avoir une vue d'ensemble sur le nombre réel des sources, leur répartition, leurs propriétés physico-chimiques, l'état du captage et d'utilisation et pouvoir faire des comparaisons.

2-me étape. Mesurer et observer systématiquement le régime des eaux. Les observations doivent porter non seulement sur les différents griffons d'un système donné d'émergences, mais également sur des groupes de sources d'une certaine aire d'émergences. Les recherches sont à réaliser dans l'ordre de la „promesse“ des groupes de sources, par exemple dans le bassin de Zvolen, celui du Liptov et autres. En même temps il faut étudier les systèmes de sources connues, par exemple Lúčky, Vyšný Sliač, Liptovský Ján dans le bassin de Liptov, Oravská Polhora dans la zone du flysch. Les explorations terminées, on aura une vue d'ensemble sur les eaux minérales des différentes régions d'émergence telles que la zone des Karpates centrales occidentales, la zone du flysch etc. La collaboration avec les hydrogéologues spécialisés dans les eaux ordinaires (p. ex. les eaux karstiques de la zone des Karpates centrales occidentales) est indispensable. Préalablement ou, cas échéant, en même temps il faut faire des recherches géologiques et géophysiques, dont on tiendra compte pour situer les forages hydrogéologiques dans l'aire des groupes de sources et,

plus tard, dans les différents systèmes de sources. On arrivera ainsi à connaître le régime des sources thermominérales existantes, l'origine des eaux, leur accumulation, le circuit souterrain, les réserves etc. Toutes ces données serviront de base pour la recherche des nouvelles sources et l'exploitation rationnelle des sources existantes.

3-me étape. Etudes détaillées des différents systèmes et groupes de sources, sondages en vue de captage. Les deux dernières étapes seront réalisées à peu près simultanément, mais dans chacun des systèmes et groupes ces étapes se succéderont ou se combineront. Au cours de ces travaux on aura à préciser et compléter le périmètre de protection et les mesures provisoires à prendre.

Traduit du slovaque par Valentina Andrusova.

BIBLIOGRAPHIE

Andrusov D., 1941: Geologické odôvodnenie vymedzenia ochranného pásma pre minerálne pramene Bojnických kúpeľov. Manuscrifit, Archiv Geol. úst. D. Štúra, Bratislava. — Böhm V., 1961: Stručná charakteristika hydrogeologických pomerov Maďarskej ľudovej republiky. Acta geol. et Geogr. univ. Comenianae, Geologica 7, Bratislava. — Dlabač M., Michaliček M., 1963: Řešení vzniku a vyhledávání ložisek nafty a plynů v Malé dunajské nížině. Hydrogeologie Podunajské nížiny. Manuscrifit, Geofond, Bratislava. — Ďurovič R. J., 1960: Definicija i klasifikacija termalnych termo-mineralnych i mineralnych vod. Beograd. — Franko O., 1959: Návrhy na dočasné ochranné pásma pre kúpele a žriedla Slovenska, patriace pod Poverenictvo zdravotníctva. Manuscrifit, Geofond, Bratislava. — Franko O., 1961: Pôvod CO₂ v Juhoslovenskej uholnej panve a možnosti odplyňovania. Sborník referátov prednesených pri priležitosti Dni výmeny skúseností vo Veľkom Krtíši. Výskumné vývojové stredisko pre hnedé uhlie, Prievidza. — Franko O., 1962: Minerálne vody vo vysvetlivkách ku generálnym mapám Slovenska. Listy Nove Zámky, Rimavská Sobota, Žilina. Geofond, Bratislava. — Franko O., 1962: Minerálne vody Juhoslovenskej uholnej panvy. Manuscrifit, Geofond, Bratislava. — Franko O., 1963: Niektoré hydrogeologicke poznatky z výskumu mineralnych vod. Geol. práce 64, Bratislava. — Franko O., 1963: Minerálne vody vo Vysvetlivkách ku generálnym mapám Slovenska. Listy Nitra, Trebišov, Vysoké Tatry. Geofond, Bratislava. — Franko O., 1963: Dôvodová zpráva pre zmenu „Dočasných pásiem bojnických liečivých termálnych vód“ — uvoľnenie uholnej substancie pre závod „II. etapa bane Mládeže“. Manuscrifit, Geofond, Bratislava. — Franko O., 1964: Problematika výskumu termálnych vod Slovenska. Geol. práce, Zprávy 32, Bratislava.

Gazda S., 1963: Geochémia podzemných vod oblasti Bojnice—Nováky. Manuscrifit, Geofond, Bratislava. — Hensel J., 1951: Balneografia Slovenska, Bratislava. — Hyne O., 1953: Hydrogeologickej posudek o termálnich žřidlech v lázních Bojnice, se zvláštním zretelem k ochrane žřidel před účinky dolování v uhelné pánvi v okolí Novák. Manuscrifit, Archiv Ministerstva zdravotnictví, Praha. — Hyne O., 1963: Hydrogeologie ČSSR II — Minerálne vody. Praha. — Janák J., 1959: Úloha iontové rovnováhy při tvorbě a metamorfóze přírodních vod v sedimentárních oblastech. Geol. práce, Zprávy 15, Bratislava. — Jakubec L., Porubský A., 1960: Inžiniersko-geologickej a hydrogeologickej prieskum pre vodné dielo Nagymaros. Manuscrifit, Geofond, Praha. — Kullmann E., 1961: Vápencovo-dolomitické komplexy a ich vzťah k podzemným vodám. Geol. práce, Zprávy 22, Bratislava. — Kullmann E., 1964: Bilancia obehu podzemných vod v južnej časti považského Inovca. Geol. práce, Zprávy 31, Bratislava. — Kullmann E., 1964: Specifické odtoky podzemných vod Západných Karpat a možnosti ich využitia na riešenie základných hydrogeologickej otázok. In. lit. — Kullmann E., 1964: Krasové vody Slovenska a ich hydrogeologickej výskum. Geol. práce, Zprávy 32, Bratislava. — Mahel' M., 1946: Geologickej posudok termálnych prameňov a „Jazierka“ v Bojniciach. Manuscrifit, Archiv Geol. úst. D. Štúra, Bratislava. — Moret L., 1946: Les Sources thermominérales. Editeurs 120, Barch St. Germain, Paris. — Orvan J., 1960: O pôvode minerálnych vod v Šafárikove. Geol. práce, Zprávy 17, Bratislava. — Ovcinikov A. M., 1958:

K rozvoju hydrogeologie na Slovensku. Technické noviny, Bratislava. — Ovčinnikov A. M., 1958: Štúdium liečivých minerálnych vod Slovenska. Technické noviny, Bratislava. — Porubský A., 1959: Hydrogeologický výskum minerálnych prameňov v Lipt. Jáne. Manuscrit, Geofond, Bratislava. — Hydro meteorologický ústav, 1960: Podnebí Československé socialistické republiky. Tabuľky. Praha. — Problémy geotermii i praktičeskogo ispol'zovanija tepla zimli. I—II. Izd. AN SSSR, Moskva, 1959. — Urban K., 1960: Bojnice — zpráva o štruktúrnom hydrogeologickej prieskume okolia kúpeľov. Manuscrit, Geofond, Bratislava.

Revue par L. Melioris.