

PARTICULARITÉS LIMNOLOGIQUES DES EAUX KARSTIQUES DE LA REGION DE BEOGRAD

PAR

S. Jakovljević et S. Stanković

(Beograd, 1932)

Les eaux balkaniques en général, et plus spécialement celles des régions karstiques, sont très peu connues du point de vue de la limnologie régionale. A notre connaissance, les seules données relatives à la limnologie régionale des eaux balkaniques se rapportent aux lacs balkaniques du sud étudiés, il y a quelques années, par l'un de nous (Stanković, 8, 9), et dont plusieurs sont à désigner comme lacs karstiques plus ou moins typiques. Les caractères limnologiques régionaux des eaux de la vaste région du karst dinarique, de même que de celles des autres régions calcaires balkaniques, sont presque complètement inconnus. Ces eaux cependant sont nombreuses, et on les rencontre, comme nous allons le voir, même dans la région de Beograd. Leur étude limnologique, du point de vue régional (Naumann, 4), présente certainement un haut intérêt. En effet, les eaux karstiques sont situées dans le domaine d'un substratum géologique fondamental à constitution très monotone. De plus, c'est bien du substratum calcaire que dépendent le régime hydrographique, la morphologie des bassins respectifs, l'origine et l'évolution des eaux karstiques. Il va de soi que les caractères limnologiques des eaux karstiques doivent porter une empreinte régionale nette, qu'on doit définir de plus près. Ceci concerne en premier lieu les eaux karstiques stagnantes, dont les types limnologiques, leurs particularités spécifiques et leur répartition sont restés jusqu'à présent inconnus.

Nous nous sommes proposés, dans ce travail, d'étudier les particularités limnologiques de quelques eaux stagnantes karstiques de la région de Beograd. Déjà en 1909, J. Cvijić (1) a attiré l'attention sur l'existence, au sud de Beograd (rive droite de la Save) d'une région calcaire relativement grande, présentant une

série de formes karstiques typiques. Cette région, composée de couches calcaires sarmates qui reposent en discordance sur les calcaires urgoniens et sur le flysch, se distingue par les phénomènes karstiques principaux: dolines vraies ou alluviales, grottes et cours d'eau souterrains, vallées karstifiées etc. Comme le karst de cette région se montre sur les anciennes plate-formes lacustres les plus basses, Cvijić admet qu'il a dû se former vers la fin du Pliocène et au commencement du Diluvium.

Ce sont surtout les dolines qui attirent l'attention dans la région karstique de Beograd. Elles sont, par places, très nombreuses, surtout dans la région du village de Sremčica, à 21 km. au Sud de Beograd. Ce dernier village est situé sur une nappe sarmate calcaire, qui est creusée de dolines. Le village même est bâti entre les nombreuses dolines et même dans ces dernières. Les dolines sont ou bien creusées grâce à l'érosion de l'eau atmosphérique, ou bien représentent les ponores d'un ancien cours d'eau ayant subi le phénomène de karstification. Dans ce dernier cas, les dolines sont rangées en séries régulières.

Les dolines du karst de Beograd présentent la forme typique en entonnoir. Leur grandeur et leur profondeur varient; comme les couches calcaires sarmates sont, d'après Cvijić, d'une épaisseur peu importante, beaucoup d'entre elles arrivent par leur fond jusqu'aux couches de flysch qui sont à la base des couches calcaires. Dans ce cas, la nappe d'eau souterraine qui est située dans la zone du contact des calcaires et du flysch, pénètre dans la doline et la transforme en „lac“ permanent. Cependant, les dolines alluviales, dont le ponore au fond est obstrué par l'argile, se remplissent régulièrement d'eau atmosphérique qui y persiste souvent pendant une bonne partie de l'année; de telles dolines représentent les „lokvas“ du karst de Beograd. Ces „lacs“ et ces lokvas de la région karstique de Beograd présentent beaucoup d'analogies avec les petits lacs et les lokvas du karst dinarique; la population les appelle „b a r a“ (marais), leur profondeur étant généralement très petite, sans dépasser souvent 2 mètres.

Nous avons étudié trois petits „lacs“ de la région de Sremčica: „*Rakina Bara*“, „*Ciganska Bara*“ et „*Bara u Rtu*“. Ces lacs à eau permanente ne sont en réalité que des vastes dolines dont le fond seul est occupé, par l'eau. A l'exception de „*Bara u Rtu*“, les deux premières eaux sont situées dans le village même de Sremčica.

Les deux „lacs“ ont été visités dans toutes les quatre saisons de l'année (avril 1931 — février 1932). Le dernier lac, moins facilement abordable, n'est étudié qu'en partie. Nos études ont porté surtout sur les caractères physiques et chimiques de l'eau, et sur le phytoplancton. La faune du fond, de même que la nature des sédiments lacustres récents, n'ont pour le moment pas été pris en considération.

Rakina Bara. — Ce petit „lac“ karstique (f. 1), placé dans le village même de Sremčica, entre les habitations, est en réalité une vaste et profonde doline en entonnoir, dont le diamètre, au bord supérieur, dépasse 300 m. Elle est assez profonde, à bords

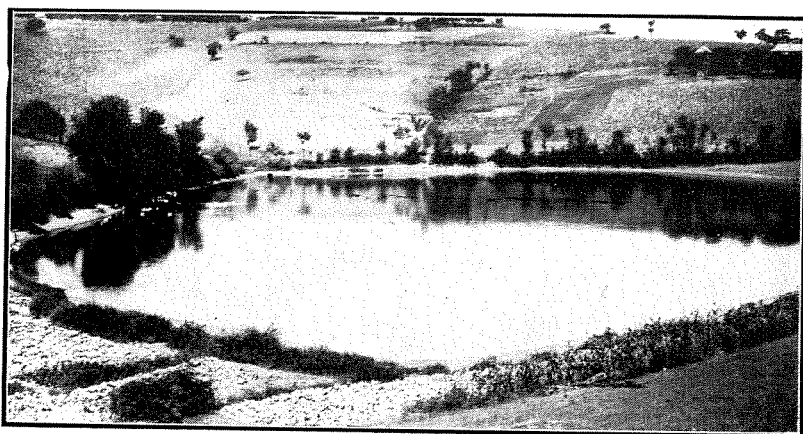


Fig. 1. Rakina Bara

fortement penchés. Les bords sont partout cultivés; le fond seul de la doline est occupé par l'eau. Le lac même est de forme presque ronde; son diamètre dépasse bien, pendant toute l'année, 100 m. La profondeur du lac est très faible et ne dépasse pas, en été, 1,5 m. Le niveau de l'eau, tout au moins pendant nos recherches, montre de faibles oscillations au cours de l'année, qui atteignent environ 0,5 m. Il est très probable que le lac soit en communication avec l'eau souterraine, ce qui expliquerait en partie la constance relative de son niveau au cours de l'année.

La roche calcaire n'affleure nulle part à la surface; les bords immédiats du lac, de même que les cotés de la doline, sont recouverts de terre cultivée, du type „gajnjača“ (Braunerde, terre brune).

Point d'émissaire superficiel, point d'affluents permanents. Exception faite de l'eau souterraine, le lac est nourri exclusivement par l'eau atmosphérique; cette eau lave le sol cultivé des bords de la doline avant de se jeter dans le lac même.

Les variations saisonnières de la température de l'eau du lac sont considérables (v. fig. 2). La température de l'eau de surface montre une amplitude annuelle de $25,6^{\circ}\text{C}$, avec le maximum observé de $27,2^{\circ}\text{C}$ (juillet). Pendant la saison froide

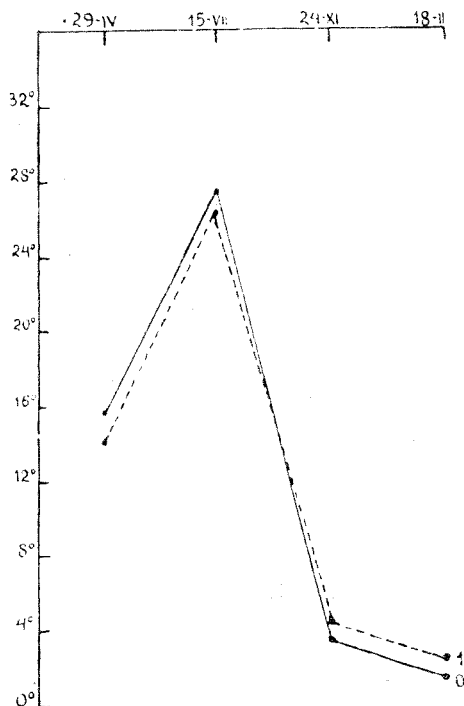


Fig. 2. Rakina Bara, marche annuelle de la température dans l'eau de surface (0) et dans la couche de 1 m (1)

de l'année, tout au moins à l'époque de nos recherches, le lac est recouvert de glace à partir de la moitié du mois de novembre jusqu'à la fin février. La glace atteint, au mois de février, une épaisseur de 11 cm.

Malgré les fortes variations thermiques au cours de l'année et malgré la petite profondeur, l'eau du lac se montre, dans toutes les saisons, franchement stratifiée au point de vue thermique. Ainsi, en été, la différence entre la température de surface

(27,2°) et celle de la couche de 1 m. (25,5°) atteint 0,7°C. La stratification thermique hivernale (février) est inverse et encore mieux prononcée: la température de l'eau de surface, sous la glace (1,6°) est de 1°C plus basse que celle de la couche de 1 m. (2,6°). Au cours du printemps, avec le réchauffement rapide des couches superficielles, la différence thermique entre la surface et la couche de 1 m. atteint même 1,7°C.

L'eau du lac est presque toujours fortement troublée par les suspensions argileuses, qui abaissent fortement la transparence de l'eau. De plus, le développement intense du phytoplancton en été est aussi un facteur important de la faible transparence de l'eau du lac. La transparence ne dépasse jamais 75 cm. (hiver); elle est beaucoup plus petite pendant la saison chaude et atteint, en été, à peine 0, 1 m. (9 cm., mi-juillet). C'est en hiver, sous la glace, avec l'eau complètement tranquille et avec le minimum du développement du phytoplancton, que la transparence atteint son maximum (75 cm., février).

La couleur de l'eau est sensiblement influencée par les suspensions argileuses. Elle est d'un jaune sale, et se placerait au voisinage des degrés 11—13 de l'échelle de Forel.

Quant à la composition chimique de l'eau, les points suivants sont à signaler:

La quantité de CaO ne dépasse pas 62 mg/l.; elle correspond donc au mésotype moyen. Les variations de CaO au cours de l'année sont assez faibles: le minimum de 42 mg/l est observé au printemps (fin avril), le maximum de 62 mg/l en hiver (février). Egalement faibles sont les variations de la quantité de Mg⁺⁺: de 14,53 mg/l à 13,30 mg/l. La quantité de SiO₂ est la plus grande au printemps: 11 mg/l, la plus petite en hiver: 4,5 mg/l.

Très grande est la quantité de P₂O₅: 2,8 mg/l au mois d'avril; les variations annuelles de cette même quantité, de même que celles de la quantité de N₂O₅, qui font l'objet d'une étude spéciale, seront publiées plus tard.

La quantité de Cl⁻ reste sensiblement la même (38-39 mg/l) tout au moins pendant l'époque froide (automne-hiver) de l'année.

Quant à la teneur en O₂ et CO₂, l'eau du lac se montre nettement stratifiée pendant toute l'année. La quantité de O₂ en été, et surtout en hiver, diminue en allant de la surface vers le fond. Ainsi, au mois de février, l'eau de surface, sous la glace, contenait 5,10 ccm/l O₂; la couche de 1 m. n'en contenait que

0,40 ccm/l. C'est surtout en hiver, sous la glace, que l'eau du lac se montre particulièrement riche en CO₂: 12,58 ccm/l dans l'eau de surface et 22,87 ccm/l dans la couche de 1 m.

Le pH de l'eau du lac, relativement élevé, reste toujours au-dessus de 8; ses variations annuelles sont insignifiantes: 8,6 en été, 8,4 en hiver.

La végétation aquatique littorale est très pauvre qualitativement. Une seule espèce, *Potamogeton crispus*, forme, dans la profondeur de 0,5 m. une zone continue tout autour, d'une largeur de quelques mètres. Elle est le mieux développée au printemps.

L'étude de la végétation phytoplanctonique, faite aussi au moyen de la chambre planctonique de Kolkwitz (contenance 1 ccm.), a donné des résultats suivants:

La formation phytoplanctonique est, au printemps (avril) caractérisée par les Flagellés, notamment par *Euglena (proxima)*, 640 ind./ccm dans l'eau de surface) et *Trachelomonas* (surtout *volvocina*, 2080 ind./ccm dans l'eau de surface). En outre, certains Diatomacés sont également bien représentés quantitativement (*Synedra acus*, 670 ind./ccm). Les Cyanophycés sont encore peu représentés, les différentes espèces au-dessous de 100 ind./ccm.

En été (juillet), le phytoplancton change de composition et en outre atteint son maximum de développement. Les Cyanophycés (*Microcystis*, *Aphanocapsa*, *Anabaena*) se développent au point de provoquer le phénomène de „Wasserblüte“, qui dure très longtemps (juin-octobre). Ce sont surtout les différentes espèces de *Microcystis* (notamment *flos aquae*, 1100 colonies/ccm et *aeruginosa*, 756 col./ccm dans l'eau de surface), ensuite *Aphanocapsa* (2750 col./ccm) et *Anabaena planctonica* (850/ccm) qui forment la „Wasserblüte“. *Euglena* a disparu; *Trachelomonas volvocina* montre son minimum (412 ind./ccm dans l'eau de surface). En outre, certains Chlorophycés (*Scenedesmus quadricaudatus*, *Tribonema* sp.) se montrent en un nombre plus grand, dépassant 200 ind./ccm (*Tribonema* même 968 fil./ccm), mais ils sont limités aux couches au-dessous de 0,2 m. de profondeur.

En automne (novembre) le phénomène de „Wasserblüte“ a disparu, la quantité de Cyanophycés étant fortement réduite. Le phytoplancton est surtout caractérisé par les Chlorophycés, *Chlamydomonas* sp. en premier lieu. *Trachelomonas volvocina* atteint son maximum (4544 ind./ccm dans l'eau de surface); en même temps apparaît *Trachelomonas* sp. en grand nombre (970 ind./ccm) et *Ankistrodesmus falcatus* (320 ind./ccm).

Enfin en hiver (février), le phytoplancton est surtout dominé par les Chlorophycés, notamment *Chlamydomonas* et *Trachelomonas (volvocina)*, 520 ind./ccm; *sp.* 640 ind./ccm), auxquels se joignent certains Cyanophycés (*Synechococcus*, *Dactylococcopsis*).

La répartition verticale des différentes formes phytoplantoniques montre, malgré la petite profondeur de l'eau, une régularité bien nette. La plupart des formes dominant dans le plancton atteignent le maximum numérique dans l'eau de surface (0-20 cm.). Elles diminuent rapidement en nombre dans les couches plus profondes. C'est surtout le cas avec les Cyanophycés tormant à la surface la „Wasserblüte“. Voici la répartition verticale des principales formes en été (juillet):

	0 m.	0,5 m.
<i>Aphanocapsa Koordersii</i> , col./ccm	2750	65
<i>Microcystis flos aquae</i> , „ „	1100	384
„ „ <i>aeruginosa</i> , „ „	756	270
„ „ <i>marginata</i> , „ „	420	58
<i>Anabaena planctonica</i> , „ „	850	160

Trachelomonas volvocina est représenté, en novembre, par 4544 ind./ccm dans la couche de 0-20 cm; par 180 ind./ccm seulement dans la couche de 1 m. Il en est de même avec *Trachelomonas sp*: 970 ind./ccm dans l'eau de surface, 95 ind./ccm dans la couche de 1 m. Cependant, *Trachelomonas ensifera*, qui ne se montre qu'en été, est limité aux couches plus profondes, au-dessous de 0,5 m.

Le fait principal à souligner est qu'en été, le phytoplancton est caractérisé par le développement intense des Cyanophycés, qui provoquent le phénomène de „Wasserblüte“. —

Résumé: Le petit „lac“ Rakina Bara est une eau typiquement eutrophe. Ceci est démontré par le développement abondant du phytoplancton qui en été détermine l'apparition du phénomène de „Wasserblüte“; par la grande quantité de sels de P et de N; par la diminution de la quantité de O₂ en hiver et en été. L'eutrophie est ici liée à une argillotrophie (N a u m a n n) nette.

Čiganska Bara. — Ce petit „lac“ (fig. 3) est placé à l'extrémité S du village Sremčica, en dehors des habitations, au fond d'une doline moins profonde et à cotés moins abrupts que la doline de Rakina Bara. Les environs, de même que les cotés de la doline, sont cultivés. Le lac, ici aussi, n'occupe que le fond de la doline, et présente une forme sensiblement ronde. Il est plus petit que le lac précédent, puisque son diamètre ne dépasse pas 70 m. Sa profondeur maximale, en été, atteint à

peine 1,5 m. Le lac paraît également communiquer avec l'eau souterraine et son niveau subit, au cours de l'année, d'assez faibles variations, d'environ 0,5 m.

Ici aussi, la roche calcaire nue ne se montre point au fond et sur les cotés de la doline. Comme dans la région de Rakina Bara, le substratum géologique fondamental est recouvert d'une couche épaisse de terre arable du type „gajnjača“.

Ici aussi, point d'affluents permanents, point d'émissaire. Le lac est nourri en premier lieu par l'eau atmosphérique.

La doline Ciganska Bara, moins profonde, est en même temps moins bien protégée contre les vents que la doline

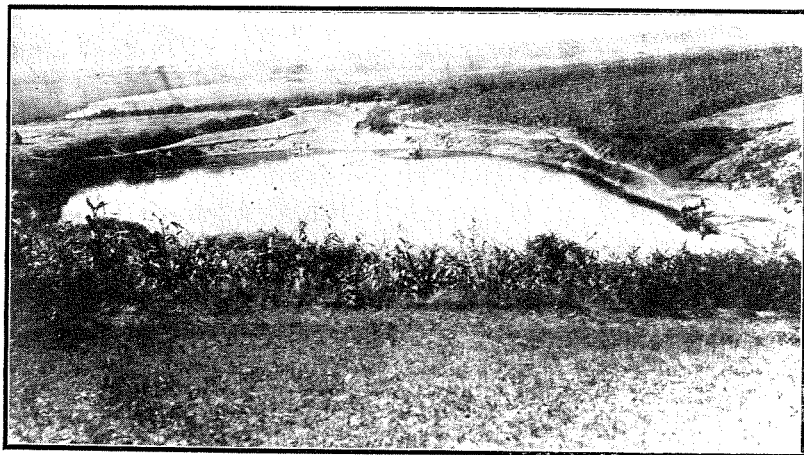


Fig. 3. Ciganska Bara

précédente. C'est en partie la raison de ce que les variations thermiques annuelles de l'eau montrent une amplitude sensiblement plus grande que dans le cas précédent. En effet, l'amplitude annuelle de la température de l'eau de surface atteint le chiffre de 32,6°C (v. fig. 4). Le maximum thermique observé en juillet atteint même 34°C à la surface; le minimum est constaté en février, 1,4°C. La glace qui s'est montrée à l'époque de nos recherches déjà en novembre, atteint au mois de février une épaisseur de 12 cm. La glace est donc plus épaisse, et se maintient plus longtemps que sur le lac Rakina Bara.

Ici aussi, malgré la petite profondeur, l'eau du lac se montre, pendant nos observations saisonnières, franchement stra-

tifiée thermiquement. La différence de température, en été, entre l'eau de surface (34°) et la couche de 1 m. (29,6°) atteint même 4,4°C. En automne et en hiver, la stratification thermique est inverse: en février, la différence thermique entre la surface (1,4°) et la couche de 1 m. (2,8°) fait 1,4°C.

Une forte quantité de suspensions argileuses trouble ici l'eau encore davantage que dans Rakina Bara. C'est pourquoi la

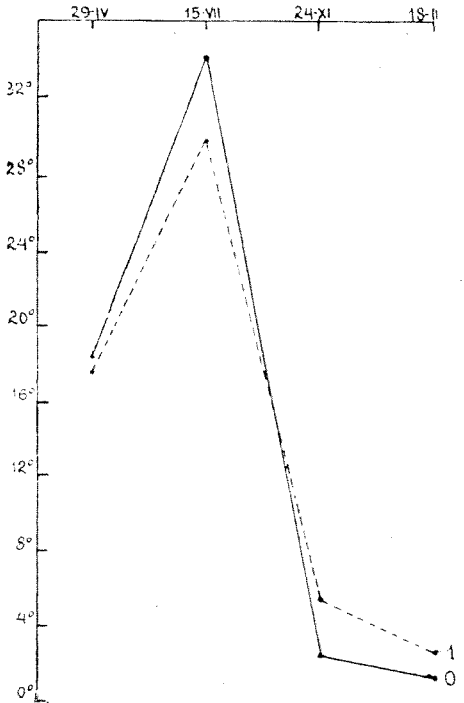


Fig. 4. Ciganska Bara, marche annuelle de la température dans l'eau de surface (0) et dans la couche de 1 m (1)

transparence est très faible et elle atteint, en hiver, à peine 50 cm. pour s'abaisser, en été, à 6 cm. seulement. La couleur de l'eau est ici sensiblement la même que dans Rakina Bara, et se rapproche du degré 13 de l'échelle de Forel.

La composition chimique de l'eau est sensiblement la même que celle de l'eau de Rakina Bara. La quantité de CaO est un peu plus grande: 67 mg/1 au maximum (hiver). Elle varie très peu au cours de l'année, puisque le minimum observé en juillet ne descend pas au-dessous de 60 mg/1. Il en est de même

avec la quantité de Mg⁺⁺, qui reste à peu près la même au cours de l'année (10,8 mg/l en hiver). La quantité de SiO₂, sensiblement la même que celle de l'eau de Rakina Bara (8,5-11 mg/l) varie également très peu au cours de l'année. La quantité de Cl⁻ varie de 23 à 28,4 mg/l. Quant à la quantité de P₂O₅, elle semble plus petite que dans l'eau de Rakina Bara: 2,0 mg/l au printemps, 1,2 mg/l en automne. Ici aussi, les variations annuelles de P et de N dans l'eau du lac sont en voie d'être étudiées à part.

La stratification de l'eau quant à la teneur en O₂ et en CO₂ est ici moins bien prononcée que dans Rakina Bara. C'est surtout en hiver, sous la glace, que la quantité de O₂ diminue en allant de la surface (12,4 ccm/l) vers le fond (8,2 ccm/l.) En été, la quantité de O₂ a été trouvée sensiblement la même dans toute la masse d'eau (6,9-5,7 ccm/l). La quantité de CO₂, la plus grande en hiver (12,10 — 16,70 ccm/l), est en été beaucoup plus grande, dans l'eau de surface, que dans l'eau de Rakina Bara.

Ici aussi, le pH dépasse dans toutes les saisons, 8, avec des variations insignifiantes au cours de l'année (8,3-8,7).

La végétation littorale est ici aussi très pauvre qualitativement et représentée par *Potamogeton crispus* mais qui ne forme point une zone continue. En outre, on observe au printemps, au bord SW, quelques îlots de *Polygonum amphibium*.

Le phytoplancton montre, d'une manière générale, un développement bien moins intense que dans Rakina Bara. Au printemps, ce sont bien les Flagellés, et cela les mêmes formes que celles de Rakina Bara, qui dominent dans le plancton (*Euglena proxima*, 640 ind./ccm; *Trachelomonas volvocina*, 302 ind./ccm; *Tr. ensifera*, 264 ind./ccm). Les Cyanophycés (*Lyngbia Lagerheimi* surtout) apparaissent en nombre bien faible.

En été, les Cyanophycés (notamment *Lyngbia aerugineo-coerulea*) apparaissent en un nombre plus grand, mais sans dominer et sans déterminer le phénomène de „Wasserblüte“. *Trachelomonas* et différents Chlorophycés (notamment *Chlamydomonas*, plusieurs espèces de *Scenedesmus* et de *Selenastrum*) caractérisent le plancton d'été, mais en quantité faible, les différentes espèces au-dessous de 100 ind./ccm.

En automne, *Trachelomonas volvocina* montre, comme dans Rakina Bara, son maximum (448 ind./ccm), à côté de *Trachelomonas sp.* (132 ind./ccm). En outre, *Ankistrodesmus falcatus*

apparaît en plus grand nombre (270 ind./ccm), à côté de plusieurs autres Chlorophycés (*Kirchneriella*, *Scenedesmus*) et de Cyanophycés.

Enfin en hiver, ce sont bien les Chlorophycés qui dominent dans le plancton (par ex. *Ankistrodesmus falcatus*, 660 ind./ccm), à côté de *Trachelomonas (volvocina)*, 136 ind./ccm; sp. 224 ind./ccm). —

Résumé: Le „lac“ *Ciganska Bara* est aussi une eau eutrophe, mais il l'est bien moins que le lac Rakina Bara (absence de „Wasserblüte“). La faible eutrophie de *Ciganska Bara* est combinée aussi avec l'argillotrophie.

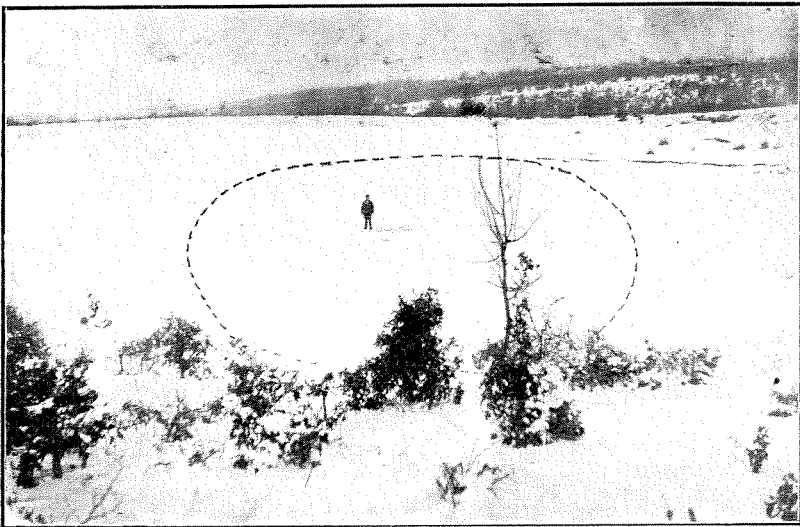


Fig. 5. Bara u Rtu (hiver)

Bara u Rtu. — Cette petite nappe d'eau (fig. 5), située à 2 km. environ au NE du village Sremčica, au milieu d'un petit bois de chêne clairsemé, n'a été étudiée que d'une manière sommaire. Le „lac“ est également situé au fond d'une doline peu profonde, et son diamètre atteint une quarantaine de m. Bien que la roche calcaire n'affleure point à la surface sur les côtés de la doline, la terre meuble est d'une épaisseur insignifiante. Le lac montre en été une profondeur à peine de 1 m. Ce lac n'a également point d'affluents permanents, point d'émissaire, et est nourri exclusivement par l'eau atmosphérique.

La température hivernale de l'eau n'est pas observée, mais

le lac gèle aussi pendant l'hiver. En été (juillet), l'eau de surface montre une température de 27°C. Au printemps (avril), cette même température est de 18,4°C.

L'eau du lac est ici aussi troublée par les suspensions argileuses, mais en quantité moindre que l'eau des deux lacs précédents. C'est la raison principale de ce que la transparence de l'eau atteint ici, en été, 30 cm. (40 cm. au mois d'avril).

Quant à la teneur de l'eau en électrolytes (février), c'est surtout la faible quantité de CaO qui est à signaler, puisqu'elle est à la limite de l'oligotype (24,5 mg/l). Il en est de même avec la quantité de Mg⁺⁺ (3,44 mg/l). Mais la quantité hibernale de SO₄⁼⁼ (16,2 mg/l) dépasse largement cette même quantité des eaux précédemment étudiées (7, 2—10,1 mg/l). Quantité de SiO₂ 7,5 mg/l; celle de Cl⁻ 14,5 mg/l. Quant à la quantité de N₂O₅ elle est relativement grande: 1,33 mg/l; celle de P₂O₅, 0,20 mg/l. (hiver).

Le pH dépasse, au printemps et en été, 8 (8,2—8,3.)

La végétation littorale est, au printemps surtout, représentée par *Ranunculus trichophyllus* et par *Potamogeton crispus*, qui forment tout autour deux zones concentriques. En été, *Trapa natans*, envahit presque toute la surface de l'eau. A noter, en passant, que ce lac est la seule eau de la région de Beograd qui héberge cette dernière plante.

Le phytoplancton en été montre un bien faible développement, par rapport aux deux lacs précédents. Ici aussi apparaissent les deux *Trachelomonas*: *volvocina* et *sp.*, mais en quantité plus faible que dans les deux lacs précédents. Les Cyanophycés (notamment *Lyngbia Martensiana*) sont également faiblement développés, sans troubler l'eau ni provoquer le phénomène de „Wasserblüte“. —

Résumé: L'eau „Bara u Rtu“ est une eau à peine eutrophe, et sous ce rapport elle se rapproche davantage de Ciganska Bara. La très faible eutrophie est ici aussi combinée avec l'argillotrophie modérée.

Il s'agit maintenant de retracer les caractères limnologiques généraux des trois eaux karstiques étudiées, et d'en souligner les facteurs régionaux essentiels.

Il est tout d'abord à souligner le fait fondamental que dans les eaux étudiées, malgré leur petitesse et leur faible pro-

fondeur, presque tous les spectres limnologiques présentent une constance relativement grande au cours de l'année, — exception faite de la température. C'est surtout le cas avec la teneur de l'eau en électrolytes, dont les variations au cours de l'année, montrent une amplitude relativement peu considérable. Cela est le cas non seulement avec la quantité totale de sels dissous, mais aussi avec les différents électrolytes. Ainsi par ex., la quantité de CaO varie, au cours de l'année, dans les deux premiers lacs de 30% au maximum seulement. Il en est de même avec la plupart des autres ions: Mg'', Cl' SO₄'', dont nous avons déjà noté les variations au cours de l'année. Il en est enfin de même avec la concentration en ions hydrogènes, dont l'exposant oscille, au cours de l'année, dans les limites assez étroites de 8,2—8, 7.

Nous avons donc ici affaire, — tout au moins en ce qui concerne Rakina Bara et Ciganska Bara, étudiées plus en détail, — à des eaux *eustatiques*, dans le sens de Gajl (2) et de Thienemann (10). Ceci est d'autant plus intéressant à noter que les eaux étudiées sont les eaux karstiques typiques. Or, on sait que maintes eaux stagnantes du karst dinarique, surtout les petites „lokvas“, présentent au cours de l'année des variations considérables de la masse d'eau. Le régime hydrographique du karst de Beograd n'est pas spécialement étudié. Mais il est très probable que la constance relative de la masse d'eau et du niveau des eaux étudiées en été, malgré la haute température et l'évaporation intense, et malgré l'absence d'affluents permanents, est en grande partie due au fait que ces eaux restent en communication avec l'eau souterraine. En même temps, on ne doit pas perdre de vue que la répartition des précipitations atmosphériques au cours de l'année est dans la région étudiée de beaucoup plus uniforme que dans la région du karst dinarique, caractérisé surtout par le climat méditerranéen. L'eustatique des eaux étudiées est donc à considérer comme une particularité régionale du karst de Beograd.

Cependant, les caractères thermiques des eaux étudiées sont sujets à des variations considérables au cours de l'année. Nous devons toutefois souligner le fait que l'eau des petits lacs étudiés, dans la moitié estivale de l'année, est une eau relativement bien chaude, qui peut atteindre et même largement dépasser, en été, 30°C. Inutile de dire qu'une pareille température estivale doit considérablement activer la production organique pendant la période végétative.

Le fait également intéressant à noter est la stratification thermique de l'eau, dans toutes les quatre saisons de l'année et surtout en été, malgré la très faible profondeur qui atteint à peine 2 m. La stratification thermique estivale des petites eaux stagnantes peu profondes du centre et du nord de l'Europe est plutôt une exception éphémère, qui se montre dans des conditions locales plus favorables. Ici, cette stratification, bien que d'une stabilité assez faible, semble être un cas normal, — tout au moins en ce qui concerne les eaux karstiques étudiées.

La stratification thermique des eaux étudiées est une condition naturelle de la stratification chimique. Cette dernière stratification, bien nette aussi bien en été qu'en hiver, se laisse surtout voir d'après la répartition verticale des gaz dissous dans l'eau: O_2 et CO_2 . Elle se reflète aussi dans les variations verticales de pH.

Il est toutefois à remarquer que la stratification thermique et chimique de l'eau peu profonde des lacs étudiés ne doit pas être considérée comme une particularité des eaux karstiques. Les lacs égéens non karstiques et peu profonds (Dojran, Ajvasil par ex.; v. Stanković, 9) montrent aussi une stratification thermique et chimique bien prononcée. Cette stratification est plutôt conditionnée par la situation géographique des eaux en question et, partant, par le climat de la région où ces eaux se trouvent.

La particularité régionale importante des eaux étudiées, qu'on doit surtout souligner, est la quantité relativement faible de CaO dans l'eau. En effet, dans toutes les trois eaux étudiées, la quantité de CaO atteint au maximum 67 mg/l; elle correspond donc au mésotype au sens de Naumann (6,7). Ceci est un fait particulièrement intéressant à noter, les eaux étudiées étant des eaux karstiques typiques. Dans l'eau „Bara u Rtu“ la quantité de CaO (24,5 mg/l) ne dépasse même pas la limite de l'oligotype. De plus, cette faible quantité de CaO des eaux étudiées se maintient sensiblement constante pendant toute l'année.

Ce fait important ne permet pas qu'on désigne les eaux étudiées comme typiquement alcalitrophes au sens de Naumann (7). En effet, suivant la définition (Naumann, 7), une eau alcalitrophe est caractérisée en premier lieu par une quantité excessive de CaO correspondant au polytype, c. a. d. dépassant toujours 100 mg/l. Pareilles eaux caractérisent certaines régions calcaires de Suède et des Alpes (Naumann, 7). Elles peuvent être très peu profondes, notamment les eaux de l'île suédoise:

Götland, appelées *Träsk*, et présenter suivant Naumann, plutôt les caractères des étangs. Sous ce rapport, les eaux étudiées pourraient être, en partie, comparées aux „träsk“ suédois. Mais elles en semblent différer par une série de caractères limnologiques, en premier lieu par la faible teneur en CaO. En outre, elles en diffèrent encore par la faible transparence de l'eau, par le fort développement du phytoplancton, et par l'absence d'une végétation supérieure abondante.

Suivant Naumann, le type alcalitrophe serait caractérisé par une faible production du phytoplancton, c. a. d. par une „oligotrophie“ au sens large du mot (pseudoligotrophie). La forte teneur en CaO provoque la démobilité des sels de P et de N; c'est pourquoi le phytoplancton ne peut jamais montrer un développement quantitatif plus important.

Ce n'est pas le cas avec les eaux karstiques étudiées. Abstraction faite de ce qu'elles montrent une eutrophie plus ou moins nette, elles se distinguent surtout par la faible teneur en CaO.

Ce dernier fait insolite pour les eaux karstiques ne semble point limité aux eaux du karst de Beograd. Les lacs karstiques balkaniques du sud: Ohrid, Prespa, Ostrovo, Petersko, Castoria (v. Stanković, 8,9) se caractérisent aussi par une teneur relativement faible en CaO, correspondant au mésotype modéré (19,3-29,7 mg/l). De plus, le plus grand lac du karst dinarique, celui de Skutari, se caractérise aussi par une faible quantité de CaO, correspondant au mésotype (40,7 mg/l).

Les eaux karstiques stagnantes ne sont donc pas forcément alcalitrophes, et on peut dire même qu'une eau karstique typiquement alcalitrophe n'est pas encore décrite, bien qu'il soit logique de chercher l'alcalitrophie précisément dans nos régions karstiques. Toutefois, il ne faut pas perdre de vue que nos eaux karstiques sont, sous ce rapport, presque complètement inconnues. Quoi il en soit, il serait tôt, dès à présent, de généraliser à nos régions karstiques l'opinion de Naumann (7) suivant laquelle les régions calcaires seraient caractérisées en premier lieu par l'alcalitrophie typique. Cela n'est pas le cas tout au moins avec la région du karst de Beograd.

La faible teneur en CaO des eaux étudiées présente encore un autre intérêt. Elle montre que les eaux en question ne dépendent qu'en une mesure bien limitée du substratum géologique fondamental. C'est d'autant plus intéressant que ce sub-

stratum géologique est précisément la roche calcaire. Mais nous avons déjà eu l'occasion (v. Stanković, 9) d'observer le fait analogue chez les lacs karstiques du sud de la péninsule balkanique. C'est d'ailleurs le fait maintes fois constaté que le substratum géologique fondamental exerce une influence relativement faible sur la vie d'un lac, et que ce sont précisément les dépôts meubles qui jouent un rôle prépondérant (comp. aussi Järnefelt, 3). Or, ces dépôts meubles forment le substratum pédologique, dont la teneur en électrolytes exerce une influence décisive sur la composition chimique d'une eau.

Nous avons déjà dit que les eaux karstiques étudiées présentent une eutrophie plus ou moins nette. L'eutrophie de ces eaux serait impossible si elles contenaient une quantité plus grande de CaO, c. à d. si elles présentaient des caractères alcalitrophes. Cependant, l'eutrophie des eaux étudiées est conditionnée en premier lieu par la nature du substratum pédologique de leur voisinage. En effet, comme nous avons déjà eu l'occasion de le dire, le substratum pédologique de la région étudiée de Šremčica est représenté par un sol cultivé, du type „gajnjača“ („Braunerde“, „terre brune“). Ce sol cultivé s'est formé, très probablement, aux dépens des matériaux de désagrégation des calcaires sarmates et aussi en partie aux dépens des anciens dépôts pontiens (argiles sableuses), dont les traces se rencontrent, suivant Cvijić, par places dans la région du karst de Beograd. C'est bien ce sol cultivé qui alimente les eaux étudiées en électrolytes nécessaires, et qui rend possible leur eutrophie. La culture constante de ce sol est un facteur principal de l'eutrophie des eaux étudiées. Mais ce n'est pas tout. Le fait que les lacs étudiés, notamment Rakina Bara et Ciganska Bara, se trouvent au voisinage immédiat des habitations humaines, explique aussi le degré de leur trophie. Les pollutions organiques, venant des habitations, arrivent facilement dans les lacs en question, et contribuent en une large mesure à la grandeur de leur standard trophique. C'est surtout le cas avec Rakina Bara, situé entre les habitations mêmes.

On doit cependant remarquer que le degré de l'eutrophie n'est pas le même chez les trois petites eaux étudiées. Rakina Bara présente certainement le plus haut degré de l'eutrophie. En effet, ce petit lac se caractérise par une eutrophie prononcée, dont nous avons déjà décrit les caractères principaux. La développement intense du phytoplancton, la persistance du phénomène

de „Wasserblüte“ pendant toute la moitié estivale de l'année; enfin la richesse en sels nutritifs de l'eau de ce lac, indiquent une eutrophie très nette.

Les deux autres lacs présentent cependant un degré bien moins élevé de l'eutrophie. Ainsi Ciganska Bara se caractérise par une eutrophie modérée; l'eau de ce lac n'offre pas le phénomène de „Wasserblüte“, et le développement du phytoplancton n'atteint point le degré observé dans Rakina Bara.

Enfin, l'eutrophie de „Bara u Rtu“ est à peine indiquée. Cette eau karstique est le moins eutrophe de toutes les trois étudiées.

Nous pouvons ainsi ranger les eaux en question, suivant le degré de leur trophie, de la manière suivante:

Bara u Rtu → Ciganska Bara → Rakina Bara.

Cette série se laisse très bien mettre en rapport avec l'intensité de l'influence exercée par les facteurs de l'eutrophie. Rakina Bara est située dans le village même, à proximité immédiate des habitations qui l'entourent. Les cotés de la doline sont bien cultivés; tout autour sont également les terrains cultivés. Les pollutions organiques sont constamment amenées (par l'eau atmosphérique surtout) dans l'eau du lac. Les bestiaux y viennent également boire, et le lac est constamment fréquenté par la population.

Ciganska Bara cependant, bien que tout proche du village, se trouve en dehors des habitations. Le terrain qui l'entoure est également cultivé, mais les pollutions organiques venant des habitations arrivent moins facilement dans l'eau du lac. C'est pourquoi le degré de l'eutrophie de ce lac est bien moins élevé que chez Rakina Bara.

Enfin, Bara u Rtu est bien éloignée des habitations. Le terrain, couvert d'un bois clairsemé, n'est pas cultivé. Les pollutions venant de l'activité humaine n'arrivent qu'occasionnellement dans l'eau du petit lac. C'est pourquoi ce lac présente une eutrophie à peine indiquée.

L'eutrophie des eaux karstiques étudiées, est-elle primaire? Nous sommes plutôt enclins à admettre qu'il s'agit ici d'une eutrophie secondairement conditionnée. En effet, le faible degré de l'eutrophie de Bara u Rtu laisse admettre que les eaux karstiques en question auraient dû être primitivement oligotrophes, pour devenir eutrophes plus tard, grâce à la culture des terrains voisins, et en général grâce à l'activité humaine (proximité des

habitations). Nous avons eu l'occasion d'observer, dans la région du karst dinarique, des petites eaux analogues, présentant une oligotrophie bien nette. Ces eaux ne sont malheureusement point étudiées en détail pour pouvoir être utilement comparées aux eaux karstiques de la région de Beograd. Cependant, lorsque pareilles eaux dinariques se montrent eutrophes, c'est le plus souvent grâce à l'influence des cultures et en général grâce à l'activité humaine. Si leur oligotrophie primitive vient de ce que ces eaux sont fortement alcalitrophes, ou bien si elle est une oligotrophie plus harmonieuse, reste encore à établir.

Dans tous les cas, il nous paraît plus justifié de considérer l'eutrophie des eaux étudiées du karst de Beograd comme secondaire.

L'eutrophie des trois lacs est toujours combinée avec l'argillotrophie. Les suspensions argileuses troublent partout l'eau au point de diminuer fortement sa transparence. Ce n'est que pendant l'hiver, avec l'eau complètement calme et protégée par la glace, que la quantité de suspensions anorganiques présente le minimum. La présence des suspensions argileuses dans l'eau des lacs étudiés est facile à comprendre. Tout d'abord, la masse d'eau est relativement faible; ensuite, l'eau atmosphérique qui arrive dans les lacs, entraîne toujours, en passant par les terrains cultivés de grandes quantités d'argile, pour les déposer dans l'eau des lacs. La combinaison argillotrophie + eutrophie est particulièrement fréquente, et elle se laisse observer non seulement chez les lacs eutrophes balkaniques du sud (v. Stanković, 9) mais aussi et surtout chez les nombreux lacs eutrophes du nord de l'Europe Naumann, 7.)

Cette étude des eaux karstiques de la région de Beograd est encore insuffisante pour que l'on puisse, dès à présent, retracer les caractères limnologiques généraux des petites eaux karstiques stagnantes. Les eaux analogues de la vaste région du karst dinarique demandent une étude systématique et minutieuse. Les types limnologiques, leur répartition et les facteurs de leur existence, leur développement et leur succession dans les régions karstiques sont autant de problèmes qui demandent des recherches de vaste envergure.

Pour le moment, nous pouvons tirer de nos recherches la conclusion suivante :

Le karst de la région de Beograd est caractérisé au point de vue limnologique par des petites eaux stagnantes occupant le fond des dolines et présentant une très faible profondeur. Ces eaux sont eustatiques et plus ou moins eutrophes. L'alcalitrophie typique n'est pas observée, puisque les eaux étudiées montrent une teneur en sels de Ca correspondant au mésotype modéré. L'eutrophie est ici combinée avec une argillitrophie nette. Cette eutrophie semble être de nature secondaire; ses causes sont: le substratum pédologique cultivé, et la présence des habitations humaines. Ces causes sont de nature à conditionner une eutrophie progressive. Les caractères limnologiques généraux des petites eaux stagnantes du karst de Beograd montrent que le substratum géologique fondamental calcaire, — tout au moins dans la région explorée, — n'exerce qu'une influence limitée sur la vie des eaux stagnantes.

Nous remercions ici la „Société d'Amis des Sciences Naturelles“ de Beograd, pour l'aide matérielle bienveillante qui a facilité nos recherches.

BIBLIOGRAPHIE CITÉE

- 1) *Cvijić, J.* — Plastique lacustre de la Šumadija. — Glas de l'Acad. Serbe des Sciences, T. LXXIX, Beograd, 1909 (en serbe).
- 2) *Gajl, K.* — Ueber zwei faunistische Typen aus der Umgebung von Warschau etc. — Bull. Acad. Polon. Sciences, 1924.
- 3) *Järnefelt, H.* — Zur Limnologie einiger Gewässer Finlands. — Ann. Soc. Zool. Bot. Fenn. Vanamo, Helsinki, 1925-30.
- 4) *Naumann, E.* — Ziel und Hauptprobleme der regionalen Limnologie. — Botan. Notiser, Lund, 1927.
- 5) — — — — — Einige neue Gesichtspunkte zur Systematik der Gewässertypen. Arch. Hydrobiol., 20, 1929.
- 6) — — — — — Die Haupttypen der Gewässer in produktionsbiologischer Hinsicht — Verhdl. Inter. Limn. Ver. 5, 1931.
- 7) — — — — — Grundzüge der regionalen Limnologie. — Binnengewässer, XI, 1932.
- 8) *Stanković, S.* — Contribution à la connaissance des lacs d'Ochrida et de Prespa. Vrhdl. Inter. Limn. Ver., 4, 1929.
- 9) — — — — — Sur les particularités limnologiques des lacs égéens. — idem, 5, 1931.
- 10) *Thienemann, A.* — Die Binnengewässer Mitteleuropas. — Binnengewässer, I, 1925.