

## Le régime fluvial du Vardar

In: Méditerranée, 3e année, N°2, 1962. pp. 3-27.

---

Citer ce document / Cite this document :

Rakicevic Tomislav L. Le régime fluvial du Vardar. In: Méditerranée, 3e année, N°2, 1962. pp. 3-27.

doi : 10.3406/medit.1962.1034

[http://www.persee.fr/web/revues/home/prescript/article/medit\\_0025-8296\\_1962\\_num\\_3\\_2\\_1034](http://www.persee.fr/web/revues/home/prescript/article/medit_0025-8296_1962_num_3_2_1034)

---

# LE RÉGIME FLUVIAL DU VARDAR

---

## INTRODUCTION

Le Vardar est un des fleuves les plus importants de la partie méridionale de la Péninsule Balkanique. A travers sa vallée passent les principales voies de communication reliant l'Europe Centrale et Occidentale au Proche et au Moyen Orient.

Le Vardar prend sa source au pied de la montagne de Sar dans la Macédoine du Nord-Ouest et se jette dans le Golfe de Salonique, le golfe le plus vaste de la Mer Egée qui s'enfonce profondément

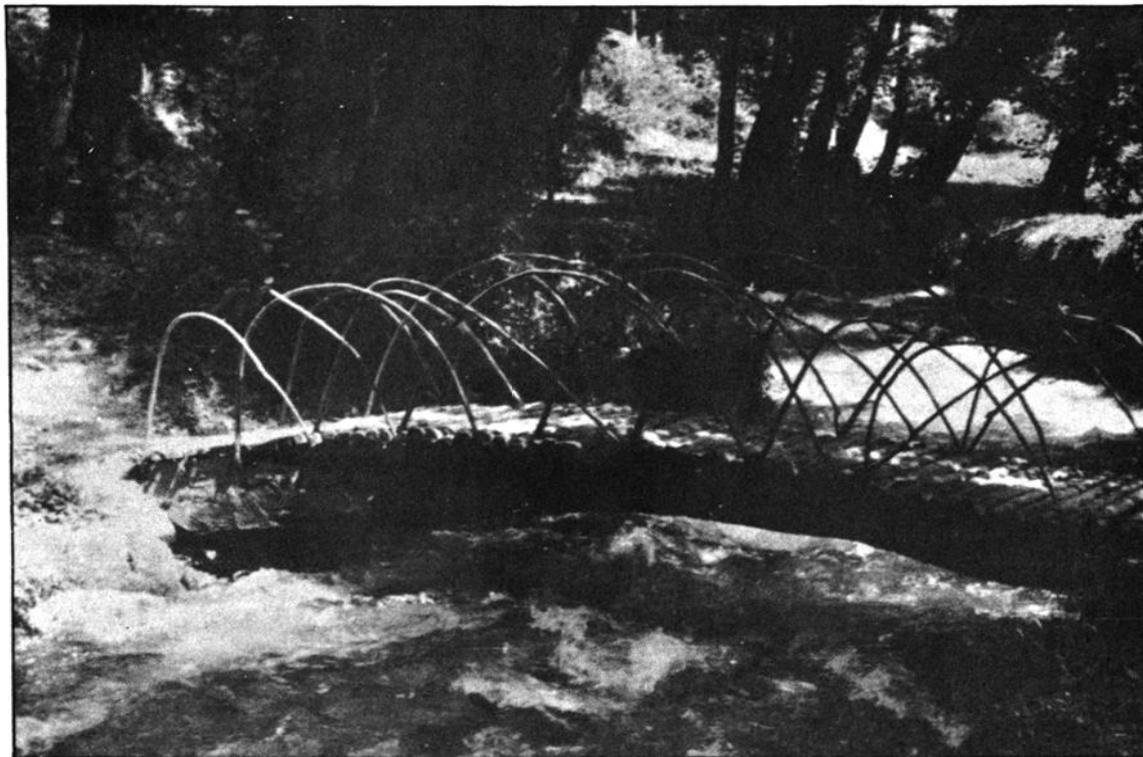


PHOTO I. — *Le Vardar au village de Vrutok, à 100 m. de distance de sa source vaclusienne*

dans la masse continentale de la Péninsule Balkanique. La longueur de son cours est de 420 km, dont 300,5 km se trouvent en Yougoslavie et 119,5 km en Grèce. La superficie totale de son bassin est de 28 410 km<sup>2</sup>, dont 22 387 km<sup>2</sup> (79 %) sont situés en Yougoslavie, tandis que 6 023 km<sup>2</sup> (21 %) appartiennent à la Grèce.

Le Vardar est né de la puissante source vaclusienne karstique de Vrutok, qui jaillit au pied des versants méridionaux de la montagne de Sar. La source est située à 683,5 mètres d'altitude et son débit est de 1,5 m<sup>3</sup>/sec. Les oscillations du débit au cours de l'année sont insignifiantes. C'est seulement au cours d'un été exceptionnellement sec, comme lors des années 1950 et 1952, que la source donne une quantité un peu moindre d'eau. A la source l'eau est limpide, (Photo 1).

Depuis sa source jusqu'à son embouchure dans le Golfe de Salonique le Vardar traverse plusieurs bassins d'effondrement, ceux de Polog, de Skoplje, de Veles, de Tikves, de Gevgeli et de Salonique, qui sont liés entre eux par les défilés de Derven, de Taor, de Veles, de Demir-Kepija et de Cigani. Dans son cours supérieur, à travers le bassin de Polog jusqu'au défilé de Derven, la vallée du Vardar suit la direction du Sud-Ouest au Nord-Est. Dans cette partie de son cours, il reçoit, du côté gauche, toute une série d'affluents venant de la montagne du Sar. Dans le défilé de Derven, il tourne vers le Sud-Est et ne cesse de suivre cette direction jusqu'à son embouchure dans le Golfe de Salonique. Les tributaires les plus importants du Vardar sont les rivières de Crna Reka et de Treska du côté droit et celles de Bregalnica, de Pcinja et de Lepenac du côté gauche. Toutes ces rivières coulent en général de l'Ouest vers l'Est ou de l'Est vers l'Ouest, c'est-à-dire perpendiculairement au cours principal du Vardar. (Fig. 1).

Le système hydrographique du Vardar est développé pour la plus grande partie sur le terrain de l'ancienne masse du Rhodope, composée d'une variété de schistes cristallins d'âge archéen et paléozoïque. Le morcellement de la masse du Rhodope a créé dans cette partie de la Péninsule Balkanique, des montagnes hautes et massives séparées par de vastes bassins qui ont été, à plusieurs reprises, occupés par des lacs. Pourtant, bien que la plus grande partie du bassin fluvial actuel du Vardar soit restée en partie continentale, son système hydrographique actuel est d'une formation relativement récente, due au rétrécissement du Lac Egéen vers la fin du pliocène et au cours du pleistocène.

Il est impossible de reconstruire le système hydrographique

du Vardar de la phase prélimnique uniquement à l'aide des vallées fossiles, conservées en plusieurs endroits sous forme de vestiges. On présume que les rivières prélimniques ont coulé pour la plupart de l'Ouest vers l'Est, dans la direction du lac qui avait comblé une série de bassins dans la vallée actuelle du Vardar, et que l'évo-

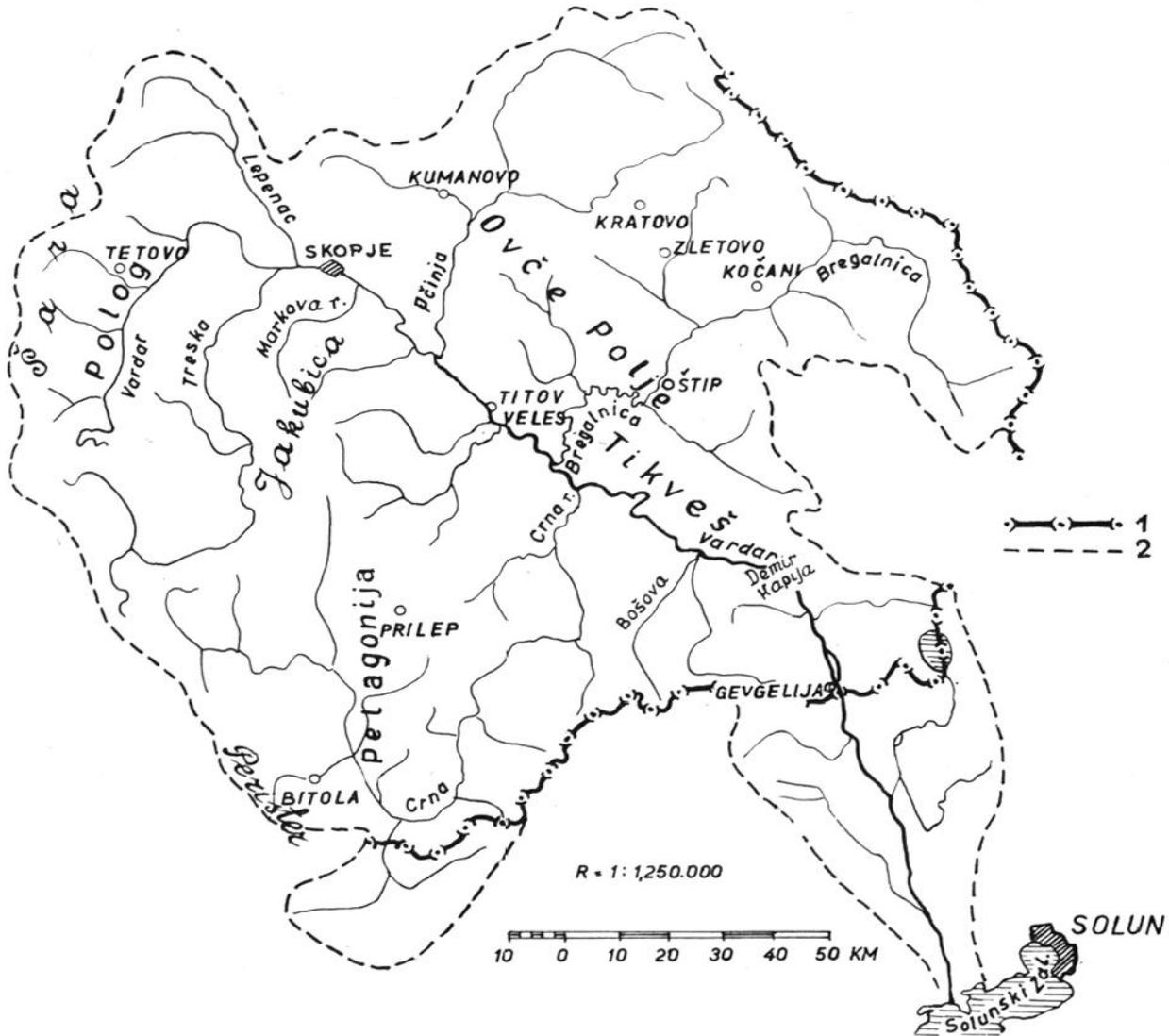


FIG. 1. — Le bassin du Vardar  
1) frontière d'Etat ; 2) limites du bassin hydrographique

lution de ce relief fluvial prélimnique était assez avancée. La série de 11 hauts plateaux de la montagne de Sar dont les altitudes se rangent entre 1 050 et 2 200 m, conservés sur le versant du bassin de Polog, indique également que le processus de l'érosion fluviale

avant la transgression néogène était considérablement avancée dans son évolution.

### I. — Principaux facteurs du régime du Vardar.

*Climat.* Le climat est le principal facteur de géographie physique qui exerce une influence sur le régime du Vardar. Parmi les éléments du climat la quantité des précipitations et leur distribution mensuelle constituent les facteurs dominants. Cette quantité annuelle de précipitations s'élève à 710 mm en moyenne. Cependant, il existe de grandes différences sous ce rapport entre les diverses parties du bassin fluvial. Tandis que les régions montagneuses de l'Ouest reçoivent 1 400 mm par an, dans le cours moyen du Vardar, les bassins de Vles, d'Ovce Polje et de Tikves, enregistrent moins de 500 mm de précipitations annuelles. La localité de Gradsko dans le bassin de Tikves avec une quantité moyenne annuelle de 422 mm de précipitations est l'endroit le plus pauvre en précipitations de toute la Yougoslavie. A partir de ce minimum, la quantité de précipitations augmente dans toutes les directions : graduellement vers l'Est et le Sud, un peu plus vite vers le Nord et plus rapidement encore vers l'Ouest. Outre l'altitude du terrain, la quantité de précipitations dans le bassin fluvial du Vardar est également influencée par la proximité de deux mers, l'Adriatique et la Mer Egée. Les régions périphériques du bassin fluvial, plus proches de ces mers sont plus riches en précipitations que les régions centrales.

En outre, les diverses parties du bassin fluvial du Vardar diffèrent considérablement l'une de l'autre par leur régime pluviométrique. On distingue, dans le bassin du Vardar, deux types de régime pluviométrique : le régime méditerranéen, avec maximum de précipitations au mois d'octobre ou de décembre, et le régime continental avec maximum de précipitations au mois de mai ou de juin. Le régime pluviométrique méditerranéen est représenté dans les parties nord-occidentale, occidentale et méridionale, c'est-à-dire dans les régions plus proches de l'Adriatique et de la Mer Egée. Le régime pluviométrique continental est représenté dans les parties septentrionale, nord-orientale et orientale du bassin fluvial qui sont plus éloignées des mers. La région à régime pluviométrique continental reçoit moins de précipitations et représente la partie la plus aride du bassin fluvial du Vardar, très pauvre d'ailleurs en précipitations.

La quantité annuelle de précipitations se répartit d'une façon

très inégale entre les mois. Les mois de maximum pluviométrique enregistrent jusqu'à cinq fois plus de précipitations que les mois de minimum. La grande oscillation des précipitations mensuelles produit un effet très défavorable sur le régime du Vardar et sur l'économie

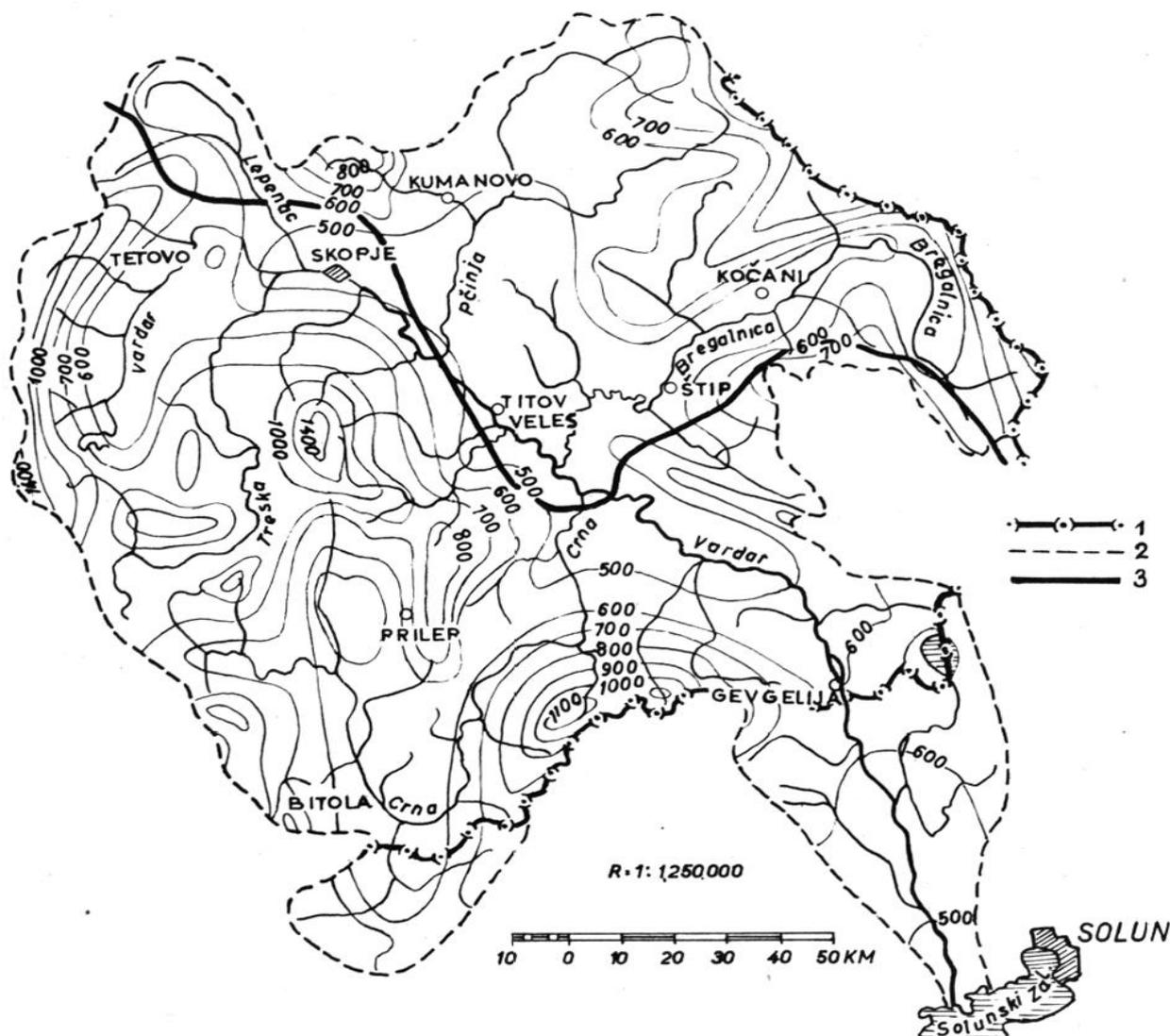


FIG. 2. — Les précipitations dans le bassin du Vardar  
 1) frontière d'Etat ; 2) limites du bassin hydrographique ; 3) limite entre les régions de régime pluviométrique méditerranéen au Sud et à l'Ouest et de régime continental au Nord et à l'Est

du bassin fluvial en général. Les précipitations sont plus abondantes, dans le bassin du Vardar, au cours de l'hiver et de l'automne, tandis que les mois d'été (juillet, août, et le mois de septembre) sont quelquefois tout à fait secs. (Fig. 2).

La température de l'air est aussi un facteur climatique important qui influence le régime du Vardar par l'évaporation. L'été est très chaud dans le bassin fluvial du Vardar et surtout dans sa vallée et dans celles de ses affluents. D'après le nombre de jours où la température monte au-dessus de 20 °C, la majeure partie du bassin fluvial a des conditions thermiques méditerranéennes. Les températures élevées de l'air pendant les mois d'été, au-dessus de 22 °C, provoquent une grande évaporation, et comme les quantités de précipitations au cours de l'été sont aussi insignifiantes, il arrive souvent que de nombreux cours d'eau importants, tarissent en cette saison, notamment la Bregalnica, le deuxième affluent du Vardar en importance. L'hiver est, par contre, relativement sévère. Ce fait est dû à la pénétration des masses froides de l'air du Nord par le col de Pressevo et le Kosovo Polje. C'est pourquoi les amplitudes annuelles sont très marquées. La plus grande amplitude est celle de Titov-Veles, 24,1 °C, puis celles de Skoplje et de Tetovo, 24 °C chacune.

Par conséquent, dans le bassin fluvial du Vardar entrent en contact le doux climat méditerranéen et le climat continental rigoureux; du contact de ces deux types climatiques résultent deux saisons défavorables : l'hiver froid continental et l'été subtropical, chaud et sec.

Le vent le plus important dans le bassin du Vardar est le « vardarac ». C'est un vent froid et sec qui conditionne un temps serein. Il souffle le plus souvent en hiver, en descendant les montagnes de Sar et de Skopska Crna Gora, en aval de la vallée du Vardar vers le Golfe de Salonique.

*Relief.* La caractéristique fondamentale du relief du bassin fluvial du Vardar est sa grande dissection. La vallée du Vardar ainsi que celles de ses affluents consistent en bassins, séparés les uns des autres par des massifs montagneux et reliés par des défilés. C'est pourquoi l'on compare le bassin fluvial du Vardar et la masse du Rhodope en général, à un échiquier, où les montagnes représentent les cases noires et les bassins les cases blanches.

Les montagnes sont des fragments élevés de l'ancienne masse du Rhodope, en forme de massifs isolés et sans direction déterminée. Les mouvements verticaux, soulèvements et affaissements du terrain le long de failles, furent intenses et, par conséquent, les montagnes s'élevèrent en horsts à une grande hauteur au-dessus des bassins. Ainsi s'élevèrent, au-dessus des bassins de Skoplje, 250 m, de Polog, 450 m et de Pélagonie, 570 m les montagnes de Jakubica, de Sar et de Perister dont les sommets dépassent 2 500 m. Les eaux atmosphériques

s'écoulent rapidement et en grande quantité, de ces hautes montagnes abruptes et pour la plupart dénudées, ce qui prête un caractère torrentiel au Vardar et à ses affluents. Les montagnes influencent le régime du Vardar non seulement par l'inclinaison de leurs pentes, mais aussi par la quantité des précipitations. Elles reçoivent de 1 000 à 1 400 mm de précipitations par an, c'est-à-dire de 2 à 3 fois plus que les bassins. En outre, une grande partie des précipitations sur les montagnes apparaît sous forme de neige qui ne fond que pendant les mois de printemps et d'été, et, par conséquent, les rivières qui prennent leur source dans les hautes montagnes abondent en eau même pendant l'été, comme c'est le cas, par exemple, de certains cours qui viennent de la montagne de Sar.

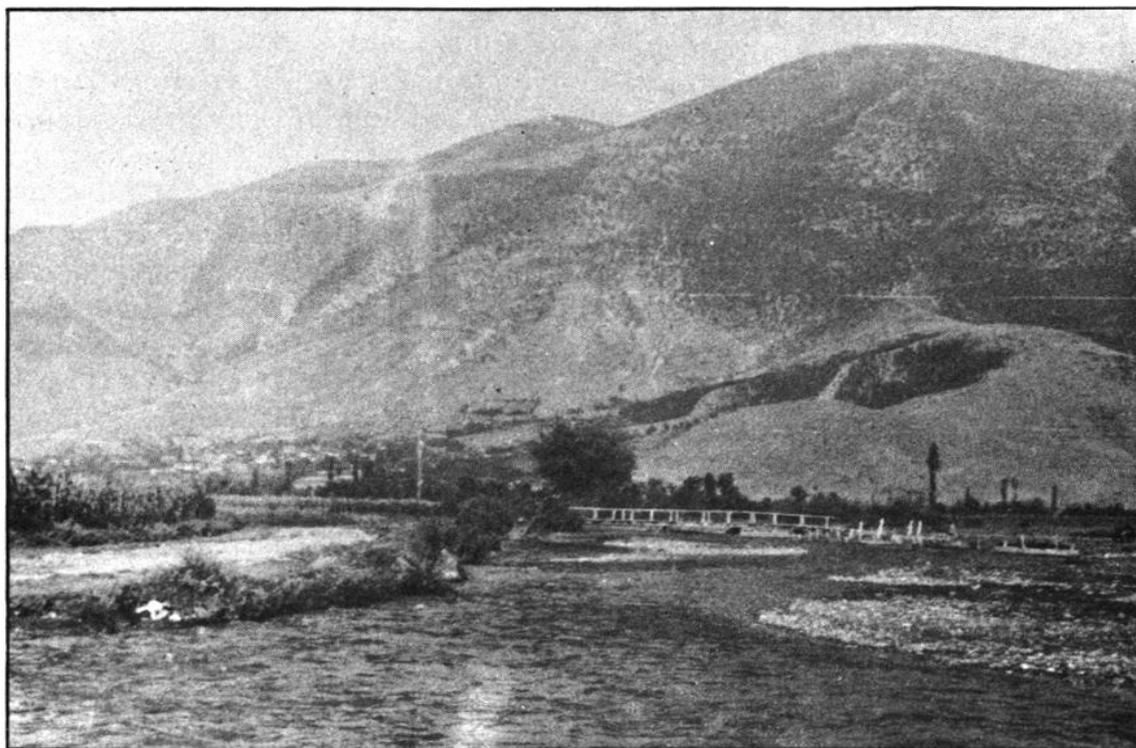


PHOTO 2. — Lit peu profond du Vardar à l'entrée du bassin d'effondrement de Polog, dans le lointain la montagne de Suha Gora

Les bassins d'effondrement qui jalonnent le cours du Vardar se sont formés par l'affaissement du terrain le long des lignes de failles vers le milieu du tertiaire. Au cours du miocène et du pliocène ils étaient occupés par de grands lacs. Ayant drainé les lacs, le Vardar et ses affluents ont formé dans les plaines lacustres de vastes vallées et des séries de terrasses fluviales.

Les bassins sont comblés de dépôts lacustres et fluviaux. On y sent, dans une grande mesure les influences méditerranéennes. Ils reçoivent moins de précipitations que les montagnes qui les entourent. Les températures sont élevées et l'évaporation est considérable, de sorte que la plus grande partie des précipitations qu'ils reçoivent, n'arrive pas jusqu'au Vardar. Pourtant, les bassins améliorent considérablement le régime du Vardar. Au cours des mois de printemps, durant les crues, les matériaux sablonneux des bassins absorbent de grandes quantités d'eau qui y reste sous forme de nappes souterraines; elles alimentent les cours d'eau au cours de l'été. De cette façon augmentent les basses eaux du Vardar au cours des mois d'été et s'atténuent les amplitudes annuelles du débit.

Dans les hautes montagnes du bassin fluvial, à savoir : Jakubica, Perister et Sar, l'action de glaciers au quaternaire a donné des formes glaciaires, cirques et moraines. Finalement, dans le bassin fluvial sont représentées aussi les formes karstiques, superficielles et souterraines, surtout dans les montagnes de Zeden, de Suha Gora à Porec et de Kozuf. (Photo 2).

En coulant, tour à tour, à travers les bassins d'effondrement et les défilés, le Vardar s'est formé un profil longitudinal spécifique. La déclivité moyenne du Vardar est de 1,63 %. Pourtant, son profil longitudinal n'est pas de forme parabolique, à pente diminuant graduellement vers l'aval, comme c'est le cas pour la plupart des cours d'eau, mais il descend, par une série d'escaliers de sa source vers son embouchure. Dans les défilés, formés de roches solides, cristallines, sédimentaires et volcaniques, les pentes sont plus fortes et les rapides plus fréquents, tandis que dans les bassins d'effondrement, comblés de sédiments meubles lacustres et fluviaux elles sont très faibles. La diminution de la pente dans les bassins est influencée, non seulement par la structure géologique, mais aussi par les mouvements tectoniques. Par exemple dans les bassins de Gevgeli, de Skoplje et de Polog un affaissement du terrain a eu pour résultat l'accumulation dans le lit du fleuve, l'exhaussement du fond du lit et la diminution des pentes.

*Structure géologique.* Dans le bassin fluvial du Vardar les roches les plus répandues sont les schistes cristallins d'âge archéen et paléozoïque, parmi lesquels prédominent les gneiss, les micaschistes, les schistes amphiboliques, les marbres et les quartzites. Toutes les montagnes de la masse du Rhodope, situées à l'ouest du Vardar, sont composées de ces roches. Ces deux masses cristallines sont séparées par la « zone du Vardar », d'environ 60 km de largeur, laquelle est

formée principalement de roches sédimentaires, calcaires, grès, flysch, d'âges paléozoïque et mésozoïque.

Les schistes cristallins sont percés en de nombreux endroits par des roches éruptives : granites, andésites, dacites et autres. Le plus grand épanchement de roches volcaniques se trouve dans la partie nord-orientale du bassin fluvial, dans la région de Kratovo et de Zletovo, la plus vaste région volcanique des Balkans. Ces roches sont pour la plupart d'âge tertiaire.

Tous les bassins d'effondrement sont occupés par des sédiments tertiaires. Parmi ceux-ci la plus grande étendue est représentée par les formations pliocènes : sables lacustres, cailloux, argile, marnes et conglomérats. L'épaisseur des sédiments lacustres est très forte. Dans le bassin de Skoplje elle atteint jusqu'à 500 m.

Les formations récentes, cailloux, fragments de roches semi-arrondis et non-arrondis, occupent également une étendue considérable, surtout au contact des bords et du fond des bassins, où elles sont déposées sous forme d'alluvions.

*Couverture végétale.* Le régime du Vardar est influencé, non seulement par les facteurs climatiques, géomorphologiques et géologiques, mais aussi par la couverture végétale. Les forêts exercent une grande influence sur le régime des fleuves. Le bassin fluvial du Vardar est, pour la plus grande partie, déboisée. Les forêts sont conservées sur les plus hautes montagnes, dans la partie occidentale du bassin fluvial. Dans les régions plus basses, les forêts sont composées d'arbres à feuilles caduques, dont les représentants principaux sont le hêtre et le chêne, tandis que dans les régions plus élevées, il y a des forêts de conifères. Sur les hautes montagnes, Sar, Jakubica, Perister, au-dessus de la zone de conifères est située la zone des pâturages de montagne.

Les pentes et les fonds de bassins portent des cultures. Dans les plaines, au bord des rivières, on cultive les plantes qui exigent l'irrigation, riz, légumes, coton, maïs et plantes fourragères, tandis que les terres plus élevées portent le blé, le tabac, les vignobles et les vergers.

Dans le bassin fluvial du Vardar, il n'y a donc pas de forêts qui y atténueraient considérablement les grandes amplitudes du débit et de la hauteur des eaux. A vrai dire, dans les cours supérieurs de ces rivières, près de leurs sources, où les forêts ont été mieux conservées, le Vardar et ses affluents sont plus riches en eau, les amplitudes du débit et de la hauteur des eaux sont moindres que dans les bassins inférieurs. Ce n'est pas uniquement dû à la couverture végétale, mais aussi aux précipitations, à la température de l'air et au relief.

## II. — Le régime du Vardar.

Nous avons exposé le régime du Vardar à l'aide des données des stations hydrométriques de Skoplje, Titov-Veles et Gevgeli pour la période de 1925 à 1940. Nous avons choisi ces stations, parce qu'elles disposent de la période ininterrompue la plus longue d'observations concernant la hauteur des eaux. En outre, les mesures y ont été effectuées régulièrement et continuellement.

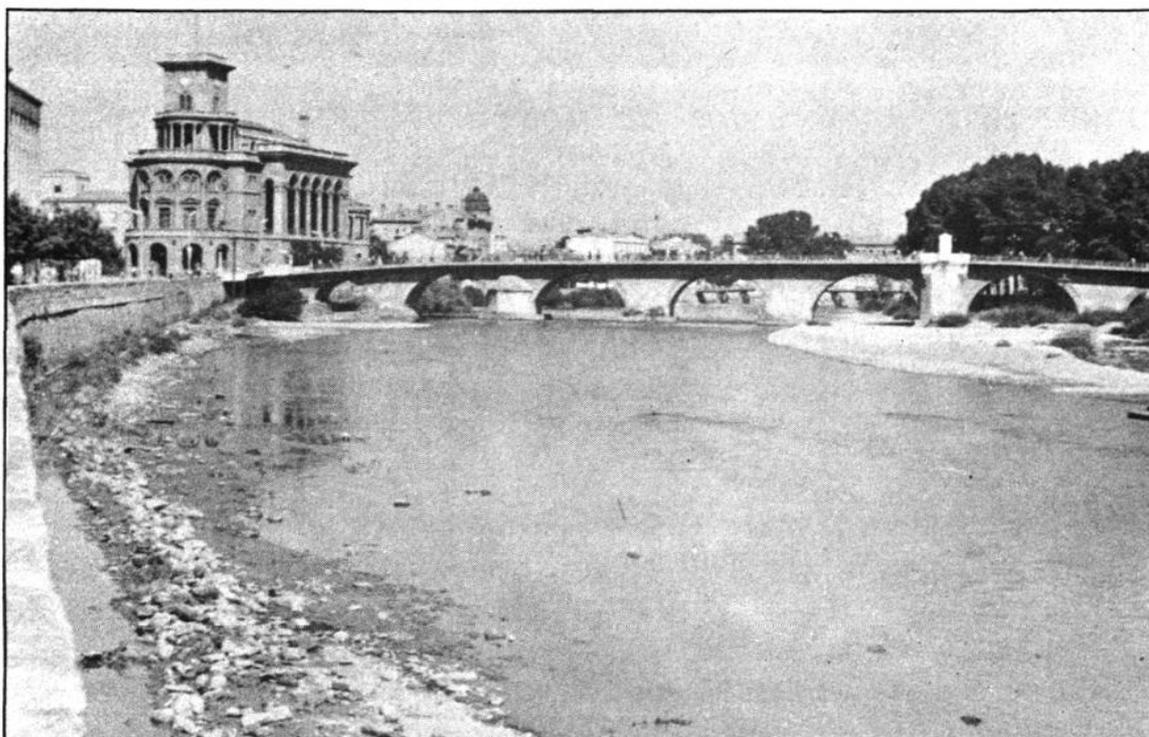


PHOTO 3. — Le Vardar à Skoplje, au cours des mois d'été

*Le régime du Vardar près de Skoplje.* Le bassin fluvial jusqu'à Skoplje occupe une superficie de 4 625 km<sup>2</sup>. Le maximum de débit et de hauteur des eaux sur le Vardar près de Skoplje apparaît au mois de mai. C'est alors que le Vardar écoule 110,8 m<sup>3</sup>/sec. en moyenne. Le maximum de débit a lieu au mois de mai, en raison de la fonte des neiges dans les parties montagneuses du bassin fluvial et des pluies de printemps. Le minimum de hauteur des eaux et de débit apparaît au mois d'août avec 26,2 m<sup>3</sup>/sec. en moyenne. Ce dernier est dû aux températures élevées de l'air ou plutôt à la forte évaporation et aux quantités insignifiantes de précipitations au cours des mois d'été. (Photo III).

Le maximum secondaire de débit se manifeste au mois de décembre et il résulte de la grande quantité de précipitations pendant les mois d'automne dans le bassin du Vardar jusqu'à Skoplje, tandis que le minimum secondaire apparaît au mois de janvier, lorsque les températures de l'air sont les plus basses, les précipitations apparaissent sous forme de neige, se maintiennent comme couverture de neige et ne s'écoulent pas par le Vardar. De tels fleuves appartiennent au type

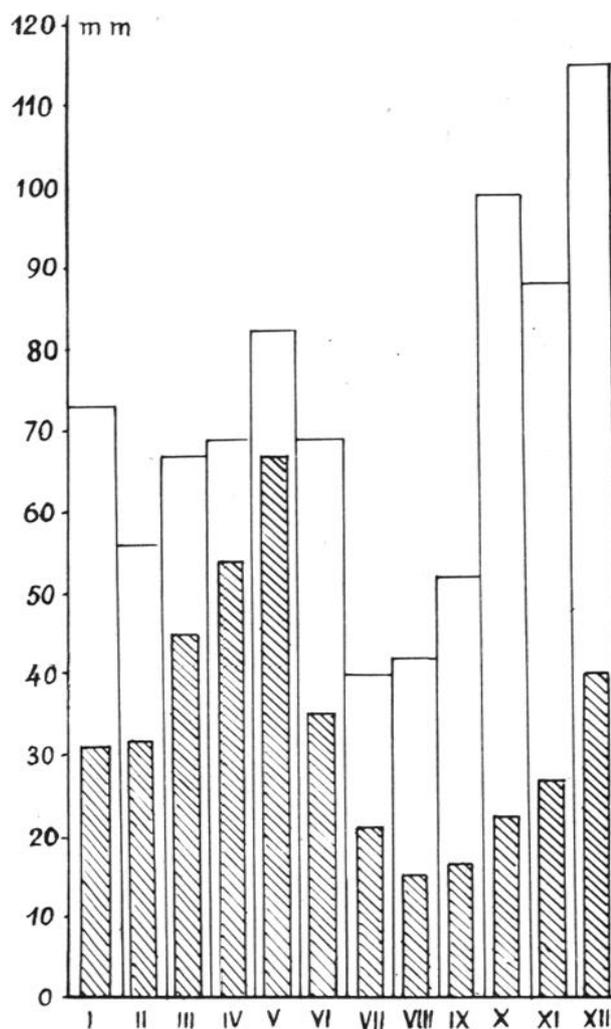


FIG. 3. — Régime des précipitations (en blanc) et indice d'écoulement (en grisé) du Vardar en amont de Skoplje

de régime nivo-pluvial, de la variété macédonienne. Le débit annuel moyen du Vardar près de Skoplje s'élève à  $39,1 \text{ m}^3/\text{sec.}$ , et l'amplitude annuelle à  $84,6 \text{ m}^3/\text{sec.}$  (Fig. 3).

Il ressort du graphique ci-joint que dans les mois caractérisés par

de grandes quantités de précipitations, octobre, novembre et décembre, les débits du Vardar sont plus faibles que dans les mois qui sont plus pauvres en précipitations. Ceci est dû au fait que la plus grande partie des précipitations des mois d'octobre, de novembre et de décembre n'arrive pas jusqu'au Vardar, mais est absorbée jusqu'à la saturation du sol qui se dessèche au cours de l'été.

*Le régime du Vardar près de Titov-Veles.* Le bassin du Vardar jusqu'à Titov-Veles occupe une superficie de 8 740 km<sup>2</sup>. Les variations annuelles de la hauteur des eaux et du débit du Vardar près de Titov-Veles sont approximativement identiques à celles enregistrées à Skoplje. Le maximum se manifeste au mois de mai, 136,4 m<sup>3</sup>/sec., et le minimum en août 26,4 m<sup>3</sup>/sec. Le maximum secondaire a lieu au mois de décembre et le minimum en janvier, mais il est moins prononcé qu'à Skoplje, car l'altitude de la partie du bassin du Vardar en aval de Skoplje est plus faible et, par conséquent, les hivers y sont moins rigoureux et l'influence de la rétention nivale plus faible.

Le débit annuel moyen du Vardar près de Titov-Veles s'élève à 71,8 m<sup>3</sup>/sec., c'est-à-dire qu'il dépasse le débit moyen annuel de Skoplje de 12,8 m<sup>3</sup>/sec. Cette augmentation du débit est tout à fait insignifiante, vu que la superficie du bassin fluvial a augmenté de 4 115 km<sup>2</sup>. La superficie du bassin fluvial du Vardar jusqu'à la station hydrométrique de Titov-Veles a augmenté par rapport au secteur précédent du bassin fluvial (jusqu'à Skoplje) de 89 %, tandis que l'augmentation du débit n'est que de 21 %. Cette faible augmentation du débit du Vardar en aval de Skoplje est due, en premier lieu, à la pauvreté des précipitations du bassin du Vardar entre les stations hydrométriques de Skoplje et de Titov-Veles. Il ne reçoit que 661,5 mm par an, contre 853 mm dans le secteur en amont de Skoplje. En outre, dans le bassin du Vardar en aval de Skoplje la plus grande partie des précipitations tombe au mois de mai et de juin, lorsque les températures sont élevées et l'évaporation forte. A cause de cela, une partie seulement des précipitations alimente le Vardar et, par conséquent, l'augmentation du débit est insignifiante, particulièrement pendant les mois d'été. C'est pourquoi le débit du Vardar près de Titov-Veles ne dépasse celui près de Skoplje que de 0,2 m<sup>3</sup>/sec. au mois d'août et de 0,6 m<sup>3</sup>/sec. en septembre (Fig. 4).

L'amplitude du débit sur le Vardar près de Titov-Veles est encore plus grande qu'à Skoplje, à savoir 110,0 m<sup>3</sup>/sec. Dans le bassin fluvial du Vardar en aval de Skoplje il n'y a pas de hautes montagnes où la neige aurait pu se maintenir plus longtemps au cours de l'été. Etant donnée la faible altitude de cette région, les températures sont consi-

dérablement plus élevées pendant l'été et l'évaporation plus intense, de sorte que de nombreuses sources, petites rivières et même quelques grandes rivières se dessèchent alors. Ceci a pour conséquence les faibles débits des mois d'été. D'un autre côté, les débits sont relativement assez grands pendant les mois de printemps, parce que la période de fonte coïncide avec le maximum de précipitations et c'est pourquoi les amplitudes sont aussi prononcées.

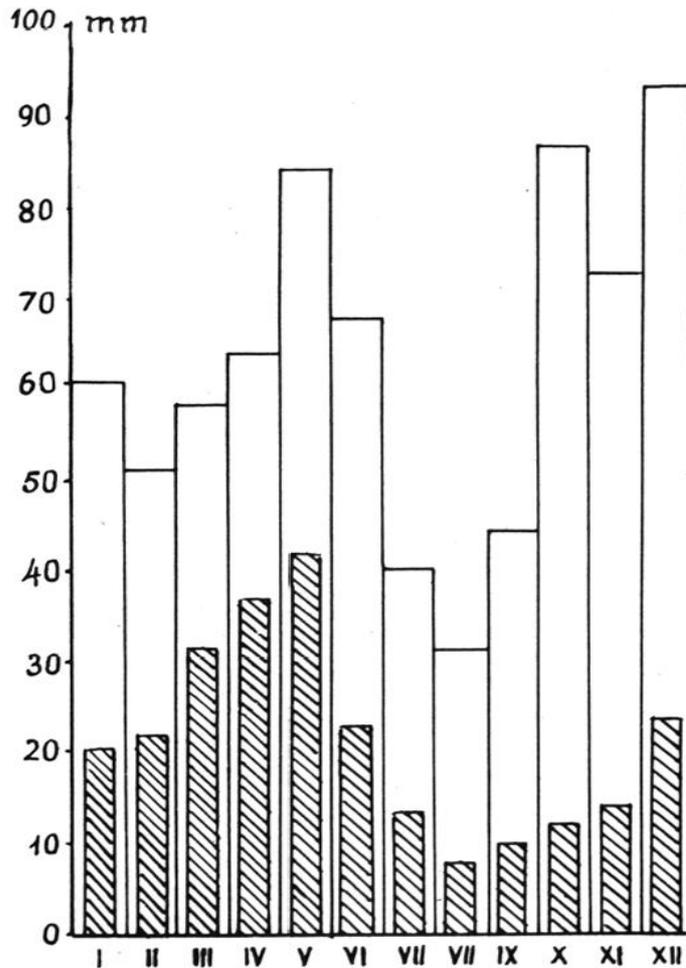


FIG. 4. — Régime des précipitations (en blanc) et indice d'écoulement (en grisé) du Vardar à Titov-Veles

*Le régime du Vardar près de Gevgeli.* Le bassin du Vardar jusqu'à Gevgeli couvre une superficie de 22 301 km<sup>2</sup>. Les variations annuelles de la hauteur des eaux et du débit près de Gevgeli diffèrent considérablement de celles enregistrées près de Skoplje et de Titov-Veles. Le maximum du débit sur le Vardar près de Gevgeli se mani-

feste en avril et s'élève à 312,9 m<sup>3</sup>/sec., donc un mois plus tôt qu'à Skoplje et à Titov-Veles, et le minimum a lieu au mois d'août 30,2 m<sup>3</sup>/sec. En outre, le maximum et le minimum secondaires ne se manifestent point près de Gevgeli. Par conséquent, le régime du Vardar près de Gevgeli est simple; un seul maximum et un seul minimum, tandis que les régimes respectifs de Skoplje et de Titov-Veles appartiennent au type composé, avec deux maxima et

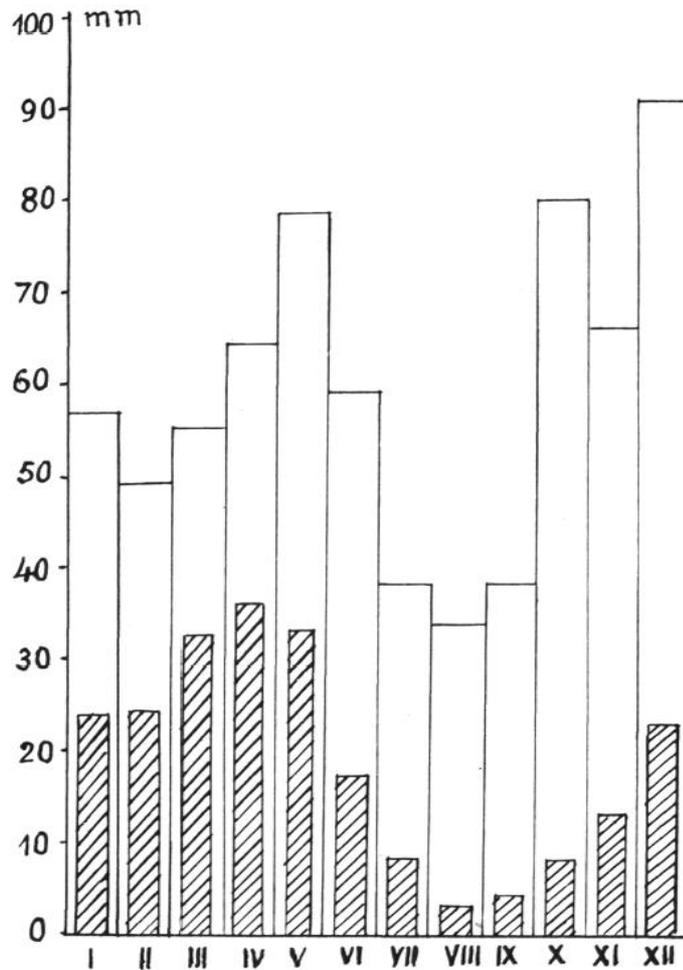


FIG. 5. — Régime des précipitations (en blanc) et indice d'écoulement (en grisé) du Vardar près de Gevgeli

deux minima. Par conséquent, le Vardar dans son ensemble a un régime complexe, propre uniquement aux fleuves longs qui passent à travers des régions différentes les unes des autres par leurs caractères physico-géographiques respectifs. Du type pluvio-nival de variété macédonienne à Skoplje et à Titov-Veles, sous l'influence

de ses principaux affluents, la Bregalnica et la Crna-Reka, le Vardar passe à peu près à un régime pluvial propre à variété méditerranéenne, à période de hautes eaux dans la moitié hivernale de l'année et à période de basses eaux dans la moitié estivale de l'année (Fig. 5).

Le débit annuel moyen du Vardar près de Gevgeli est de 164,3 m<sup>3</sup>/sec. L'amplitude annuelle du débit est encore plus marquée qu'à Titov-Veles et Skoplje, à savoir 282,8 m<sup>3</sup>/sec. Une oscillation plus importante du débit sur le Vardar près de Gevgeli est due au fait que l'évaporation est plus intense dans la région du cours inférieur, et par conséquent les eaux y sont plus basses en été que près de Titov-Veles et surtout que près de Skoplje.

L'oscillation du débit sur le Vardar augmente donc en suivant le fleuve de l'amont vers l'aval. La plus petite oscillation du débit du Vardar près de Skoplje est due non seulement aux conditions climatiques, mais aussi aux caractères morphologiques et géologiques de la région où ce fleuve prend sa source. De nombreux affluents du Vardar, venant de la montagne de Sar abondent en eau pendant l'été. En outre, dans son cours supérieur, près de sa source, le Vardar est alimenté aussi par de puissantes sources vaclusiennes karstiques dont l'abondance ne varie que fort peu au cours de l'année. Une telle source est celle du village de Vrutok, puis celle au pied de la montagne de Suha-Gora, ensuite la source au village de Rasce au pied de la montagne de Zeden et de nombreuses autres de moindre importance.

En général, on peut dire que les hautes eaux sont très prononcées sur le Vardar, tandis que les basses eaux d'été sont tout à fait insignifiantes. Le maximum absolu du débit sur le Vardar près de Gevgeli a été noté le 11 décembre 1935, à la hauteur des eaux de 369 cm, il s'élevait à 1 851 m<sup>3</sup>/sec., tandis que le minimum de 16,2 m<sup>3</sup>/sec., dura du 1<sup>er</sup> au 9 septembre 1925 et la hauteur des eaux au moment où il était enregistré était de 26 cm. Par conséquent, l'oscillation absolue de hauteur des eaux sur le Vardar près de Gevgeli est de 395 cm., et l'oscillation du débit 1 834,8 m<sup>3</sup>/sec. Le débit maximum était 114 fois plus grand que le débit minimum. Ce rapport des hautes et des basses eaux démontre que le Vardar possède certains caractères des cours d'eau torrentiels.

Outre les grandes oscillations saisonnières, les débits annuels diffèrent à cause de l'alternance des années sèches et des années pluvieuses. Le Vardar fut le plus riche en eau près de Gevgeli au cours de l'année 1940, lorsque s'y écoulèrent 247,7 m<sup>3</sup> en moyenne par seconde, et le plus pauvre en 1933, année au cours de laquelle le débit annuel n'atteignit que 97,0 m<sup>3</sup>/sec. Par conséquent, en 1940

la quantité d'eau dont disposait le Vardar était plus de 2,5 fois plus grande qu'en 1933.

*Bilan de l'écoulement.* Le problème le plus complexe et, en même temps, le plus important de l'hydrologie est le rapport entre les précipitations et l'écoulement. Le devoir de l'hydrologue consiste à établir la quantité de précipitations qui tombent dans un bassin fluvial ainsi que la portion de celles-ci qui prend part à l'écoulement des rivières.

Nous avons établi le bilan de l'écoulement du Vardar en planimétrant les cartes mensuelles d'isohyètes et à l'aide des données sur le débit que nous avons obtenues au moyen de la construction des courbes du débit pour les stations hydrométriques de Skoplje, de Titov-Veles et de Gevgeli. D'après l'équation du bilan de l'écoulement pour une longue suite d'années qui a la forme  $X_0 = Y_0 + Z_0$ , nous avons calculé que sur la partie du bassin fluvial jusqu'à Skoplje il tombe 853 mm de précipitations par an, dont 404,9 mm ou 47 % s'écoulent par le Vardar, la seconde partie, jusqu'à Titov-Veles en reçoit 755 mm, dont 257,3 mm ou 34 % s'écoulent et la troisième partie, jusqu'à Gevgeli, 712 mm dont 215,4 mm ou 32 % de la quantité annuelle totale de précipitations s'écoulent. Par conséquent, dans le bassin fluvial du Vardar, en suivant le cours du fleuve vers l'aval, la quantité de précipitations et le coefficient d'écoulement diminuent tandis que l'évaporation augmente. Dans la partie du bassin fluvial jusqu'à Skoplje au débit du Vardar participent 47 %, presque la moitié, du total des précipitations annuelles. Cependant dans la partie du bassin fluvial jusqu'à Gevgeli il ne s'écoule par le Vardar que 32 % du total des précipitations annuelles, moins d'un tiers, tandis que deux tiers s'évaporent.

Le débit du Vardar près de Skoplje est de 1 800 000 000 m<sup>3</sup> d'eau dont la plus grande partie s'écoule au cours du printemps (39 %) et la plus petite au cours des mois d'été (13 %). Les hautes valeurs des coefficients d'écoulement dans la partie du bassin en amont de Skoplje au cours des mois d'été, 40 % en moyenne, lorsque les températures de l'air sont hautes et l'évaporation intense, indiquent que le Vardar, dans cette partie de son cours, est alimenté par les eaux des nappes souterraines et des sources karstiques; les réserves sont assez considérables. Les valeurs minima des coefficients d'écoulement au mois d'octobre (0,23) et au mois de décembre (0,29), qui sont les plus riches en précipitations, sont dues au grand dessèchement du sol au cours de l'été; la plus grande portion des précipitations qui tombent durant ces mois ne participe pas au débit du Vardar, mais est absorbée par le sol et complète les réserves souterraines qui s'épuisent au cours de l'été.

TABLEAU 1

Bilan de l'écoulement mensuel du Vardar près de Skoplje, de Titov-Veles et de Gevgeli

Station hydrométrique de Skoplje, superficie du bassin : 4 625 km <sup>2</sup>												
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
Qm <sup>3</sup> /sec.	53,5	62,9	77,3	94,4	110,8	63,1	35,9	26,2	28,4	38,9	47,3	68,9
X en mm	73,0	56,3	67,0	69,1	82,5	68,7	40,1	42,1	51,9	98,9	88,3	115,0
q en lsec/km <sup>2</sup>	11,6	13,6	16,7	20,9	24,0	13,7	7,8	5,8	6,1	8,4	10,2	14,9
Y en mm	31,0	31,6	44,8	54,0	67,2	35,4	20,8	15,2	15,9	22,6	26,5	39,9
C en %	0,42	0,56	0,67	0,78	0,81	0,52	0,52	0,36	0,31	0,28	0,38	0,29
Station hydrométrique de Titov-Veles, superficie du bassin : 4 625 km <sup>2</sup>												
Qm <sup>3</sup> /sec.	6,9	81,4	107,0	125,6	136,4	77,8	44,2	25,4	29,0	39,9	48,3	78,3
X en mm.	61,2	50,9	58,4	63,9	84,1	67,7	39,6	31,5	44,6	86,8	72,7	93,6
q en lsec/km <sup>2</sup>	7,7	9,3	12,2	14,5	15,6	8,9	5,1	3,0	3,3	4,6	5,6	9,0
Y en mm.	20,3	21,6	32,8	37,2	41,6	23,1	13,5	8,1	8,6	12,2	14,3	24,0
C en %	0,33	0,42	0,56	0,58	0,49	0,34	0,34	0,26	0,23	0,14	0,20	0,26
Station hydrométrique de Gevgeli, superficie du bassin : 22 301 km <sup>2</sup>												
Qm <sup>3</sup> /sec.	201,8	235,8	280,5	312,9	283,0	150,4	69,6	30,2	35,5	66,6	112,1	193,5
X en mm.	56,8	49,2	53,3	64,5	78,9	59,4	37,8	34,3	38,4	80,6	65,9	90,9
q en lsec/km <sup>2</sup>	9,0	10,6	12,1	14,0	12,4	6,7	3,1	1,4	1,6	3,0	5,0	8,7
Y en mm.	24,2	24,5	32,5	36,3	33,3	17,5	8,3	3,6	4,2	8,0	13,0	23,0
C en %	0,43	0,50	0,59	0,52	0,30	0,29	0,22	0,11	0,11	0,10	0,20	0,25

Dans le tableau : Q représente le débit moyen mensuel exprimé en m<sup>3</sup>-sec.  
 X l'indice pluviométrique.  
 q le module relatif en lit-sec par km<sup>2</sup>  
 Y l'indice d'écoulement.  
 C le coefficient d'écoulement.

Le débit annuel du Vardar près de Titov-Veles est de 2 200 000 000 de m<sup>3</sup>. La plus grande portion de ces eaux s'écoule au cours des mois de printemps, environ 40 %, tandis que pendant les mois d'été le débit n'atteint que 11 %. Au mois d'août, mois au débit minimum, ce chiffre est à peine 3 % du débit annuel total.

Selon nos évaluations, le débit du Vardar près de Gevgeli s'élève à un peu plus de 5 000 000 000 de m<sup>3</sup>. 45 % de cette quantité, c'est-à-dire presque la moitié, s'écoulent aux mois de mars, d'avril et de mai, tandis que pendant les mois d'été le débit est de 6 % seulement, dont 1,5 % en août. Ces chiffres mettent en évidence les grandes fluctuations du débit du Vardar au cours de l'année.

Les coefficients d'écoulement atteignent les plus hautes valeurs sur le Vardar au cours des mois de printemps, ce qui veut dire que ce sont les eaux provenant de la fonte des neiges qui s'écoulent à cette époque par le Vardar. Les coefficients d'écoulement relativement hauts au cours des mois d'été, lorsque les hautes températures de l'air font évaporer une quantité d'eau beaucoup plus grande que celle qui tombe sous forme de pluie, démontrent que le Vardar est alimenté au cours de l'été exclusivement par les eaux provenant des nappes souterraines. Or, cela veut dire que les réserves souterraines d'eau où s'alimente le Vardar au cours de l'été sont très grandes. Par conséquent, le débit du Vardar au cours des mois d'été, provient de l'alimentation souterraine et non pas de l'alimentation superficielle.

Les coefficients d'écoulement dans le bassin fluvial du Vardar ont en général de petites valeurs. A cause de cela, le Vardar et ses affluents sont des fleuves pauvres en eau. Les cours supérieurs, près des sources, du Vardar, de la Treska et de la Crna-Reka ont les plus grands coefficients d'écoulement, plus de 50 et 60 %. Les coefficients d'écoulement sont en général plus grands dans la partie occidentale du bassin que dans la partie orientale et, par conséquent, les affluents de droite du Vardar sont plus riches en eau que les affluents de gauche. Ceci, en général est dû au fait que la partie occidentale du bassin fluvial reçoit plus de précipitations que la partie orientale. Pourtant, les coefficients d'écoulement sont influencés par d'autres facteurs que la quantité des précipitations : le relief, le régime pluviométrique, la structure géologique, etc. Les bassins de la Crna-Reka et de la Treska reçoivent par exemple, la même quantité d'eau dans le lit de la rivière.

Les rivières de Bregalnica et de Pcinja ont les coefficients d'écoulement les plus petits, 0,23 et 0,24. Leurs bassins reçoivent la plus

petite quantité de précipitations de tout le bassin fluvial du Vardar. Les eaux de la Bregalnica sont utilisées pour l'irrigation des champs de riz dans le bassin de Kocane, d'où elles s'évaporent presque totalement. En outre, dans les bassins de ces rivières est développé le régime pluviométrique continental avec maximum de précipitations en mai et en juin lorsque l'évaporation est très intense.

En étudiant le bilan de l'écoulement des diverses parties du bassin fluvial du Vardar, situées entre les stations hydrométriques particulières, indépendamment des parties situées en amont, nous sommes arrivés à la conclusion, que la partie du bassin située entre les stations hydrométriques de Skoplje et de Titov-Veles est la plus pauvre en précipitations et que la quantité d'eau dont elle alimente le Vardar est la plus petite. Des 661,5 mm de précipitations, tombées au cours de l'année sur cette partie du bassin fluvial, seulement 97,8 mm ou 15 % participent au débit du Vardar, tandis que 85 % s'évaporent. La forte évaporation dans cette partie du bassin fluvial est due, en premier lieu, au régime pluviométrique. C'est que la partie du bassin fluvial du Vardar, entre les stations hydrométriques de Skoplje et de Titov-Veles, a un régime pluviométrique continental avec maximum de précipitations en mai et en juin, lorsque les températures de l'air sont élevées et l'évaporation intense. Pourtant, dans la partie du bassin fluvial du Vardar, en amont de Skoplje est développé le régime pluviométrique méditerranéen; c'est ainsi que la majeure partie des précipitations tombe au cours des mois d'hiver lorsque l'évaporation est insignifiante. En outre, une bonne partie des précipitations tombe sous forme de neige qui fond rapidement au printemps et sans perte arrive dans le lit du fleuve. Pour cette raison chaque km<sup>2</sup> du bassin du Vardar en amont de Skoplje alimente son débit de 12,8 litres d'eau par seconde et dans le bassin entre les stations hydrométriques de Skoplje et de Titov-Veles de 3,1 litres seulement, c'est-à-dire d'une quantité de plus de quatre fois plus faible. Le facteur premier de l'abondance en eau est le régime pluviométrique : c'est démontré par l'égalité des précipitations reçues d'une part entre les stations de Titov-Veles et de Gevgeli (691,1 mm), d'autre part entre celles de Skoplje et Titov-Veles (661,5 mm). Mais comme dans la première partie du bassin est développé là un régime pluviométrique méditerranéen, cette 3<sup>e</sup> zone, recevant une quantité égale de précipitations par km<sup>2</sup>, fournit au débit du Vardar 6,8 litres d'eau par seconde, soit une quantité deux fois plus grande que celle fournie par la partie du bassin comprise entre les stations hydrométriques de Skoplje et de Titov-Veles au régime pluviométrique continental.

### III. — Alluvions dans le lit du Vardar.

Le Vardar transporte une quantité considérable de matériaux car l'érosion est intense dans son bassin. On prend des mesures adéquates pour empêcher l'érosion du sol et dompter les torrents : on entreprend le reboisement des surfaces dénudées, on construit des barrages afin d'atténuer la déclivité des cours torrentiels et de retenir les alluvions. Néanmoins, une quantité considérable d'alluvions vient combler le lit du Vardar. Rien que dans le territoire de la Yougoslavie les tributaires apportent au Vardar 403 857 tonnes d'alluvions, ce qui veut dire que chaque km<sup>2</sup> du bassin fluvial du Vardar livre en moyenne,

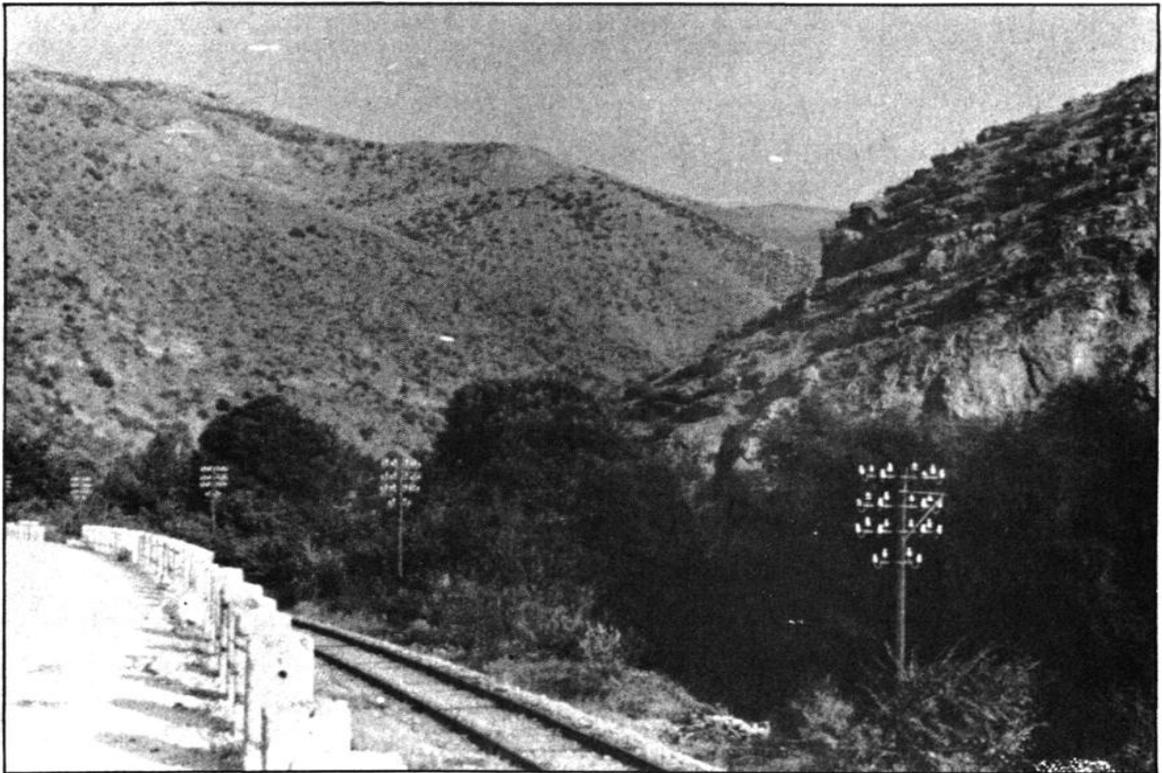


PHOTO 4. — Le défilé de Veles

18,1 tonnes de matériaux par an. La plus grande quantité de matériaux est apportée dans le Vardar par ses affluents aux bassins soumis à une érosion intense. Ce sont les rivières de Markova Reka, de Lepensac et de Bosava. De chaque km<sup>2</sup> de la superficie de son bassin la Markova-Reka transporte dans le Vardar environ 50,9 tonnes de matériaux par an, le Lepenac 39,5 et la Bosava 31,1 tonnes. Cette grande quantité est due au fait que les bassins des rivières

susmentionnées sont fort disséqués, en partie déboisés et composés de roches morcelées : schistes cristallins, grès et argiles sableuses (Photo IV).

La quantité d'alluvions dans les eaux du Vardar augmente en suivant le cours du fleuve vers l'aval. Près de Skoplje, un m<sup>3</sup> d'eau contient 420 grammes de matériaux en moyenne, près de Titov-Veles 623 et près de Gevgeli 797 grammes. Les conditions pour l'érosion du sol sont généralement très favorables dans le Bassin du Vardar et par conséquent le Vardar transporte une grande quantité de matériaux qu'il dépose dans les bassins et à son embouchure dans le Golfe de Salonique. Pour cette raison le fond du lit dans les bassins se rehausse et le Vardar y déborde souvent pendant les hautes eaux. La grande quantité d'alluvions comble également le Golfe de Salonique qui devient de moins en moins profond. A cause de cela on a effectué en Grèce l'aménagement du cours du Vardar et son embouchure a été déplacée vers l'embouchure de la Bistrica. Pourtant, ces travaux n'ont point sauvé Salonique. Après les travaux d'aménagement, dans le Golfe de Salonique s'est déposée une couche de limon, de 15 cm d'épaisseur, provenant des matériaux transportés par le Vardar.

#### **IV. — Principaux problèmes hydro-économiques dans le Bassin du Vardar.**

L'irrigation représente le problème le plus important de l'hydro-économie dans le bassin du Vardar. Le bassin du Vardar est en partie de caractère montagneux. Pourtant, dans les bassins d'effondrement et les parties élargies des vallées des rivières, sur le territoire de la Yougoslavie, sont situés 219,830 ha de terrains propres à l'irrigation où l'on pourrait, en assurant une quantité d'eau suffisante, avoir deux récoltes par an. Les étés extrêmement chauds et un grand nombre de jours de soleil offrent non seulement des conditions favorables à la culture du maïs, du blé et des légumes, mais aussi à celle du coton, du riz, du pavot pour la production de l'opium, du tabac et d'autres cultures qui exigent le climat chaud méditerranéen. L'accroissement de la production agricole dans le bassin du Vardar est d'une grande importance pour la Yougoslavie entière, car il déterminera d'un côté, la réduction de l'importation du coton, et de l'autre l'augmentation de l'exportation du tabac, de divers légumes et des fruits. L'accroissement du rendement dans les

conditions du climat subtropical ne peut être réalisé qu'à l'aide de l'irrigation artificielle. A présent on n'irrigue dans le bassin du Vardar que 16 % du sol où les conditions pour l'irrigation sont favorables. Les rendements des surfaces irriguées sont de 3 à 4 fois plus grands que ceux des terrains non irrigués. La période de l'irrigation est assez longue. Elle varie de 152 à 202 jours par an. Aussi, l'irrigation exige-t-elle de grandes quantités d'eau, surtout au mois de juillet et en août. Pourtant, au cours de ces mois où le besoin d'irriguer se manifeste le plus, les débits du Vardar et de ses affluents sont les plus faibles. Afin d'assurer des quantités suffisantes d'eau pour l'irrigation, on a construit, sur les affluents du Vardar, plusieurs

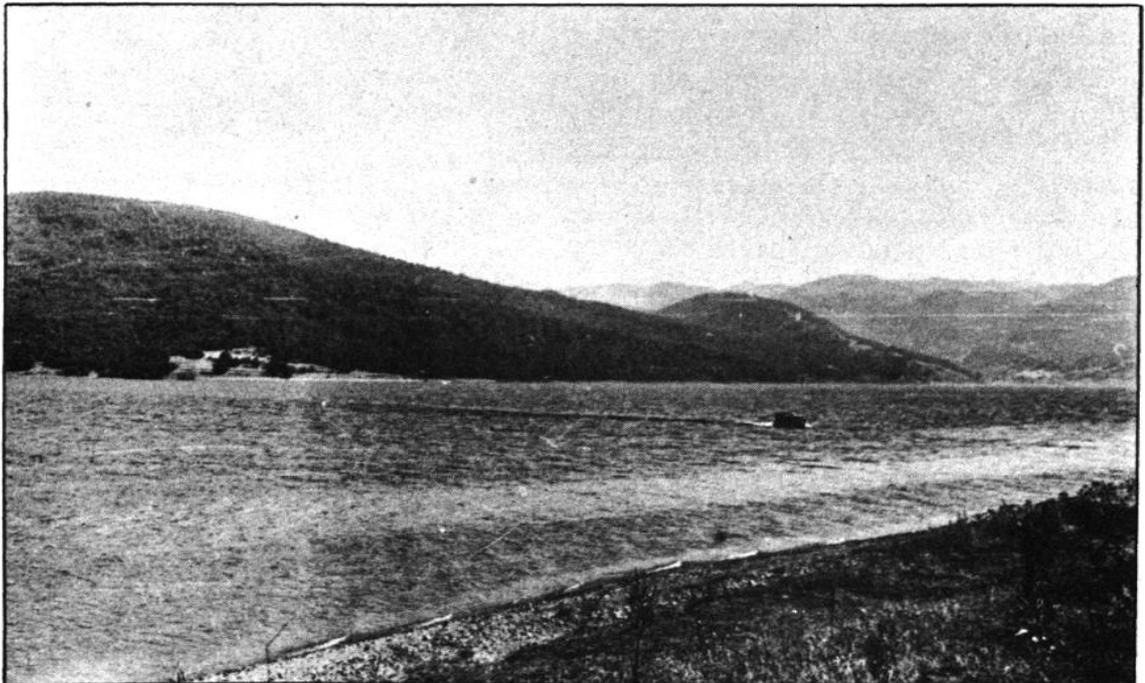


PHOTO 5. — *Le lac de Mavrovo*

bassins d'accumulation, et on a aussi transféré les eaux du bassin du Drim, qui s'écoulaient vers l'Adriatique, dans le Bassin du Vardar. Du bassin du Drim, qui abonde en précipitations et où les besoins d'irrigation sont très petits, on transfère par le Lac de Mavrovo, 32 m<sup>3</sup>/sec. d'eau dans le bassin du Vardar, pauvre en précipitation et dans lequel de grandes quantités d'eau sont requises pour l'irrigation (Photo V).

Cependant, tandis que, d'un côté, l'irrigation représente une

nécessité absolue dans le bassin du Vardar, de l'autre côté on rencontre des surfaces considérables recouvertes de marécages. Les plus grandes surfaces marécageuses sont situées dans les bassins d'effondrement de Pelagonija et de Skopsko-Polje. Dans le bassin fluvial du Vardar, sur le territoire yougoslave, il y a, 33,500 ha de terrains marécageux. Afin de rendre ces terrains cultivables, on va construire un réseau dense de canaux de drainage et abaisser le niveau des eaux souterraines.

Nous avons déjà exposé que l'érosion du sol dans le bassin du Vardar avait pris des proportions considérables. Les terrains torrentiels occupent 13,5 % de la superficie totale du bassin du Vardar, situé en Yougoslavie, d'où les eaux érodent et transportent plus de 9 millions de mètres cubes de terre. Ces matériaux ensevelissent les surfaces cultivables dans les vallées de rivières et les plaines dans les bassins d'effondrement qui deviennent ainsi, dans une grande mesure, inutilisables pour l'agriculture.

L'érosion intense dans le bassin du Vardar est, en premier lieu, une conséquence des conditions naturelles. Le terrain dans le bassin est considérablement disséqué. Des schistes cristallins souvent broyés et des dépôts lacustres et fluviaux insuffisamment cimentés constituent l'essentiel du sous-sol. Les précipitations ont souvent lieu sous forme de pluies torrentielles. Outre les conditions naturelles, une des principales causes de l'érosion intense du terrain est le déboisement et la culture des pentes abruptes. Les torrents qui se précipitent des bordures escarpées dans les plaines des bassins d'effondrement menacent de ruiner non seulement les surfaces cultivables, mais aussi les routes, les voies ferrées, les localités, les canaux d'irrigation, les bassins d'accumulation, etc.

Afin de contribuer au progrès de l'agriculture dans le bassin du Vardar, il faut d'abord empêcher l'érosion du terrain, et ensuite entreprendre d'autres travaux d'amélioration.

Le Vardar et ses affluents, tant qu'ils coulent à travers les divers bassins d'effondrement, ont des lits peu profonds et des rives peu résistantes. Etant donné que dans les bassins, à cause de la diminution de leur pente, les rivières déposent des alluvions, les lits des rivières se comblent et, par conséquent, il se produit des inondations lors des hautes eaux. C'est pourquoi il est nécessaire d'effectuer des travaux sur tous les cours d'eau importants. Pour le moment, la protection contre les inondations par la construction des digues n'a été réalisée que dans les bassins de Skoplje et de Pélagonija. Les inondations ont pour la plupart lieu au printemps, lorsqu'elles ne causent pas de trop

grands dégâts aux cultures. Pourtant, leur apparition au cours des mois d'été endommage gravement les champs cultivés. Mais outre leur effet négatif, les inondations ont aussi un effet positif. C'est que le Vardar, dans le bassin duquel l'érosion du sol a atteint des proportions considérables, transporte durant les crues d'immenses quantités de limons fertiles, dont la sédimentation enrichit les terrains inondés et les rend très féconds. Les travaux d'aménagement de tous les cours d'eau importants dans le bassin du Vardar sont d'ores et déjà en train; on prévoit qu'ils seront complètement achevés à la fin de l'année 1968.

Le Vardar est le plus grand fleuve de la République Populaire de Macédoine et représente sa principale source énergétique. Vu les grandes pentes il pourrait être aménagé. Pourtant, nous avons déjà vu que les fluctuations du débit du Vardar au cours de l'année sont très grandes et que, par conséquent, il serait indispensable de régulariser ses eaux pour la production de l'énergie hydroélectrique. La construction de grands bassins réservoirs et des centrales hydroélectriques dans le bassin du Vardar exigerait la submersion de surfaces cultivables importantes, des lieux habités et des voies de communication. Pour cette raison, il serait plus profitable de construire des réservoirs de moindre importance dans le cours supérieur des affluents du Vardar, où se rencontrent également des conditions naturelles favorables.

Par le Vardar et par ses affluents s'écoulent aujourd'hui de grandes quantités d'eau sans aucun profit, surtout au cours de la moitié hivernale de l'année, durant les hautes eaux. Dans le bassin du Vardar il existe actuellement 7 centrales hydroélectriques, tandis qu'il n'y en avait que deux avant la 2<sup>e</sup> guerre mondiale. La plus grande parmi celles-ci, « Vrutok », a été mise en service en 1957.

A l'avenir les eaux du Vardar seront utilisées pour la production beaucoup plus considérable de l'énergie motrice, surtout dans le cours supérieur, où les eaux qui arrivent du Lac de Mavrovo et mettent en marche la centrale hydroélectrique de « Vrutok », en passant par plusieurs degrés, avant de s'écouler dans le lit du Vardar, mettront en marche encore toute une série de centrales hydroélectriques de moindre importance.

Les eaux des bassins artificiels d'accumulation dans les cours supérieurs des affluents du Vardar, où les conditions topographiques pour leur construction sont très favorables, ne serviront pas uniquement à la production de l'hydroénergie, mais aussi pour l'irrigation.

L'importance économique du Vardar est, donc, évidente. Sans

une utilisation moderne de ses eaux on ne saurait imaginer un rehaussement du standing de vie dans la République Populaire de Macédoine. Mais pour être à même de profiter des biens que les rivières nous offrent ainsi que de nous protéger plus efficacement de leurs conséquences nuisibles, nous devons connaître en détail les caractères des cours d'eau. Or, ceux-ci s'expriment dans leurs régimes. C'est la raison pour laquelle, nous avons entrepris ce travail de recherches.

Tomislav L. RAKICEVIC  
Institut de Géographie de la Faculté des Sciences  
de Belgrade .