

**Zeitschrift:** Wasser- und Energiewirtschaft = Cours d'eau et énergie  
**Herausgeber:** Schweizerischer Wasserwirtschaftsverband  
**Band:** 50 (1958)  
**Heft:** 5-7

**Artikel:** Aperçu général sur l'aménagement des eaux et sur l'électrification en  
Yugoslavie  
**Autor:** Yevdjevitich, V.M.  
**DOI:** <https://doi.org/10.5169/seals-921905>

### **Nutzungsbedingungen**

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. [Siehe Rechtliche Hinweise.](#)

### **Conditions d'utilisation**

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. [Voir Informations légales.](#)

### **Terms of use**

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. [See Legal notice.](#)

**Download PDF:** 02.03.2025

**ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>**

Ogrizek Doré, «Jugoslawien», 1956, aus der Buchreihe «Die bunte Welt»  
 Kurt Schroeders *Reiseführer*, 1. Bd.: «Jugoslawisches Küstenland», 2. Bd.: «Jugoslawien»

**Bildernachweis:**

*Jugoturist*, Beograd (Bild 86)  
 G. A. Töndury, dipl. Ing., Zürich/Wettingen (Bilder 70/82, 84, 85, 87/89; sämtliche 19 Bilder nach Farbandapositiven)



Bild 89 Einbrechende Nacht; Blick vom Hotel Argentina auf den subtropischen Park und die Meerstadt Dubrovnik.

## Aperçu général sur l'aménagement des eaux et sur l'électrification en Yougoslavie

Dr Ing. V. M. Yevdjevitich, ingénieur hydraulicien-conseil, Belgrade, Yougoslavie\*

Cet article donne un aperçu général sur les caractéristiques géophysiques du pays, sur les problèmes fondamentaux de l'aménagement des eaux, sur les ressources pour la production d'énergie électrique et sur les questions concernant l'électrification du pays. Cet exposé traite les problèmes les plus importants dans leurs lignes générales, car il s'agit de sujets trop vastes pour être analysés en détail dans le cadre de cet article.

### I. Caractéristiques géophysiques du pays

Les caractéristiques géophysiques d'une région (le relief, le climat, l'hydrologie, la géologie) ont toujours une grande influence sur l'aménagement des eaux. Les caractéristiques géophysiques de la Yougoslavie, d'une certaine importance pour l'aménagement des eaux et pour la production d'énergie électrique, sont, brièvement exposées, les suivantes: Le relief de la Yougoslavie (voir dépliant page 128) est très mouvementé, parce qu'il comprend soit de vastes régions montagneuses, soit des plaines. L'altitude moyenne du pays est de 550 m. Le relief du pays s'étend du niveau de la Mer Adriatique jusqu'au sommet du Triglav (2864 m). Les autres grands sommets se trouvent entre 2000 et 2800 m. Les plus hautes montagnes sont à l'ouest, au sud-ouest, au sud et au sud-est du pays. Plusieurs

vallées et cuvettes situées entre ces montagnes constituent des terres suffisamment convenables pour l'agriculture moderne. Le nord du pays contient une partie de la grande plaine panonienne. Les terres de cette plaine, recouvrant le territoire le long des grands cours d'eau, comme le Danube, la Save, la Tissa, la Drave, etc., sont les plus riches du pays au point de vue agricole.

Les caractéristiques morphologiques ont donné une empreinte fondamentale aux problèmes de l'aménagement des eaux, en divisant le pays en trois régions-types:

1. les régions, comme celles du nord du pays, où les problèmes agricoles et d'améliorations agricoles dominent;
2. les régions où l'utilisation des forces hydrauliques constitue la richesse fondamentale dans l'aménagement des eaux, elles recouvrent le nord-ouest, l'ouest, le sud, le sud-est et l'est du pays;
3. les régions, dites intermédiaires, où les divers problèmes hydrauliques revêtent à peu près la même importance économique pour le pays: irrigation, protection contre les crues, utilisation des forces hydrauliques, navigation, adduction des eaux pour les grandes industries, évacuation des égoûts, etc.

La Yougoslavie est située dans la zone de climat tempéré de l'Europe du Sud-Est, ce climat n'est pas

\* En 1958 à Washington aux Etats-Unis d'Amérique.

uniforme, il diffère selon les régions. Les mers limitrophes et les hautes montagnes, spécialement à l'ouest et au sud du pays, provoquent ces différences. Le climat peut présenter les trois types fondamentaux suivants: le type maritime ou méditerranéen (le long du littoral adriatique et dans le sud-est de la Macédoine), le type continental tempéré qui caractérise la majeure partie du pays, et le type montagneux, limité aux plus hautes montagnes du pays.

Les précipitations sur l'ensemble du pays sont de 900 mm environ en année moyenne. Le total des eaux tombées sur le territoire de Yougoslavie est en moyenne de 250 milliards m<sup>3</sup> par an. Les précipitations varient dans de grandes limites. Les plus abondantes de l'Europe se trouvent en Yougoslavie dans le sud-est du massif des Alpes Dinariques (station pluviométrique de Crkvice dans le Montenegro), elles dépassent 5000 mm par an en moyenne. Les pluies moyennes de 400—500 millimètres par an tombent dans le sud-est de la Macédoine, à 150 km de distance seulement, en ligne droite, du lieu des précipitations maxima de l'Europe; c'est en même temps le chiffre le plus bas de l'Europe, si l'on ne tient pas compte de la partie européenne de l'URSS. Le rapport entre les maxima et les minima annuels peut atteindre 10—12. C'est une irrégularité exceptionnelle pour le territoire d'une étendue comme la surface de la Yougoslavie de l'Est. Les masses d'air humide, venant de l'ouest et du sud, influencent les précipitations du pays. Les montagnes au sud-ouest et à l'ouest du pays barrant la voie à ces masses d'air ont des précipitations très abondantes (1500—3000 mm par an), elles ont pour effet de réduire beaucoup les précipitations sur les terrains très bas du nord et du nord-est du pays (500—800 mm).

Les grandes différences des précipitations, leurs caractéristiques et les évaporations différentes provoquent encore de plus grandes différences dans l'écoulement des eaux. Le module moyen pour tout le pays est de 13,6 litres par seconde et par km<sup>2</sup>, tandis que les maxima varient entre 50—60 litres/s km<sup>2</sup> (Soča 59 l/s km<sup>2</sup> à l'ouest; Morača 50,0 l/s km<sup>2</sup> au sud-est) et les minima entre 5—8 l/s km<sup>2</sup> (Strumica 6,5 l/s km<sup>2</sup>; Morava 6,5 l/s km<sup>2</sup>; Vardar 7,0 l/s km<sup>2</sup>, etc.). L'exemple de deux grandes rivières voisines, soit la Drina et la Morava, montre cette différence des débits. La Drina dont le bassin versant est deux fois moins grand que celui de la Morava a un débit moyen deux fois plus grand, ce qui donne un module quatre fois plus grand. L'abondance et la pénurie des eaux peuvent se trouver dans des régions assez proches. Le volume total annuel des eaux écoulées du territoire yougoslave est de 110 milliards m<sup>3</sup> en année moyenne, avec un coefficient d'écoulement moyen de 0,44.

La géologie du pays montre quelques caractéristiques particulières. Les mouvements géologiques ont été très fréquents et quelques-uns sont d'ailleurs assez récents, il en va de même des plissements et des dislocations, tous les autres phénomènes rattachés à ces mouvements sont très accentués et donnent à l'aspect géologique actuel une caractéristique fondamentale. Les roches magmatiques, par exemple le granit, ne sont pas considérées comme les meilleures roches pour les travaux hydrauliques à cause des changements provoqués par ces mouvements terrestres très intenses. Le calcaire

recouvre un cinquième du pays. Tenant compte seulement de la partie montagneuse, il en recouvre un tiers. Les phénomènes karstiques sont très développés dans les régions de roches calcaires et ils ont une grande influence sur les conceptions des aménagements hydrauliques. En revanche, le calcaire est considéré comme la meilleure roche pour les travaux souterrains, sauf en ce qui concerne les problèmes d'infiltration des eaux souterraines qui sont abondantes dans le calcaire. La région karstique en Yougoslavie, avec ses phénomènes connus, est très instructive grâce aux travaux hydrauliques — déjà exécutés ou en voie d'exécution — pour ceux qui s'intéressent aux problèmes hydrauliques dans les roches calcaires suffisamment karstifiées.

## II. Aménagement des eaux

Les études diverses et l'activité développée jusqu'à présent dans le domaine de l'aménagement des eaux en Yougoslavie ont donné naissance à la conception généralement acceptée, que des travaux hydrauliques d'une certaine importance ne devraient pas être entrepris, avant d'avoir procédé à des études générales et approfondies pour l'aménagement des eaux. Les études doivent s'étendre soit à une assez grande partie de la rivière, soit à tout le bassin versant. Cette conception a eu pour conséquence, que presque tous les grands bassins versants du pays ont déjà été englobés dans une étude plus ou moins poussée de l'aménagement général des eaux à fins multiples, ce qui nous permet de faire quelques observations très générales sur les problèmes soulevés en Yougoslavie.

Les grandes plaines au nord du pays posaient alors et posent encore aujourd'hui des problèmes concernant les améliorations agricoles du type génie rural. Ces problèmes sont actuellement au premier plan des préoccupations des autorités yougoslaves. Il y a déjà plus de 150 ans que les Etats riverains le long du Danube et de ses grands affluents s'efforcent de résoudre ces problèmes. On peut distinguer en Yougoslavie comme ailleurs trois étapes dans la poursuite de ces efforts.

La majeure partie des terres jadis inondées par le Danube, la Tissa, la Save, la Drave et les autres rivières au nord de la Yougoslavie (plusieurs centaines de milliers d'hectares) est aujourd'hui protégée par des digues, plus ou moins adéquates en ce qui concerne leurs hauteurs ou leurs constructions. C'était la première étape vers une amélioration agricole moderne. Ces digues constituent le moyen fondamental de protection contre les crues mais il est complété par un service spécial de lutte contre les crues, bien organisé, et fonctionnant ad hoc, en cas des crues exceptionnelles. Les travaux d'endiguement le long du Danube et de ses affluents ont provoqué l'augmentation des crues actuelles maxima du Danube et des autres rivières durant les cent dernières années, les grandes étendues du terrain n'influençant plus l'aplatissement des crues.

Quelques dizaines de milliers d'hectares de bonnes terres sont encore inondées presque chaque année par les crues de la Save dans son cours moyen et par d'autres rivières. Les digues le long de la Save et le long des autres rivières exigent une amélioration soit par surélévation soit par renforcement. Un problème important se pose aujourd'hui pour la Save et pour quelques autres rivières. La Save draine une surface

représentant plus d'un tiers de la Yougoslavie (35,5% du pays). Elle est la plus grande rivière, dont le bassin versant est presque entièrement en Yougoslavie. Ce problème peut se résumer dans la question, est-ce que les efforts pour la protection contre les crues doivent être continués, dans le sens d'un endiguement, c'est-à-dire par la construction de digues nouvelles et par l'amélioration des digues existantes, ou faut-il commencer et s'orienter de plus en plus vers la solution consistant à construire des bassins réservoirs pour lutter contre les crues. C'est un problème dans l'espace et dans le temps, les alternatives différentes pouvant être prises en considération par l'emploi des deux procédés simultanément dans une proportion aussi économique que possible. Il existe dans le pays le point de vue, selon lequel le volume des terres nécessaire à déplacer dans l'avenir pour la construction et l'amélioration des digues le long de la Save et de ses affluents aurait suffi à construire plusieurs barrages en terre, avec le même effet sur la défense contre les crues. Les bassins réservoirs ainsi créés donneraient en même temps d'autres avantages et diminueraient considérablement les frais des ouvrages de défense contre les crues. Ce même problème se pose en général pour d'autres rivières.

La deuxième étape, suivie dans les améliorations agricoles pour les plaines au nord du pays, était orientée, avec plus ou moins de succès, vers le drainage et le contrôle des eaux internes et des eaux infiltrées, soit pour les territoires déjà protégés des crues soit pour les territoires avec régime des eaux souterraines défavorables. Des dizaines de stations de pompes ont été construites dans le passé et aussi récemment pour drainer plusieurs centaines de milliers d'hectares de terres, les plus fertiles. Beaucoup de ces stations de pompage sont maintenant en voie de reconstruction, soit pour augmenter le débit maximum évacuable par le pompage, soit pour installer l'énergie électrique comme force motrice, soit pour tous les deux à la fois.

La troisième étape nécessaire pour le contrôle total du régime des eaux souterraines sur les grandes plaines du nord du pays exige l'irrigation. Cette dernière se trouve être juste au commencement des travaux à une grande échelle. Nous mentionnerons ici seulement le projet qui envisage la construction d'un grand canal d'irrigation nommé Canal Danube-Tissa-Danube (DTD). Il commence sur le Danube à Beždan, à l'endroit où le Danube entre en Yougoslavie venant de Hongrie (voir dépliant page 128). La station de pompage est prévue à Beždan, pour fonctionner seulement en cas de niveau bas du Danube, inférieur pendant l'été, au niveau nécessaire prévu dans le canal. Le canal traverse la province de Bačka jusqu'à la Tissa à Bečej, il alimente en eau les canaux secondaires d'irrigation, en recevant les eaux des drainages pendant les hautes eaux, et en servant pour la navigation interne et pour l'adduction des eaux aux industries diverses. Après le passage de la Tissa, sur laquelle un barrage est prévu, les eaux de la Tissa ayant été ajoutées à celles du canal, celui-ci traversera la province du Banat, en servant aux mêmes fins multiples que dans la province de Bačka, pour l'évacuation plus accentuée des eaux de drainages et des eaux externes des cours d'eau. Une surface d'à peu près 400 000 hectares est prévue pour être irriguée, quand le canal, déjà en construction, sera

terminé. D'autres projets d'irrigation dans les plaines du nord sont à l'état d'études plus ou moins avancées.

La régularisation des grands cours d'eau reste toujours un problème assez sérieux pour le pays. Les fonds nécessaires pour les travaux de si grande envergure, comme par exemple la régularisation du lit du Danube, manquent toujours, sauf pour les petits travaux du maintien du chenal navigable. Les travaux actuels de régularisation sur les grands cours d'eau sont plutôt orientés vers l'amélioration de quelques secteurs et vers la défense des rives les plus attaquées par les cours d'eau.

La défense contre les crues, le drainage, la régularisation des rivières et l'irrigation sont des problèmes de l'aménagement des eaux, qui sont à l'ordre du jour dans beaucoup de régions. Les cuvettes des anciens lacs tertiaires (en Serbie, en Macédoine, en Bosnie) et les polyés (des plaines) karstiques tout le long des Alpes Dinariques sont des cas typiques de ces problèmes.

Quand il s'agit des irrigations, l'accumulation des eaux par la construction de bassins réservoirs est presque toujours nécessaire, dès qu'il est question de milliers ou de dizaines de milliers d'hectares dans le centre, le sud, l'ouest ou l'est du pays. Les projets des bassins réservoirs d'accumulation à fins multiples sont de plus en plus envisagés. Un exemple typique de ces projets est le bassin réservoir de Mavrovo, en Macédoine, avec les autres constructions rattachées à ce lac (fig. 90, voir aussi fig. 36/38). Le projet de Mavrovo, avec l'usine hydroélectrique de Vrutok (un groupe de 35 MW, sur quatre groupes prévus, était en service en 1957) est basé sur la construction déjà réalisée d'un grand réservoir de 274 millions de m<sup>3</sup> de capacité utile, permettant une régularisation interannuelle des eaux amenées dans le lac, qui sont de l'ordre de 220 millions de m<sup>3</sup> par an en moyenne. Les eaux sont amenées dans le lac de plusieurs directions et de plusieurs bassins versants. Divers avant-projets envisagent des adductions futures des eaux d'autres rivières. Le projet de Mavrovo est semblable à beaucoup de projets faits et exécutés dans les pays de l'Europe Centrale. Ce qui distingue le projet de Mavrovo, c'est l'emploi des eaux accumulées dans le lac pour la production d'énergie et pour les irrigations futures le long de la vallée du Vardar, puis la régularisation interannuelle des eaux et la dérivation des eaux d'une région très abondante en eaux vers la région la plus sèche du pays. Dans le cadre de l'adduction des eaux au lac, une usine au fil de l'eau est en construction. A partir du lac, qui est à 1200 m, plusieurs usines sont en construction ou seront construites à l'avenir le long de la dérivation des eaux du lac vers le fleuve Vardar et le long de la vallée du Vardar, l'usine de Vrutok (550 m de chute) étant la première en service. Le projet de Mavrovo est le projet-type à fins multiples. Le lac et les usines hydroélectriques de Vlasina (avec une régularisation interannuelle des eaux) est un projet semblable à Mavrovo (voir aussi fig. 21/22).

Les aménagements des eaux à fins multiples sont plutôt limités à un petit nombre de projets, spécialement à cause des orientations des producteurs d'énergie électrique vers les régions où les forces hydrauliques sont les plus rentables, c'est-à-dire dans la partie montagneuse du pays, et à cause de l'agriculture, qui est plutôt intéressée aux irrigations des terres dans les

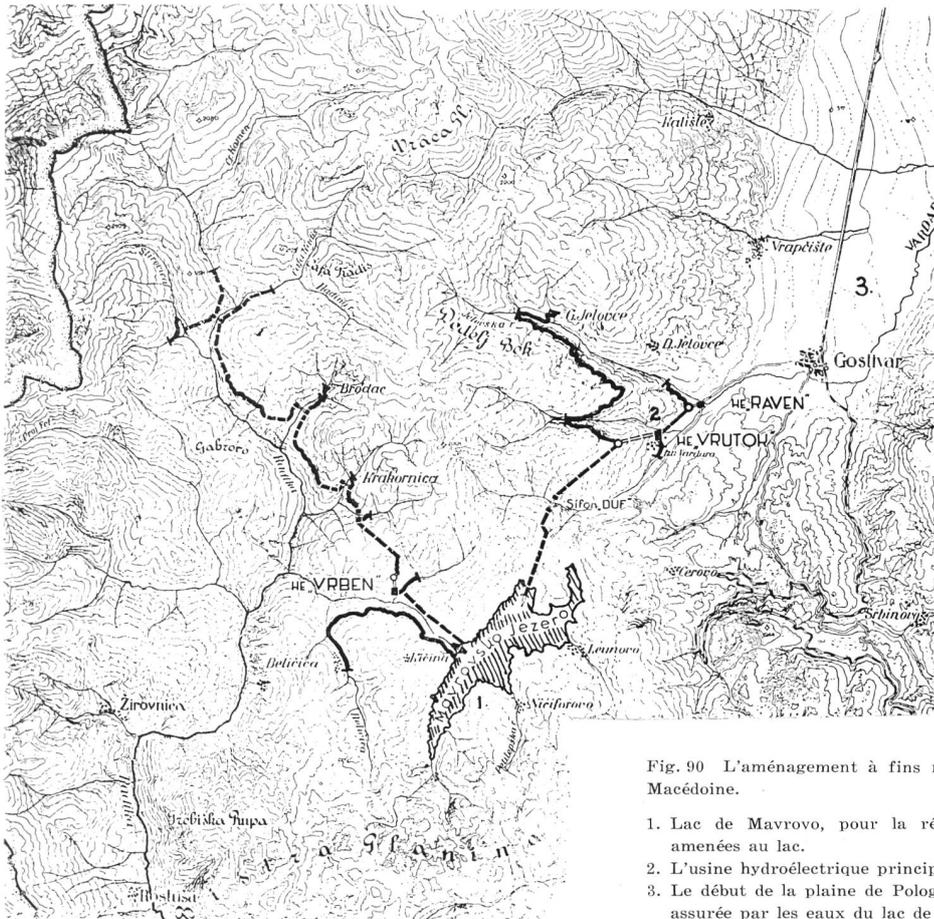


Fig. 90 L'aménagement à fins multiples du système de Mavrovo en Macédoine.

1. Lac de Mavrovo, pour la régularisation interannuelle des eaux amenées au lac.
2. L'usine hydroélectrique principale de Vrutok (140 MW).
3. Le début de la plaine de Polog, dont l'irrigation des 25 000 ha sera assurée par les eaux du lac de Mavrovo.

grandes plaines du nord, où l'eau est actuellement assez abondante, dans les grands cours d'eau.

Les plaines karstiques (les polyés) sont caractérisées par deux extrêmes dans leurs régimes des eaux. Pendant l'hiver et spécialement pendant la fonte des neiges — dans la saison humide —, les gouffres des rivières souterraines ne peuvent pas évacuer toutes les eaux et il en résulte une inondation des plaines plus ou moins longue (3—8 mois par an). La durée de l'inondation dépend de l'absorption des gouffres et des débits des rivières. D'autre part, la grande perméabilité des terrains karstiques fait que les eaux passant par les plaines diminuent sensiblement pendant les sécheresses d'été, ce qui exige l'irrigation et la construction de bassins réservoirs. L'ancienne conception pour l'amélioration des plaines karstiques était d'augmenter la capacité des cours souterrains, ou de percer des tunnels spéciaux pour l'évacuation des eaux de crue. Cette conception perd de plus en plus de valeur en comparaison avec celle qui envisage l'accumulation des eaux pour atteindre deux buts: pour la défense contre l'inondation temporaire et pour l'irrigation facilitant en même temps l'utilisation des forces hydrauliques, le potentiel hydroélectriques étant très abondant dans les régions karstiques de la Yougoslavie.

Les irrigations des plaines le long des rivières dans la Macédoine du Sud-Est attirent l'attention des autorités yougoslaves ainsi que les irrigations de la plaine

du nord, cette partie de la Macédoine ayant un climat aride, convenant bien à la culture du coton, du riz et d'autres cultures subtropicales.

Les projets à fins multiples prennent chaque jour de plus en plus d'importance en Yougoslavie.

La protection des eaux publiques, des lacs et des rivières, contre la pollution progressive est à l'ordre du jour. Plusieurs usines nouvelles, construites après la deuxième guerre mondiale, dépassent par leurs eaux polluées et évacuées les limites pratiques de la capacité d'absorption des cours d'eau.

L'adduction des eaux potables aux petites villes et aux communes reste parmi les problèmes difficiles à résoudre à grande échelle, parce que les fonds nécessaires manquent très souvent pour les travaux correspondants dans les petites agglomérations.

### III. Ressources classiques pour la production de l'énergie électrique

Un exposé plus détaillé sur les ressources de l'énergie électrique donnera les éléments nécessaires pour faire mieux ressortir les problèmes relatifs à l'électricité que la Yougoslavie affronte aujourd'hui et devra résoudre dans l'avenir. La Yougoslavie dispose des deux ressources classiques pour la production de l'énergie électrique: forces hydrauliques et combustibles.

Leurs propriétés ont une influence décisive sur les caractéristiques de la production d'énergie électrique, et notamment:

- 1) Sur le prix moyen de revient de l'énergie électrique;
- 2) Sur la part que chacune de ces deux ressources joue dans la production totale de l'énergie électrique, ou sur la relation optimum économique entre ces deux ressources;
- 3) Sur l'équipement des usines électriques, spécialement sur les puissances installées;
- 4) Sur la coïncidence des lieux de ressources et de production avec ceux des consommateurs d'énergie électrique et par conséquent sur le transport de l'énergie, etc.

Les deux ressources seront décrites dans l'ordre de leur importance pour l'électrification de la Yougoslavie.

*A. Forces hydrauliques*

Le relief de la Yougoslavie, caractérisé par les montagnes le long de la Mer Adriatique, le long des frontières et dans l'intérieur du pays, d'une part, et la Mer Adriatique au sud-est et la grande plaine au nord du pays, d'autre part, accuse de grandes différences d'altitude sur des distances assez limitées. Les eaux sont

abondantes dans les régions à grandes différences d'altitude, à cause des fortes précipitations et des coefficients d'écoulement élevés dus au relief même. Cette simultanéité de deux facteurs, comme deux ressources naturelles nécessaires, explique que les forces hydrauliques sont assez abondantes sur une grande partie du territoire de la Yougoslavie. Ceci donne un potentiel hydroélectrique élevé si l'on considère aussi toute la surface du pays.

Le fait est que le potentiel hydroélectrique est très concentré dans des régions particulières. C'est avantageux, quand il s'agit du prix de revient de l'électricité, mais avec l'inconvénient dans le transport nécessaire d'énergie électrique vers les régions pauvres en ressources, mais assez peuplées et industrialisées.

Le calcul des forces hydrauliques disponibles dans l'ensemble du pays (voir la publication: Water power resources of Yugoslavia, Belgrade 1956), montre que le potentiel hydroélectrique de tout le pays et pour toutes les eaux qui s'écoulent du territoire yougoslave se monte à 212 milliards de kWh en année moyenne, ce qui est le potentiel brut théorique maximum de surface. Si l'on passe au potentiel des eaux concentrées dans les rivières et

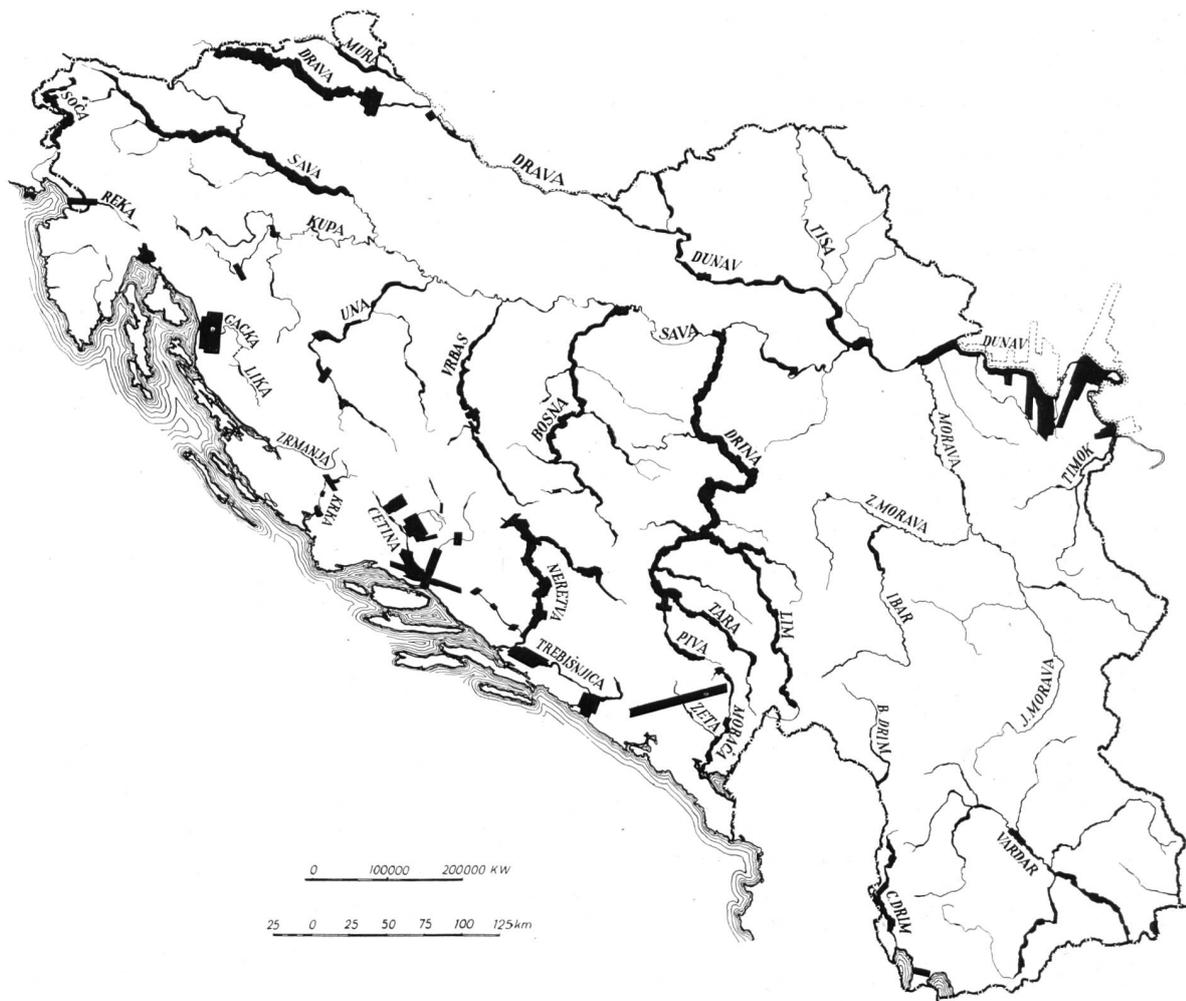


Fig. 91 Le potentiel hydroélectrique de Yougoslavie, ou forces hydrauliques brutes des rivières à débits moyens. Les bandes en noir représentent par leur largeur les forces hydrauliques pour chaque 5 kms de cours d'eau, à l'échelle donnée dans la figure. Les noms des rivières sont ceux employés en Yougoslavie. Les chiffres totaux pour les bassins versants sont donnés dans le Tableau 1, deuxième colonne.

dans les fleuves, ce qui est le potentiel brut théorique linéaire, ou potentiel des rivières, il est de 110 milliards de kWh en année moyenne. Ce potentiel étant calculé dans les hypothèses suivantes: les pertes inévitables de chutes et de débits ne sont pas déduites; on a tenu compte de toutes les eaux s'écoulant dans les rivières (débits moyens); les forces hydrauliques souterraines (eaux karstiques) ne sont considérées dans le calcul que si elles peuvent être utilisées.

En déduisant les pertes moyennes de chutes et de débits, le potentiel net des rivières, calculé sur les arbres des turbines, serait de 89 milliards de kWh. Les études des aménagements hydrauliques, ainsi que les analogies entre les rivières étudiées et non étudiées ont montré que le potentiel technique (forces hydrauliques probablement utilisables) se monte à 66 milliards de kWh.

L'évaluation des forces hydrauliques économiquement utilisables n'est pas aussi facile pour la Yougoslavie que pour les autres pays, ce problème étant très complexe. Le chiffre dépend de beaucoup de facteurs, et spécialement du critérium définissant le potentiel hydroélectrique économiquement utilisable. Il est très

difficile d'éviter une estimation d'ordre subjectif. La valeur de 50 milliards de kWh en année moyenne pourrait être indiquée à titre du potentiel économique des forces hydrauliques de Yougoslavie. On peut admettre que la vraie valeur future de ce potentiel sera voisine de la valeur citée. La productibilité annuelle totale de toutes les usines hydroélectriques construites, déjà étudiées ou en cours d'études en Yougoslavie, montre que le chiffre de 50 milliards peut être considéré comme une valeur réelle pouvant servir de base pour les études de la production d'énergie électrique dans l'avenir.

Par extrapolation de la consommation actuelle de l'énergie électrique du pays, doublée tous les 8 à 10 ans, en supposant que la relation: ressources hydrauliques — ressources combustibles dans la production totale d'énergie électrique serait comprise entre 2 à 1 et 3 à 1, on aboutit à la conclusion que toutes les forces hydrauliques économiquement utilisables seront équipées vers la fin du XX<sup>e</sup> siècle (vers 1990).

La distribution géographique des forces hydrauliques est indiquée sur la fig. 91, avec des bandes dont la largeur est proportionnelle aux forces hydrauliques pour chaque 5 km des cours d'eau. (Cette figure est

Potentiel hydroélectrique des fleuves en Yougoslavie

Tableau 1

| Bassin versant ou cours d'eau | Potentiel hydro-<br>électrique des<br>cours d'eau,<br>pour toutes les<br>eaux<br>10 <sup>9</sup> kWh | Potentiel hydro-<br>électrique des<br>cours d'eau,<br>pour les débits<br>inférieurs au dé-<br>bit moyen<br>10 <sup>9</sup> kWh | Potentiel<br>technique<br>10 <sup>9</sup> kWh | Numéro sur les<br>figures 92 et 93 |
|-------------------------------|--|--|---|------------------------------------|
| 1. Danube                     | 13,88  | 11,10  | 6,5   | 1a, 1b                             |
| 2. Tissa                      | 0,28   | 0,23   | 0,1   | 2                                  |
| 3. Drave                      | 8,92   | 7,29   | 6,2   | 3                                  |
| 4. Save moyenne et inférieure | 4,05   | 3,31   | 0,3   | 4                                  |
| 5. Save supérieure            | 5,71   | 4,68   | 3,7   | 5                                  |
| 6. Kupa                       | 3,03   | 2,48   | 2,0   | 8                                  |
| 7. Una                        | 2,90   | 2,36   | 2,0   | 10                                 |
| 8. Vrbas                      | 3,35   | 2,73   | 2,2   | 13                                 |
| 9. Bosna                      | 4,99   | 3,93   | 3,3   | 14                                 |
| 10. Drina                     | 18,50  | 15,10  | 11,8  | 17                                 |
| 11. Kolubara                  | 0,20   | 0,17   | 0,1   | 18                                 |
| 12. Morava                    | 6,32   | 5,15   | 4,0   | 21                                 |
| 13. Mlava, Pek, Porečka, Reka | 0,49   | 0,40   | 0,2   | 19                                 |
| 14. Timok                     | 0,90   | 0,75   | 0,6   | 20                                 |
| 15. Soča                      | 2,71   | 2,22   | 1,8   | 6                                  |
| 16. Rivières d'Istrie         | 1,37   | 1,10   | 0,5   | 7                                  |
| 17. Lika et Gacka             | 2,00   | 1,52   | 1,0   | 9                                  |
| 18. Krka et Zrmanja           | 1,22   | 1,00   | 0,7   | 11                                 |
| 19. Cetina                    | 5,70   | 4,69   | 3,9   | 12                                 |
| 20. Neretva et Trebišnjica    | 10,52  | 8,10   | 6,8   | 15                                 |
| 21. Morača et Zeta            | 3,41   | 2,77   | 2,2   | 16                                 |
| 22. Drim Blanc                | 1,23   | 1,01   | 0,8   | 22                                 |
| 23. Drim Noir                 | 1,90   | 1,55   | 1,1   | 24                                 |
| 24. Dragovištica              | 0,16   | 0,13   | 0,1   | 23                                 |
| 25. Strumica                  | 0,14   | 0,12   | 0,1   | 26                                 |
| 26. Vardar                    | 6,22   | 5,05   | 4,0   | 25                                 |
| Total                         | 110,10   | 88,94  | 66,0  |                                    |

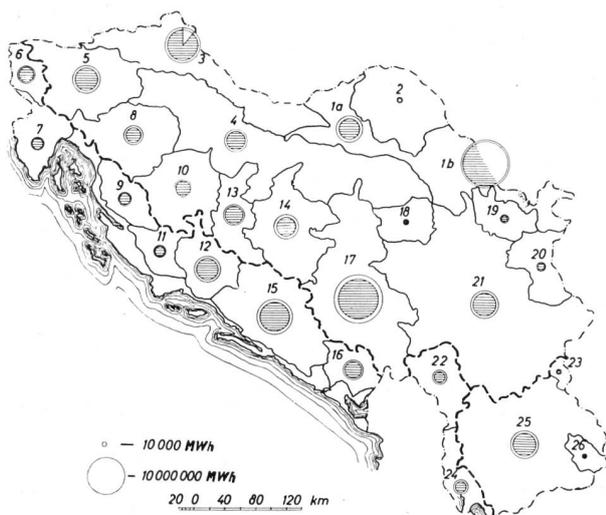


Fig. 92 Le potentiel hydroélectrique des bassins versants. La surface du grand cercle est proportionnelle aux forces totales (au débit moyen), la surface du petit cercle aux forces hydrauliques pour les débits inférieurs au débit moyen (énergie au-fil-de l'eau). Les noms des rivières et les deux chiffres sont donnés dans le Tableau 1.

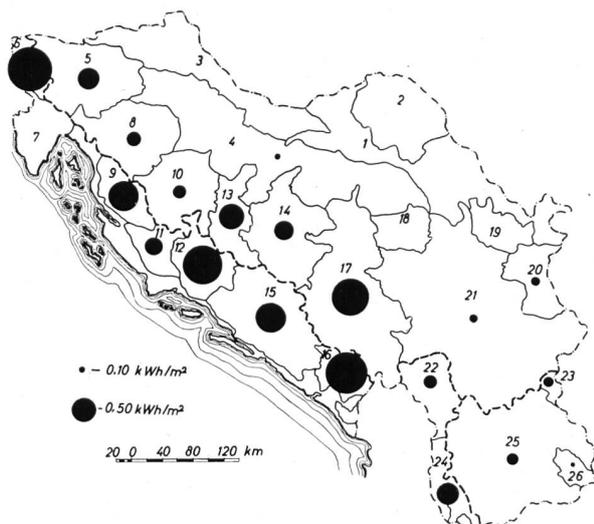


Fig. 93 Le potentiel spécifique, ou le rapport du potentiel hydroélectrique des rivières et la surface du bassin versant, donné en kWh par m<sup>2</sup> ou en millions kWh par km<sup>2</sup> et pour l'année moyenne. Les noms des rivières sont donnés dans le Tableau 1.

empruntée à la publication: Forces hydrauliques I de la Yougoslavie. Les noms des rivières sur la figure sont ceux communément employés en Yougoslavie.)

La fig. 92 montre le potentiel hydroélectrique de tous les bassins versants. La surface du grand cercle correspond aux forces totales (ou au débit moyen) et la surface du petit cercle aux forces hydrauliques inférieures au débit moyen (forces des usines au fil de l'eau). Les noms des rivières, ces deux chiffres et le potentiel technique sont donnés dans le tableau 1.

La fig. 93 donne la répartition des potentiels spécifiques, c'est-à-dire le potentiel hydroélectrique de chaque cours d'eau, pour le débit de l'année moyenne, mais réduit à l'unité de surface (en kWh/m<sup>2</sup> ou en millions de

kWh/km<sup>2</sup> du bassin versant). Les potentiels de la Drave et du Danube ne sont pas indiqués dans cette figure, étant donné que leurs bassins versants sont situés pour la majeure partie en dehors de la Yougoslavie.

La fig. 94 montre la répartition du potentiel hydroélectrique du pays, divisé en quatre régions principales, où les forces hydrauliques sont les plus concentrées et les plus abondantes:

I. Région des Alpes Dinariques, avec la région littorale, dont le potentiel technique est de 36,3 milliards de kWh par année moyenne, ou 55% du total du pays;

II. Région nord-ouest comprenant les cours supérieurs et moyens des rivières Sava et Soča et le cours moyen de la Drave, dont le potentiel technique est de 11,4 milliards de kWh par an, ou 17,3% du total;

III. Région sud comprenant les forces hydrauliques des fleuves Vardar (à l'est) et Drim (à l'ouest), dont le potentiel technique est de 4,8 milliards de kWh par année moyenne, ou 7,3% du total;

IV. Région des Portes de Fer du Danube comprenant la section du Danube entre les embouchures des rivières Morava et Timok, avec le potentiel technique (qui appartient à la Yougoslavie, puisque le Danube dans la majeure partie de ce secteur constitue la frontière roumano-yougoslave) de 6,7 milliards de kWh, ou 10,2% du total.

Tout le reste, correspondant à peu près à la moitié du pays (régions 1—5, fig. 93) dispose d'un potentiel technique de 6,8 milliards de kWh seulement, ou 10,2% du potentiel total technique du pays.

Les caractéristiques générales des ressources hydroélectriques en Yougoslavie sont les suivantes:

1. Les forces hydrauliques des hautes montagnes sont normalement dispersées parmi plusieurs petites rivières. L'accès est généralement moins favorable pour leur utilisation. Les meilleurs projets, dont la majeure partie est déjà en exploitation ou en construction, sont liés au petit nombre des grands réservoirs, dont la construction était considérée comme économiquement favorable, grâce aux larges cuvettes des anciens lacs glaciaires ou aux cuvettes tectoniques ou karstiques.

2. Les tronçons de rivières, appartenant aux cours moyens, conviennent très bien à l'utilisation des forces hydrauliques, parce qu'elles ont des eaux déjà concentrées, des vallées assez larges, de bonnes communications et souvent elles ne sont pas trop peuplées ni trop développées.

3. Les cours inférieurs se prêtent moins bien à l'utilisation des forces hydrauliques, à cause des faibles pentes et d'autres problèmes très complexes, liés aux terrains bordant les lits des rivières.

4. Les régimes des eaux très irréguliers demandent un assez grand degré de régularisation des débits.

5. La majeure partie du potentiel hydroélectrique dans les quatre régions principales peut être considérée comme forces très concentrées et économiquement utilisables.

6. Le régime hydrologique de la région des Alpes Dinariques et de la région sud-est sous l'influence du climat méditerranéen, parce que la plupart du débit total s'écoule pendant la saison froide entre les mois de novembre et de mai. Ce régime est différent et en quelque sorte complémentaire du régime hydrologique alpin, qui caractérise la région nord-ouest de la You-

goslavie et les régimes des rivières s'écoulant des Alpes le plus uniforme. La future usine des Portes de Fer aura les plus petites fluctuations de puissance de toutes les usines du pays n'ayant pas de réservoirs à régularisation saisonnière.

### B. Combustibles

Les réserves totales des combustibles divers sont assez grandes. On peut distinguer les combustibles solides, avec les réserves évaluées suivantes (selon A. Blažek et K. Mirkov, 1954) :

|                              |  |
|------------------------------|--|
| La houille de bonne qualité  | 100 millions de tonnes,<br>ou 0,4% du total    |
| Le charbon de faible qualité | 1,8 milliards de tonnes,<br>ou 8,6% du total   |
| La lignite                   | 19,0 milliards de tonnes,<br>ou 91,0% du total |

La fig. 95 montre la distribution géographique des gisements les plus importants de ces trois sortes des combustibles solides.

Les réserves se trouvent soit dans de petits soit dans de grands gisements, allant de quelques millions jus-

qu'à plusieurs milliards de tonnes. Ils se trouvent dans l'est, au centre-nord et au nord-ouest du pays.

Les gisements de lignite représentent la richesse la plus importante des combustibles solides. La structure géologique des gisements est très simple, puisque la plupart d'entre eux peut être exploitée à ciel ouvert (bassins: Kosovo, Kolubara, Kostolac). Cet avantage fait que les lignites yougoslaves, à grande capacité d'extraction à ciel ouvert, ont un prix de revient par calorie-unité du même ordre de grandeur que celui des mines plus profondes des charbons de meilleure qualité.

Les gisements les plus importants pour l'économie yougoslave sont:

- Bassin de Kosovo au sud de la Serbie, avec les réserves géologiques de plusieurs dizaines de milliards de tonnes, et avec plus de 6 milliards de tonnes de réserves exploitables dans le proche avenir;
- Bassin de Kreka en Bosnie, avec les réserves d'environ 4 milliards de tonnes;
- Bassin de Kolubara en Serbie, avec les réserves de 2,1 milliards de tonnes;
- Bassin de Velenje en Slovénie, avec les réserves de 0,75 milliard de tonnes.

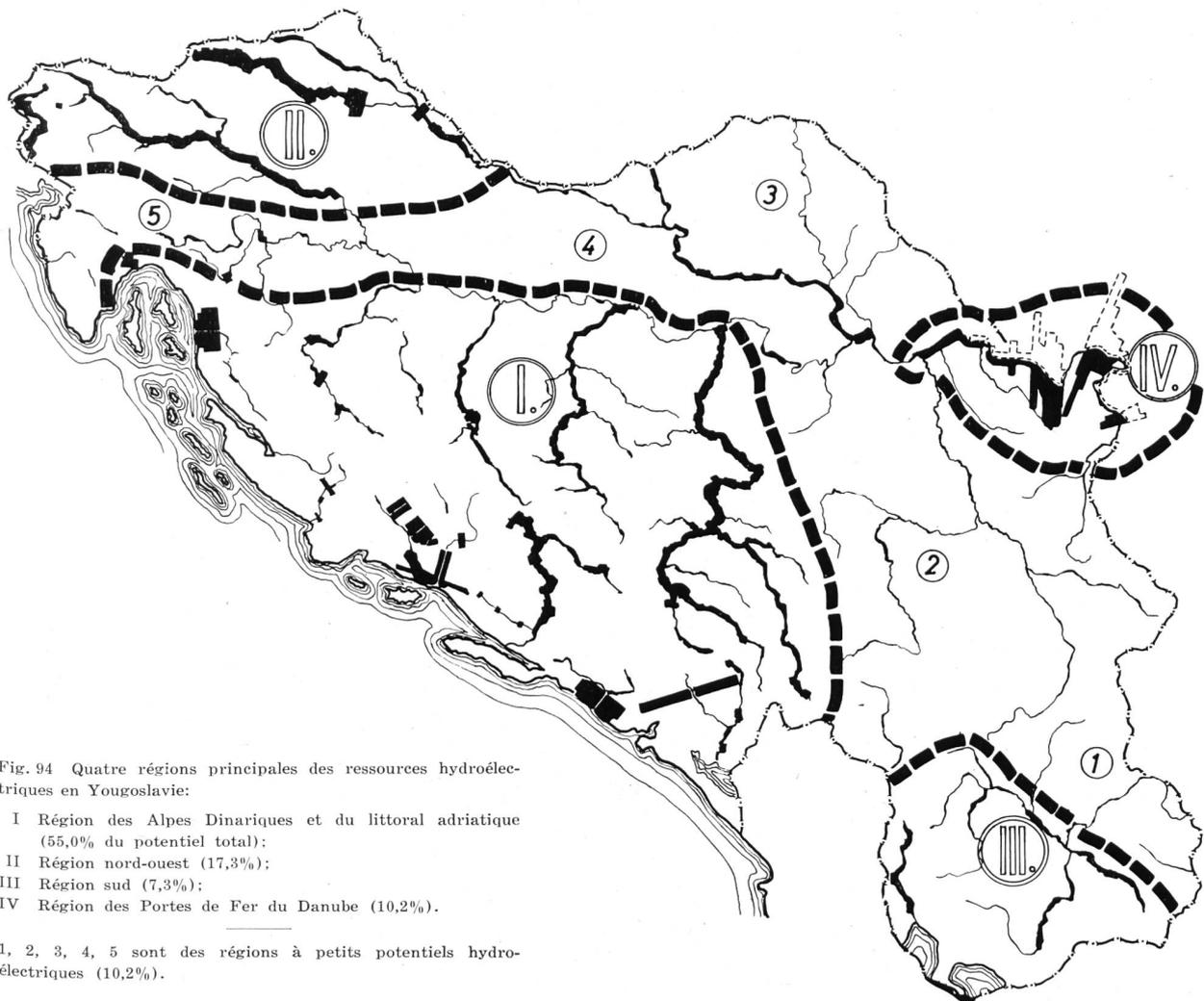




Fig. 95 Les bassins principaux houillers et de lignite en Yougoslavie: 1) Zaslavlje; 2) Zagorje; 3) Raša; 4) Tuzla; 5) Bassin de la Bosnie Centrale; 6) Koluvara; 7) Kostolac; 8) Despotovac; 9) Timok; 10) Kosovo.

Les autres gisements (en Monténégro, en Macédoine et en Bosnie) ont aussi de grandes réserves de lignite, dont l'importance sera évaluée quand la prospection sera plus avancée. Les lignites ont généralement à l'état naturel après extraction une humidité variante entre 35% et 50%, avec 6—12% de cendres et une valeur calorifique située entre 2000 et 3500 calories. Le passage de lignites aux charbons de faible qualité n'est pas net et les qualités changent selon les gisements.

Les charbons de faible qualité (Braunkohle) se trouvent dans les gisements en Bosnie, en Slovénie et en Serbie. Ils sont de meilleure structure géologique en Bosnie, ce qui facilite l'exploitation, quelquefois à ciel ouvert (Banovići). Les deux bassins, de la Moyenne Bosnie et de Banovići au nord de la Bosnie, disposent d'une réserve d'à peu près un milliard de tonnes. Le plus important bassin en Serbie est celui de Despotovac, dont les réserves sont estimées à 500 millions de tonnes. Ces charbons de faible qualité ont une humidité de l'ordre de 10—30%, avec 8—20% de cendres et 3500 à 5000 calories.

Le charbon de bonne qualité se trouve dans plusieurs gisements, mais pas un seul n'est d'une grande importance. L'exploitation se fait dans des conditions géologiques très souvent défavorables. La Yougoslavie n'a pas de grands bassins houillers, les gisements relativement pauvres étant très disséminés dans le pays, de Raša en Istrie jusqu'à la Serbie de l'Est. Le pourcentage de l'humidité est faible, mais avec forte teneur en cendres, la puissance étant de 4500—7000 calories.

Les combustibles liquides et gazeux n'ont pas été employés jusqu'à présent pour une production appréciable d'énergie électrique. Les combustibles liquides

ne satisfont pas encore les besoins du pays en charbon et il en sera de même encore pour plusieurs années. Les réserves de gaz naturel sont évaluées à 10 milliards de m<sup>3</sup> à peu près, les réserves sûres exploitables étaient estimées à 2 milliards de m<sup>3</sup>. Il est probable que les combustibles gazeux pourraient jouer un certain rôle dans la production de l'énergie électrique dans un avenir un peu plus éloigné.

#### IV. Electricité

Cet exposé ne s'occupe pas de l'électricité en Yougoslavie dans le sens habituel de la production, du transport et de la consommation d'énergie électrique, mais il est plutôt orienté vers quelques problèmes d'intérêt particulier.

Il est important de souligner les caractéristiques de la production d'énergie électrique en Yougoslavie avant la deuxième guerre mondiale pour mieux comprendre le développement après la guerre, l'état actuel et les tendances.

Les usines électriques d'avant guerre, hydrauliques et thermiques, étaient construites dans la majeure partie pour satisfaire les besoins locaux d'énergie dans leur voisinage immédiat, principalement pour couvrir les besoins des grandes villes et des industries spéciales. C'est ainsi que l'électrification de la Yougoslavie a commencé sans conceptions générales, valables pour tout le pays, et sans les plans pour un développement continu. Les usines thermoélectriques d'une puissance relativement limitée fournissaient l'énergie électrique aux grandes agglomérations, tandis que les industries étaient orientées vers la construction soit des usines

thermoélectriques soit des usines hydroélectriques. La fig. 96 montre les usines électriques construites avant 1945, avec un astérisque pour les distinguer des usines construites après 1945.

La puissance totale installée en 1940 se montait à peu près à 420 MW, dont 250 MW des usines thermoélectriques et 170 MW des usines hydroélectriques. La production totale annuelle juste avant la guerre était d'environ 1200 millions de kWh, dont 52% à peu près d'énergie thermoélectrique. Les usines Fala (35 MW, sur la Drave) et Kraljevac (62 MW, sur la Cetina) étaient les seules grandes usines hydroélectriques, construites pour les industries spéciales. Le transport d'énergie électrique ne dépassait pas quelques dizaines de km du lieu de leur production, avec des puissances transportées assez limitées, sur les lignes de transport ne dépassant pas la tension de 50—80 kV.

Quand l'électrification plus rapide du pays fut mise à l'ordre du jour après la guerre, plusieurs questions économiques et techniques s'imposaient à ce moment-là :

- 1) Quelle relation faudrait-il choisir entre les deux ressources principales (forces hydrauliques et combustibles), pour qu'elle soit la plus économique?
- 2) Faudrait-il s'orienter vers la construction d'un petit nombre de grandes usines, avec un grand réseau correspondant de lignes à haute tension, ou faudrait-il s'orienter plutôt vers la conception d'électrification régionale, avec des interconnexions moins importantes et plus nécessaires entre les régions?
- 3) Faudrait-il s'orienter vers la construction de grands réservoirs hydrauliques pour répondre à l'irrégularité des cours d'eau, ou vers les usines thermoélectriques supplémentaires ou alors vers toutes les deux possibilités, dans une relation déterminée, grâce à d'autres moyens?
- 4) Faudrait-il s'orienter vers les projets d'aménagement des eaux à fins multiples, ou plutôt vers les projets purement hydroélectriques, ayant le prix de revient le plus bas?



Fig. 96 Les usines hydroélectriques et thermoélectriques en Yougoslavie à la fin de 1957, divisées en trois classes:

a) moins de 10 MW; b) entre 10 et 100 MW; c) plus de 100 MW. Elles sont divisées aussi: a) les usines en service en 1957; b) les usines en construction en 1957; c) les usines dont les projets sont le plus avancés et prévus pour une réalisation prochaine. Les usines construites avant 1945 sont marquées avec un astérisque.

### Relation entre les différentes ressources dans la production totale

Le nombre des projets pour les usines électriques et pour les lignes de transport était limité dans les années 1944—1947, et la qualité des projets n'était pas suffisante pour permettre en ce temps-là des études économiques très poussées. Néanmoins, la connaissance des quantités et des propriétés des ressources pour la production de l'énergie électrique dans leurs lignes générales a permis aux autorités de prendre les décisions nécessaires. On s'est orienté vers la construction de nouvelles usines électriques en utilisant dans une plus grande proportion des ressources hydrauliques. Le résultat de cette décision et de cette nouvelle orientation a fait passer la part de l'énergie hydroélectrique dans la production totale de 48% en 1939 à 57% en 1956, avec un prix de revient moyen du kWh beaucoup plus bas qu'auparavant. Cette tendance continuera encore pour quelques années (fig. 97), pour s'arrêter probablement à une limite située entre 65% et 75%. La production de l'énergie thermoélectrique, et par conséquent la construction des usines thermoélectriques, a dû être développée dans un rapport correspondant aux forces hydrauliques équipées, soit pour utiliser les déchets assez grands des combustibles, économiquement utilisables, comme les produits des grandes mines houillères, d'une part, soit pour pouvoir répondre aux demandes de l'énergie électrique dans les saisons et les années de basses eaux des rivières, d'autre part. Ce problème du meilleur rapport entre ces deux ressources continue à être toujours actuel dans les études du développement récent ou futur de la production de l'énergie électrique en Yougoslavie.

### Les conceptions fondamentales de l'électrification du pays

L'orientation choisie pour l'électrification tout de suite après la guerre s'est faite vers la construction de plusieurs usines, distribuées dans presque toutes les régions du pays, qui avaient des ressources d'énergie électrique économiquement utilisables et dans lesquelles la demande d'énergie était déjà connue ou prévue par

le développement de l'industrie. Cette orientation exigeait un minimum de lignes de transport de la plus haute tension de 110 kV, prévu à ce moment-là pour le pays. En même temps, les moyens de chaque région, disponibles pour la construction des usines électriques, pouvaient être mieux utilisés. Le développement postérieur, dû à une interconnexion plus rapide et plus complète, a changé peu à peu les conceptions initiales.

La situation dans les années 1945—1947 était la suivante:

a) un nombre suffisant d'usines (hydroélectriques et thermoélectriques) d'une puissance variant entre quelques milliers de kW jusqu'à 164 000 kW, par exemple l'usine de Jablanica, dont la construction a commencé entre 1945 et 1947;

b) les usines ont été distribuées pratiquement dans toutes les républiques et les provinces du pays;

c) les lignes de transport à haute tension devaient être construites par étapes allant des petites aux grandes distances, et de plus petite à la plus grande tension, avec les tensions standardisées de 10, 35 et de 110 kV. Cette situation initiale s'est modifiée peu à peu dans les douze dernières années, et la situation actuelle peut se résumer pratiquement selon les tendances suivantes:

1) continuer et augmenter la construction suivant une succession convenable des grandes usines hydroélectriques d'une puissance variant entre 150 et 500 MW, qui seraient les usines les plus économiques du pays, mais en tenant compte des frais et des pertes dus au transport d'énergie et des avantages d'aménagement des eaux à fins multiples;

2) passer de plus en plus, selon des besoins du pays, pour le transport de l'énergie à la tension de 220 kV, en couvrant peu à peu le pays d'un super-réseau de 220 kV;

3) continuer la construction d'usines thermoélectriques sur les grands gisements des lignites, exploités principalement pour les industries diverses, en utilisant les grandes quantités des lignites sous forme de déchets, de qualité calorifique basse, mais économiquement utilisables pour les usines thermoélectriques.

C'est ainsi que les projets des grandes usines hydroélectriques (Bajina Bašta, Buk Bijela, Komarnica, Peručica, Rama, Senj, Split, Trebišnjica et Portes de Fer sur le Danube) sont considérés comme étant les plus intéressants, quelques-unes de ces usines (Split de 425 MW, Peručica 216 MW) sont déjà en construction. De même, l'usine thermoélectrique de Kosovo, avec sa première étape de 100 MW (qui sera ensuite doublée) sera rattachée aux exploitations des lignites de ce grand bassin de lignite. La Yougoslavie construira plusieurs de ces grandes usines dans les 10 à 20 prochaines années, dont la puissance installée de chacune dépassera 200 MW. Passer des usines régionales aux usines à l'échelle du pays, ou même à l'échelle internationale (les projets du type Yougelexport), passer des interconnexions assez limitées d'usines à un super-réseau de lignes à haute tension, ou même à l'interconnexion intensifiée européenne, tel est le développement normal, correspondant aux besoins et aux possibilités économiques du pays dans les douze dernières années et dans les années à venir.

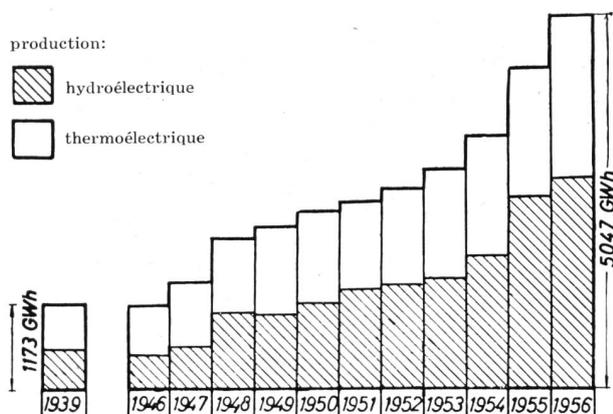


Fig. 97 La production de l'énergie électrique en Yougoslavie en 1939 et entre 1946 et 1956, divisées en énergie d'usines hydroélectriques et d'usines thermoélectriques. Le pourcentage de l'énergie hydroélectrique est monté de 48% en 1939 à 57% en 1956, avec la tendance à monter encore dans l'avenir.

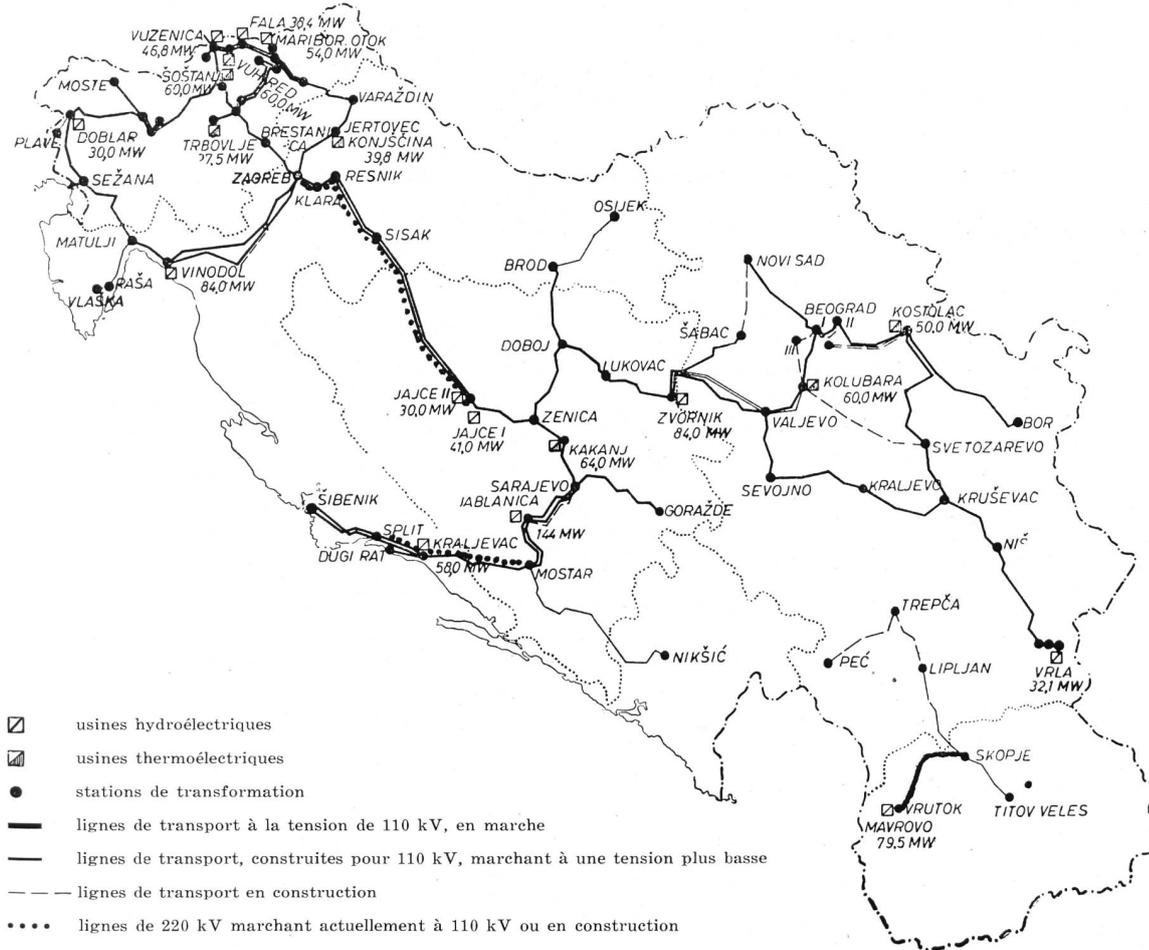


Fig. 98 Les lignes de transport à haute tension en Yougoslavie en 1957 (d'après la revue «Elektroprivreda» No 5—6, 1957).

Le développement de l'électricité en Yougoslavie avant et après la guerre montre que la puissance moyenne des usines construites ou en voie de construction croît constamment, parce que les nouvelles usines sont toujours équipées de plus grandes puissances installées.

Les usines mentionnées seront parmi les plus grandes usines hydroélectriques de Yougoslavie à l'avenir, spécialement l'usine des Portes de Fer sur le Danube, qui aura probablement une puissance installée de 2 millions de kW. Les projets des usines mentionnées sont déjà assez avancés, sauf pour l'usine des Portes de Fer, dont les études ont commencé en 1957.

Il est possible que les puissances installées des autres usines hydroélectriques à créer, après la construction des grandes usines mentionnées, seront plus basses. C'est un phénomène normal auquel il faut s'attendre en Yougoslavie comme ailleurs pour les aménagements des forces hydrauliques en général. Les usines hydroélectriques construites au début de l'électrification d'un pays accusent des puissances relativement faibles correspondant aux demandes limitées d'énergie, puis les puissances augmentent de plus en plus, cela dépend des caractéristiques géophysiques et des frais de construction. Les puissances des usines à construire diminuent de plus en plus, jusqu'à l'épuisement de l'aménagement

des forces hydrauliques, parce que les usines de plus grande puissance sont en général plus rentables et construites avant les autres.

La fig. 96 montre les usines hydroélectriques et thermoélectriques: construites, en construction et les usines dont les projets sont assez avancés, correspondant à l'état de l'aménagement en 1957.

La production de l'énergie électrique en Yougoslavie en 1957 a dépassé 6 milliards de kWh, ce qui représente 5 fois la production maximum d'avant la guerre.

Une caractéristique des grandes usines hydroélectriques et thermoélectriques en Yougoslavie est leur construction par étapes. Les groupes des usines de Mavrovo et de Vlasina ont actuellement une puissance installée ou en voie d'installation qui est seulement la moitié de la puissance prévue, mais avec les ouvrages du génie civil les plus importants presque terminés. La première étape de l'usine de Split est en construction (212 MW), de même aussi pour la partie du génie civil, car seule la première des deux grandes galeries prévues est en construction. Les plus grandes usines thermoélectriques sont aussi construites et installées par étapes. Cette pratique permet une plus grande souplesse dans la mise en marche des unités de production, compte tenu de la demande en énergie électrique, et avec le minimum des investissements anticipés.



Fig. 99 Le barrage, en état de construction, de l'usine de Jablanica (hauteur  $H = 80$  m, hauteur d'eau 70 m), déjà terminé et en exploitation. C'est le plus haut barrage en Yougoslavie.

*La production de l'énergie électrique et l'irrégularité des forces hydrauliques*

Pour répondre aux irrégularités naturelles des forces hydrauliques disponibles, les études en Yougoslavie ont montré que tous les moyens disponibles suivants peuvent et doivent être utilisés:

- 1) Construire des bassins réservoirs, pour la régularisation des eaux: saisonnière (avec production constante dans une saison déterminée), annuelle (pour augmenter la production dans les périodes sèches de l'année) et interannuelle (pour diminuer les fluctuations de la productibilité d'énergie entre les années humides et les années sèches);

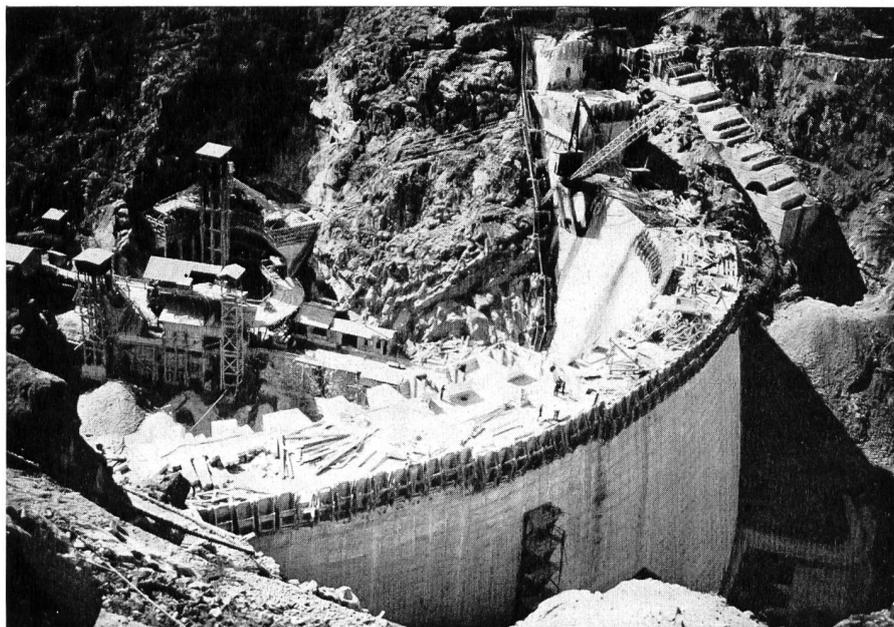


Fig. 100 La vue du barrage de Jablanica dans un état de construction avancée.



Fig. 101 L'usine hydroélectrique de Zvornik sur la Drina (84 MW, chute 21 m, débit installé 540 m<sup>3</sup>/sec), construite après la guerre.

- 2) Construire des usines thermoélectriques avec un régime de travail presque opposé aux puissances disponibles des usines hydroélectriques, dans le cadre de la relation déterminée entre les ressources hydrauliques et thermiques dans la production totale et dans le cadre de la souplesse de ces usines à s'adapter à un tel régime;
- 3) Faire l'interconnexion des usines hydroélectriques accusant des régimes hydrologiques différents, dont l'exemple typique est la liaison des usines du massif des Alpes Dinariques au sud et au sud-ouest du pays avec celles du massif des Alpes à l'ouest;
- 4) Disposer de consommateurs d'énergie électrique qui peuvent facilement s'adapter à la variabilité des forces hydrauliques;
- 5) Echanger l'énergie électrique avec les pays voisins en exportant de la Yougoslavie ses surplus d'énergie électrique et en important des surplus des pays voisins pendant les saisons sèches en Yougoslavie, quand les régimes des eaux sont plus ou moins complémentaires;
- 6) Faire les réductions de la consommation en cas de saisons ou d'années exceptionnellement sèches.

Le problème des études économiques très poussées reste posé, pour déterminer les relations les plus économiques entre les six moyens disponibles et actuellement employés dans le pays à plus ou moins grande échelle.

Les bassins d'accumulation déjà construits ont une capacité totale nette de 750 millions de m<sup>3</sup>, ce qui correspond à un potentiel énergétique, calculé pour un remplissage annuel des lacs, de 650 millions de kWh. Etant donné que le coefficient moyen de remplissage annuel de quelques réservoirs est souvent 1,3 à 1,6, l'équivalent énergétique annuel est plus grand. Les réservoirs en



Fig. 102 L'usine hydroélectrique de Zvornik, vue d'amont.

construction auront une capacité totale utile de 850 millions m<sup>3</sup>, correspondant à un potentiel énergétique de 750 millions de kWh. Le volume total utile des réservoirs se montera ainsi dans 3—4 ans à 1600 millions de m<sup>3</sup> et le potentiel énergétique à 1400 millions de kWh.

Les sept projets des nouvelles usines hydroélectriques de Bajina Bašta, Buk Bijela, Globočica, Komarnica, Rama, Senj, Tara-Morača et Trebišnjica envisagent la construction de bassins réservoirs ou l'utilisation de lacs existants d'un volume utile total de 4200 millions de m<sup>3</sup>, ce qui équivaut à un potentiel énergétique de 3500 millions de kWh. C'est ainsi que la régularisation des eaux sera un moyen assez efficace en Yougoslavie pour répondre aux fluctuations naturelles des ressources hydroélectriques.

Les projets des usines thermoélectriques (les deuxièmes étapes des usines Kakanj, Kolubara, Šoštanj, puis l'usine de Kosovo et d'autres encore) augmenteront de plus en plus la possibilité de répondre aux demandes en cas de saisons ou d'années sèches. Plus l'exploitation de la lignite sera poussée, plus la puissance et la production des usines thermoélectriques sera grande. Une propriété des usines thermoélectriques en Yougoslavie mérite d'être soulignée. Ces usines ne peuvent pas être considérées comme des usines purement supplémentaires aux usines hydroélectriques. En utilisant les déchets des mines houillères, spécialement des lignites extraits à ciel ouvert, les usines peuvent utiliser ce combustible dans une voie que l'on pourrait appeler «au-fil-de la lignite». L'adaptabilité aux saisons sèches et humides est par conséquent limitée par les possibilités et opportunités de stockage, par les possibilités d'adaptation de la production de la lignite aux demandes de l'électricité et par d'autres facteurs (révisions des installations, par exemple). La Yougoslavie sera probablement le pays où les usines thermoélectriques, utilisant les combustibles à faible teneur calorifique (lignites et déchets des lignites et des charbons de faible qualité), seront de plus en plus développées et perfectionnées.

L'interconnexion des usines en Yougoslavie se développe assez vite. Les premières lignes à haute tension de 220 kV (provisoirement utilisées pour le transport à la tension de 110 kV) sont déjà construites (Jajce-Zagreb) ou en construction (Mostar-Split); d'autres lignes seront réalisées dans un proche avenir. Le réseau 110 kV s'intensifie chaque année (fig. 98). C'est ainsi qu'une interconnexion des usines hydroélectriques à régimes hydrologiques différents est assurée de plus en plus.

Quelques industries en Slovénie (Ruše), en Dalmatie (Dugi Rat) et ailleurs disposent de la possibilité, grâce aux tarifs spéciaux, de s'adapter aux irrégularités des cours d'eau, mais les puissances totales ainsi demandées restent assez limitées en comparaison des puissances totales installées.

L'échange d'énergie augmente peu à peu mais constamment avec l'Italie et l'Autriche. L'accord pour l'échange avec la Grèce a déjà précisé les modalités nécessaires. L'exportation d'énergie électrique de Yougoslavie vers la Hongrie augmentera de plus en plus con-

formément aux accords déjà existants. Le projet de Yougelexport attend d'être réalisé.

C'est ainsi qu'une assez grande régularité dans la production d'énergie et un grand coefficient d'utilisation de la productibilité des usines électriques seront probablement assurés pour l'avenir, ainsi, les réductions importantes de la consommation nécessaires dans les années sèches seront de moins en moins probables et toujours plus faibles.

#### *Aménagements des eaux à fins multiples et électrification*

Un des moyens efficaces pour obtenir de l'énergie plus rentable des ressources hydroélectriques, capable de soutenir la concurrence d'autres ressources d'énergie, est de pousser les projets hydrauliques à fins multiples. Cela est certainement plus facile à dire qu'à faire. Beaucoup de conditions préalables doivent être remplies, pour qu'un grand projet à fins multiples soit accepté et réalisé. Parmi ces conditions, on peut citer la simultanéité des besoins des différents usagers, la disponibilité des fonds nécessaires de tous les intéressés, l'accord sur la participation aux frais de construction, etc.

Beaucoup d'usines hydroélectriques, techniquement intéressantes, dans tous les pays du monde ne peuvent être construites pour des raisons économiques, sans être liées aux aménagements des eaux à fins multiples. Le développement des autres sources d'énergie, avec leur perfectionnement continu, poussera sûrement plusieurs projets des usines hydroélectriques sur la voie des aménagements à fins multiples.

Les grandes usines hydroélectriques en Yougoslavie, déjà construites, en construction ou à l'état de projets, sont parmi les plus rentables et portent l'empreinte des projets purement hydroélectriques, sauf quelques cas spéciaux. Il existe la tendance dans les nouveaux projets d'usines hydroélectriques d'être des projets à fins multiples (Trebišnjica, avec la défense contre les crues et l'accumulation des eaux pour l'irrigation; Buk Bijela sur la Drina avec la défense contre les crues et l'accumulation des eaux pour l'irrigation et la navigation), mais quand on examine à fond les projets, ils se présentent pratiquement comme des projets hydroélectriques.

Les vrais projets à fins multiples seront les projets en Macédoine (hydroélectricité, irrigation, défense contre les crues), le projet du barrage des Portes de Fer sur le Danube (hydroélectricité, navigation) et quelques projets dans les bassins versants de la Save et de la Morava (défense contre les crues, irrigation, hydroélectricité, navigation).

Comme il a été dit plus haut, les efforts sont concentrés pour le moment en Yougoslavie vers la construction des grandes usines hydroélectriques d'un prix de revient très bon marché, principalement dans le massif des Alpes Dinariques, d'une part, et sur les grands projets d'irrigation, pour lesquels les eaux sont déjà disponibles dans les rivières, d'autre part. Il est inévitable que le développement à suivre sera orienté de plus en plus vers les projets d'aménagement à fins multiples, dès que les meilleurs projets hydroélectriques ou d'irrigation seront épuisés.