

La canalisation de la Moselle, une œuvre résultant de la collaboration pacifique des pays européens

The canalization of the Moselle
as an example of peaceful collaboration
between European countries

PAR BENNO KRETZSCHMAR,

ESCHWEILER/AACHEN

L'article décrit l'ensemble des aménagements opérés et des ouvrages construits ou à construire sur la Moselle en vue de canaliser la rivière, d'améliorer ainsi la navigation sur cet affluent du Rhin, et de produire de l'énergie électrique en utilisant la dizaine d'étages de retenue située sur les territoires allemand et luxembourgeois. L'étage de Trèves est décrit plus complètement (barrage, écluses, centrale) et mention est faite de l'adaptation des ouvrages au paysage. Deux paragraphes sont réservés au fonctionnement des centrales par éclusées et aux projets de centrales d'accumulation par pompage.

This article describes the various projects and both present and future works connected with the canalization and the improvement of navigation conditions in the Moselle, an important tributary of the Rhine. Electric power projects using the ten storage stages on German and Luxembourg territory are also reviewed. A fuller description is given of the stage at Trèves, including the barrage, locks and power station, and attention is drawn to the care taken to blend the structures in with the local landscape. Two paragraphs are given over to a discussion of power station operation by releases of water from locks, and pumped storage power plant projects.

INTRODUCTION

La Moselle, un affluent du Rhin, a une longueur totale de 514 km. Sa source se trouve dans la partie la plus méridionale des Vosges, entre le Ballon d'Alsace et le Drumont. Près de Remiremont, la Moselotte se jette dans la Moselle et c'est à partir de là également qu'elle forme, sur une longueur de 34 km environ, la frontière entre le Grand-Duché de Luxembourg et l'Allemagne de l'Ouest. Elle rejoint le Rhin près de Coblenche. Ses affluents les plus importants sont la Meurthe et

la Saar à droite, ainsi que l'Orne, la Sure, la Kyll, la Lieser et l'Alf à gauche.

Nous trouvons les plus jolis sites entre Trèves et Coblenche où, par un cours sinueux, la Moselle a creusé son lit dans le massif schisteux rhénan, à travers des vallées profondes. C'est également la région principale de la culture de la vigne, créée par les Romains.

A partir de Frouard, la Moselle est navigable pour des petits bateaux sur une longueur de

344 km. Elle est reliée par des canaux à la Saar, au Rhin, à la Meuse, à la Marne ainsi qu'à la Saône. Autrefois, des petits bateaux assuraient le transport des voyageurs entre Trèves et Coblenze. Le canal de la Moselle a été construit en amont de Metz [1, 2].

1. — La Moselle comme voie de communication entre les régions industrielles européennes.

Le 27 octobre 1956, la France, le Luxembourg et l'Allemagne de l'Ouest, ont signé une conven-

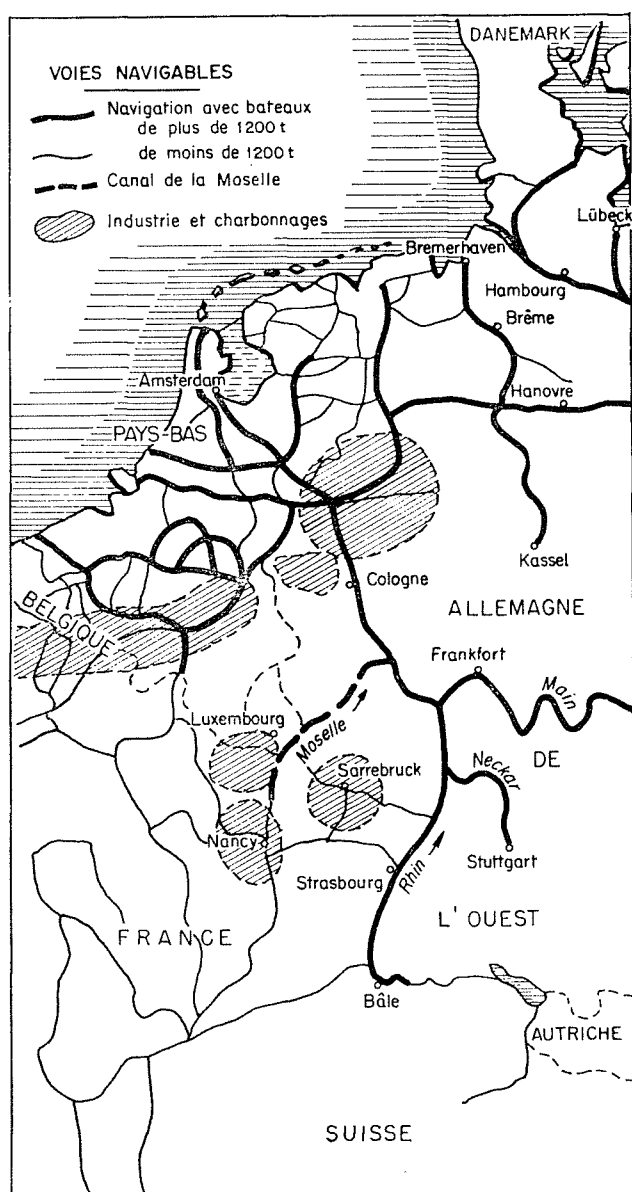


FIG. 1

La voie fluviale de la Moselle, lien entre les centres industriels et charbonniers d'Europe occidentale.

tion sur le développement, la canalisation et l'aménagement des centrales hydrauliques pour la production d'énergie électrique dans la section située entre Thionville et Coblenze.

Cette nouvelle voie de navigation, créée pour des bateaux jusqu'à 1 500 t, reliera étroitement la région industrielle lorraine au Rhin, au bassin de la Ruhr ainsi qu'aux ports hollandais et belges. La figure 1 donne un aperçu de cette importante voie de communication fluviale. On y voit retracés les parcours navigables pour des bateaux de plus de 600 t ainsi que ceux accessibles aux bateaux de moins de 600 t. La section de la Moselle située entre Thionville et Coblenze a une longueur totale d'environ 270 km. La dénivellation moyenne sur ce tronçon est de 50 m. Après achèvement des travaux de canalisation, il sera navigable pour des bateaux de 1 500 t.

Il est difficile de donner une estimation du trafic fluvial futur sur ce parcours. D'après les experts français, le trafic annuel escomptable sera de 11 millions de tonnes environ. L'expérience a montré que de telles valeurs sont souvent inférieures aux valeurs effectivement atteintes à la suite de la mise en service d'une voie fluviale aussi importante.

Il faut remarquer que dans le cadre d'une collaboration pacifique des pays européens, ce projet est maintenant en voie de réalisation. Les nombreux plans de construction et les programmes à long terme qui ont été établis par différents pays d'Europe après 1945 démontrent nettement la volonté de reconstruire ce continent tant éprouvé par la deuxième guerre mondiale. L'accélération de la production charbonnière représentait le point le plus important de ces travaux de planification, mais ceci a conduit en France, en Belgique et en Allemagne, à des dépôts de charbon qui ne trouvent pas d'acquéreur actuellement. Une grande importance a été accordée à l'augmentation de l'alimentation de l'Europe en énergie, dans ces travaux dits d'après-guerre. Dans ce domaine, c'est surtout le plan commun des pays européens qui tend à équilibrer l'énergie électrique entre la France, les pays du Benelux, les nations alpines ainsi que l'Allemagne [3, 13] et qui a été développé avec succès depuis 1945.

Des succès remarquables ont été obtenus dans le cadre du plan commun des pays de l'Europe occidentale. Durant les années après 1945, le manque d'énergie électrique dans les pays d'Europe a conduit à des mesures de restriction paralysant à leur tour le développement de l'industrie européenne [5, 6, 9, 11, 12].

Les chiffres suivants démontrent les résultats obtenus depuis lors : en septembre 1958, ont été connectés en parallèle pour la pointe matinale, vers 11 heures, la France, le Benelux, la Suisse,

l'Autriche, l'Italie et l'Allemagne. La puissance des centrales hydrauliques et thermiques européennes travaillant en connexion était de plus de 30 millions de kW. La puissance des zones des U.S.A. travaillant en connexion, atteignant à cette époque environ $25 \cdot 10^6$ kW en pointe, fut donc ainsi dépassée.

La production officielle de l'Electricité de France était en 1923 de $7\,490 \cdot 10^6$ kWh, dont environ 55 % par des usines thermiques. Elle était de $19\,700 \cdot 10^6$ kWh en 1939 (dont environ 42,5 % par usines thermiques [14], alors qu'en 1955, la production de l'Electricité de France s'élevait à presque $50 \cdot 10^9$ kWh et l'on estime que pour 1965/66, les besoins en énergie électrique de la France atteindront $100 \cdot 10^9$ kWh [15].

La production d'énergie électrique des pays travaillant dans le cadre de l'union des pays de l'Europe occidentale s'élevait en 1948 à environ $58\,194$ GWh (52 %) dans les centrales hydrauliques et à $53\,781$ GWh dans les centrales thermiques, soit, au total, à presque 111 TWh (1 GWh = 10^9 Wh, 1 TWh = 10^{12} Wh). En 1957, elle dépassait 218 TWh [16].

Afin de permettre une comparaison, nous pouvons dire que la production des U.S.A. durant l'année 1925 s'élevait à environ 61 TWh, dont 64 % dans des usines thermiques. Dix années plus tard, les besoins s'élevaient à 95 TWh, dont 60 % fournis par des usines thermiques. Dans les Etats-Unis, l'augmentation annuelle durant l'époque de 1925 à 1935 était de $3,4$ TWh. En 1945, la consommation s'élevait à 220 TWh et en 1957 le bilan était de 631 TWh (80 % par des usines thermiques). D'après les estimations, les besoins des Etats-Unis en électricité pour l'année 1975 s'élèveraient à $2\,400$ TWh, 85,5 % étant fournis par des usines thermiques [18].

En vertu du fait bien connu que les besoins en électricité des pays industriels d'Europe doublent en sept à dix années, on voit qu'il est nécessaire de développer l'exploitation de l'électricité en Europe. Dans ce cadre, la signification de la canalisation de la Moselle, ainsi que des centrales à aménager, devient également plus claire.

2. — Débits utilisables de la Moselle.

En 1958, $57\,535$ GWh ont été produits par les centrales électriques publiques de l'Allemagne de l'Ouest, avec une production de 19,7 % seulement fournie par les installations hydrauliques. Les centrales industrielles privées ont produit dans la même année $36\,676$ GWh (4 % par les installations hydrauliques). Les installations des chemins de fer de l'Allemagne Fédérale

ont fourni $1\,059$ GWh, dont 37 % par des installations hydrauliques.

En considérant tous les producteurs d'électricité de l'Allemagne de l'Ouest, nous obtenons pour 1958 la production suivante :

Production des centrales thermiques	82 108 GWh = 86,2 %
Production des centrales hydrauliques	13 162 GWh = 13,8 %
Production totale de l'Allemagne de l'Ouest	95 270 GWh = 100 %
dont :	
Production par les entreprises de distribution d'Electricité (EVU)	60,4 %
Production par les centrales d'industries (IVA)	38,5 %
Production par les chemins de fer fédéraux	1,1 %
	100 %

La participation de l'hydraulique à la production d'énergie électrique allemande est, suivant les débits disponibles, de 18 à 20 %. Pendant ces dernières années, l'énergie hydraulique s'est limitée à ce pourcentage. De 1936 à 1954, la production totale a subi une augmentation de 181 %, alors que celle des centrales hydrauliques n'était que de 70 % [19]. Cette infériorité dans la production d'énergie hydraulique est due principalement à la situation particulière des années d'après-guerre et aux délais de construction plus longs des installations hydrauliques. Afin de remédier aux conséquences désastreuses de la guerre pour la production d'énergie électrique de l'Allemagne de l'Ouest, il fallait avant tout reconstruire les centrales thermiques détruites. Etant donné que, pendant les années de guerre, aucune installation nouvelle n'avait été construite et qu'en majeure partie, les installations à moyenne pression dominaient, la deuxième phase du programme concernant les centrales thermiques fut marquée par la réalisation d'importantes extensions. Ici, on peut citer comme exemple la centrale thermique (au lignite), de Goldenberg-Werk, près de Cologne. Cette installation, construite en 1913, était, lors de la déclaration de guerre, la plus grande du monde fonctionnant au lignite, avec ses 18 groupes de turbines à moyenne pression (15 kg/cm², température de la vapeur 350 °C) ayant une puissance totale de 533 MW. La production de vapeur s'effectuait dans 100 chaudières verticales à grilles de foyer en marches d'escalier et tirage naturel. La production de chaque chaudière était de 30 t/h. La centrale de Goldenberg avait 12 che-

minées d'une hauteur de 125 m. Plusieurs bombardements, notamment le raid anglo-américain d'octobre 1944, ont paralysé complètement cette centrale. Plus de 2 000 bombes, — y compris celles qui n'ont pas éclaté, — ont été dénombrées sur l'emplacement de la centrale ainsi que sur les usines de briquettes et les mines de lignite situées alentour. Les travaux de reconstruction ont duré jusqu'en 1948. Après une durée de reconstruction, remarquablement courte, de vingt-deux mois, cette installation à moyenne pression fit l'objet, en 1950, d'une extension complémentaire à haute pression. Cette extension prévue pour une pression de 125 kg/cm² et 500° C, comprend trois groupes de centrales munis chacun de quatre chaudières au poussier de charbon, de deux turbines auxiliaires (de 35 MW chacune) et d'une turbine à pré-chauffage. La puissance auxiliaire totale est de 225 MW. La production unitaire des chaudières au poussier de charbon est de 160/175 t/h. Après achèvement de ces travaux, la centrale de Goldenberg fut en 1952 agrandie par deux unités de 100 MW (à 125 kg/cm² et 530 °C). Ces chaudières (deux chaudières à circulation naturelle munies chacune de huit broyeurs à poussier) fournissent 365/400 t/h de vapeur. Ces quelques indications sont un exemple de la tendance dans le développement de la construction de centrales en Allemagne de l'Ouest après la deuxième guerre mondiale. Ce dévelop-

pement tendait surtout vers l'agrandissement de centrales thermiques, l'Allemagne de l'Ouest étant très riche en matières combustibles solides, soit 68 milliards de tonnes de houille (20 % des gisements européens et 63 milliards de tonnes de lignite (42,2 %).

Les statistiques [19] démontrent que 53 % environ des aménagements hydrauliques de l'Allemagne de l'Ouest, avec une capacité de production de 1 950 MW, se trouvent seulement à l'état d'avant-projets. Des centrales d'énergie de pointe peuvent être aménagées jusqu'à 64 % environ avec une puissance de plus de 2 000 MW.

La comparaison avec la richesse en énergie hydraulique de la France dans les Pyrénées, les Alpes, le Massif Central, montre que l'Allemagne est relativement pauvre en énergie hydraulique. La majeure partie de celle-ci se trouve concentrée dans le sud de l'Allemagne (Bavière).

L'interconnexion des centrales thermiques et hydroélectriques a permis l'aménagement d'usines hydrauliques à débits turbinés plus élevés, de façon à utiliser au maximum l'énergie naturelle disponible. Le « fonctionnement par éclusées » dans des centrales en cascade a été adopté de plus en plus au cours de ces dernières années — comme, par exemple, sur l'Isar, la Lech et le Neckar —; il permet la combinaison centrales au fil de l'eau — centrales sous retenue, particulièrement mise en valeur par l'interconnexion

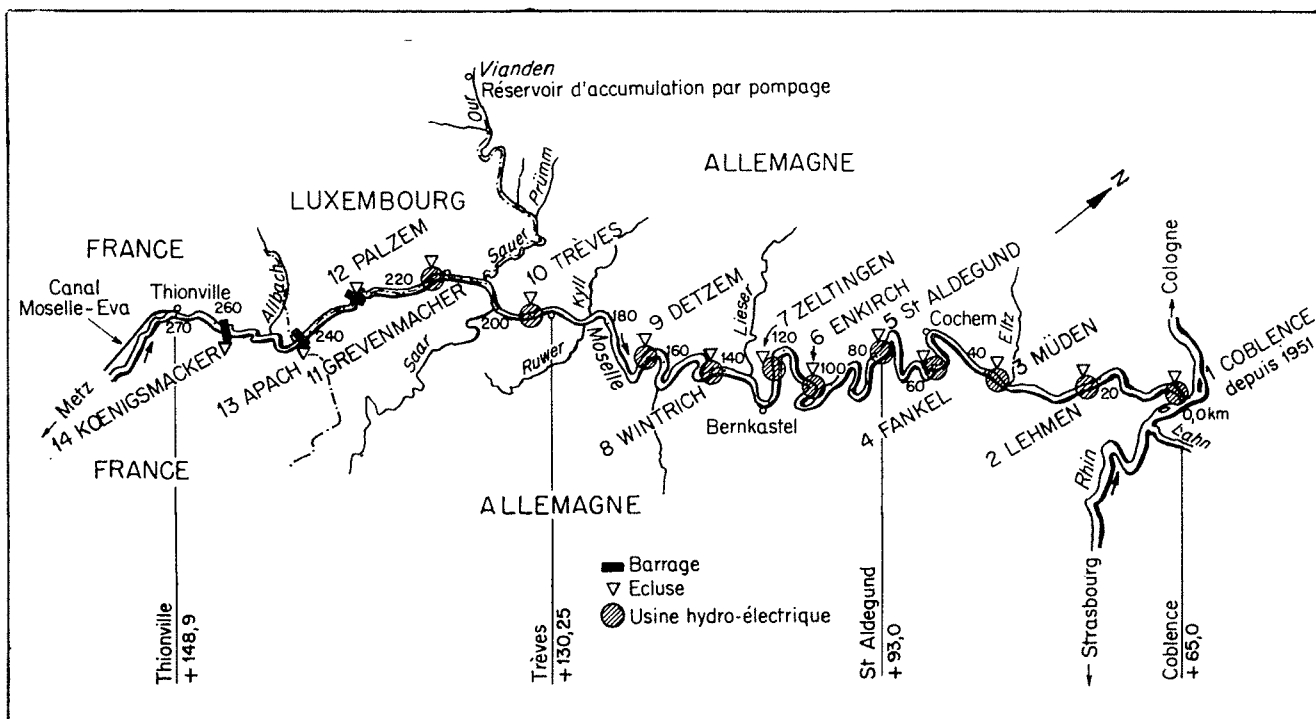


FIG. 2
Canalisation de la Moselle entre Thionville et Coblenz avec aménagement de 13 étages de retenue et de 10 centrales hydrauliques.

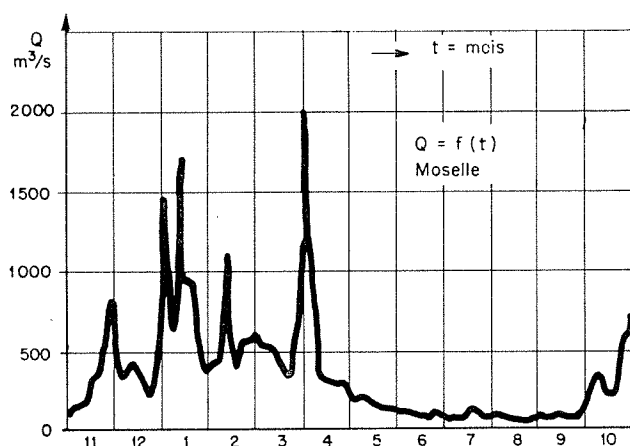


FIG. 3

Débit de la Moselle.

Limnimètre de Cochem (bassin versant de 27 100 km²) :
 $Q_{\max} = 4\ 100\ m^3/s$; $Q_{\min} = 25\ m^3/s$; débit d'hiver 2/3.

avec les centrales d'accumulation par pompage et il présente des avantages économiques.

La pointe hivernale de puissance, par rapport au régime nocturne, est en Allemagne de l'Ouest de 50 à 250 %. Par rapport à la pointe de nuit augmentée de l'accumulation par pompage, la pointe de puissance diurne est encore supérieure de 33 % [19]. Pour satisfaire aux consommations de pointe, on a besoin de peu de kWh, mais de beaucoup de kW. Ici, ce sont les centrales à retenue qui conviennent le mieux [19]. En Allemagne de l'Ouest — y compris les usines sur l'Ill (Vorarlberg) — on ne dispose que de 5 % environ de la production annuelle en kWh pour l'énergie de pointe; la construction de centrales de retenue ainsi que de centrales à accumulation par pompage y est donc de première nécessité.

D'autre part, l'aménagement des centrales au fil de l'eau se poursuit aussi de façon intensive en Allemagne. Pour ces installations, les problèmes à résoudre se situent souvent dans le domaine de la régularisation des crues et des rivières, de l'alimentation en eau potable ainsi que de l'aménagement pour la navigation. Pour ces aménagements à buts multiples, l'installation supplémentaire de centrales est d'une économie bien comprise.

Pour la canalisation de la Moselle, les chutes suivantes sont prévues :

France :

2 chutes (Koenigsmacker, Apach).

Luxembourg :

2 chutes (Palzem, Gravenmacher).

Allemagne :

9 chutes (Trier, Detzem, Wintrich, Zeltingen, Enkirch, St. Aldegund, Fankel, Müden, Lehmen).

Parmi les 13 aménagements, 10 (9 en Allemagne et 1 au Luxembourg) seront équipés de centrales hydroélectriques qui sont indiquées sur la figure 2. La centrale de Coblenz (4 turbines Kaplan verticales, d'une puissance totale de 16 MW) est en service déjà depuis 1951.

La Moselle étant une rivière de montagne d'altitude moyenne, ses débits disponibles varient dans les limites assez grandes. La figure 3 montre les conditions hydrologiques pour un débit annuel moyen. Le débit maximal à l'étiage est de 25 m³/s environ; le débit de crue maximal est de 4 100 m³/s environ. Le débit moyen est de 300 m³/s, ce qui donne un volume annuel de 9.10⁹ m³ environ. Il est essentiel que les deux tiers environ du débit s'écoulent en hiver, c'est-à-dire pendant la période où la charge dans le réseau commun est très élevée. La période des basses eaux se situe surtout pendant les mois d'été et d'automne.

Les variations du plan d'eau étant très rapides, la Moselle peut être considérée comme présentant des dangers de crues. Il a été tenu compte de ce fait pour la construction des barrages. En aval de l'embouchure de la Saar, c'est-à-dire dans le tronçon situé entre Trèves et Coblenz, les affluents de la Moselle ne sont plus qu'insignifiants. Sur ce tronçon, d'une longueur de 200 km, les débits varient peu.

3. — Dispositions générales des aménagements.

Sur la partie à canaliser de la Moselle, située entre Thionville et Coblenz et longue de 270 km environ, la dénivellation moyenne, y compris l'aménagement de Coblenz qui fonctionne déjà, est de 90 m environ. Chaque aménagement comprendra une grande écluse de navigation et à côté une petite écluse pour les péniches. Des garages suffisamment vastes, en amont et en aval, assurent un dégagement rapide de la navigation. La construction d'une deuxième écluse sera prévue plus tard pour chacun des aménagements.

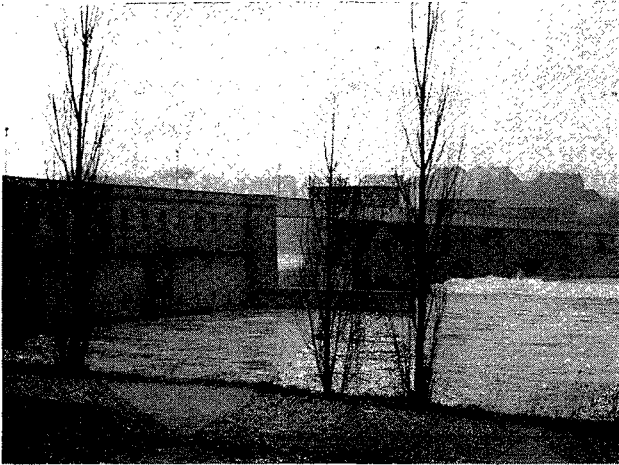
Les barrages situés sur le territoire allemand comprendront trois pertuis et une largeur totale utile de 120 m. La centrale sera implantée à côté du barrage.

Les divers aménagements situés entre Thionville et Coblenz ne se prêtent pas tous à l'établissement de centrales électriques. Du côté français, le débit de la Moselle est nettement inférieur à celui sur les territoires luxembourgeois et allemand, où le débit est presque doublé par les eaux venues de l'ouest de l'Eifel par la rivière la Sure et ses affluents le Prüm et l'Our, ainsi que par la Sarre venant du sud. Comme le montre la figure 2, les possibilités de chute pour

les aménagements à l'aval de Trèves sont également meilleures qu'en amont. Des centrales seront donc implantées surtout dans la région de Trèves-Coblence. Les conditions d'écoulement étant les mêmes sur tout le tronçon, long de 200 km environ, toutes les centrales seront prévues avec un même débit turbinable ($380 \text{ m}^3/\text{s}$). Pour une ouverture plus grande des turbines, ce

débit s'élève à $420 \text{ m}^3/\text{s}$. La dénivellation totale du tronçon indiqué plus haut est de 70 m et elle est répartie sur 10 chutes, y compris l'aménagement de Coblence fonctionnant déjà. On dispose donc d'une puissance totale de 165 MW, avec une production annuelle d'environ $750 \cdot 10^6 \text{ kWh}$. Le débit turbinable est disponible pendant 90 jours sur une période de plusieurs années.

Comme il a déjà été dit, on peut compter sur les deux tiers de l'énergie électrique de la Moselle pendant les six mois d'hiver. Ceci est très avantageux pour l'interconnexion avec les forces hydrauliques du sud de l'Allemagne, qui présentent leur maximum pendant les mois d'été. Mais il est désavantageux qu'à partir d'un débit



a) Vue d'aval.



b) Ecluse.



c) Vue d'amont.



d) Portique de levage.

FIG. 4
Aménagements de Coblence.
Débit = $380 \text{ m}^3/\text{s}$; chute = 4,2 m; puissance = 16 MW.

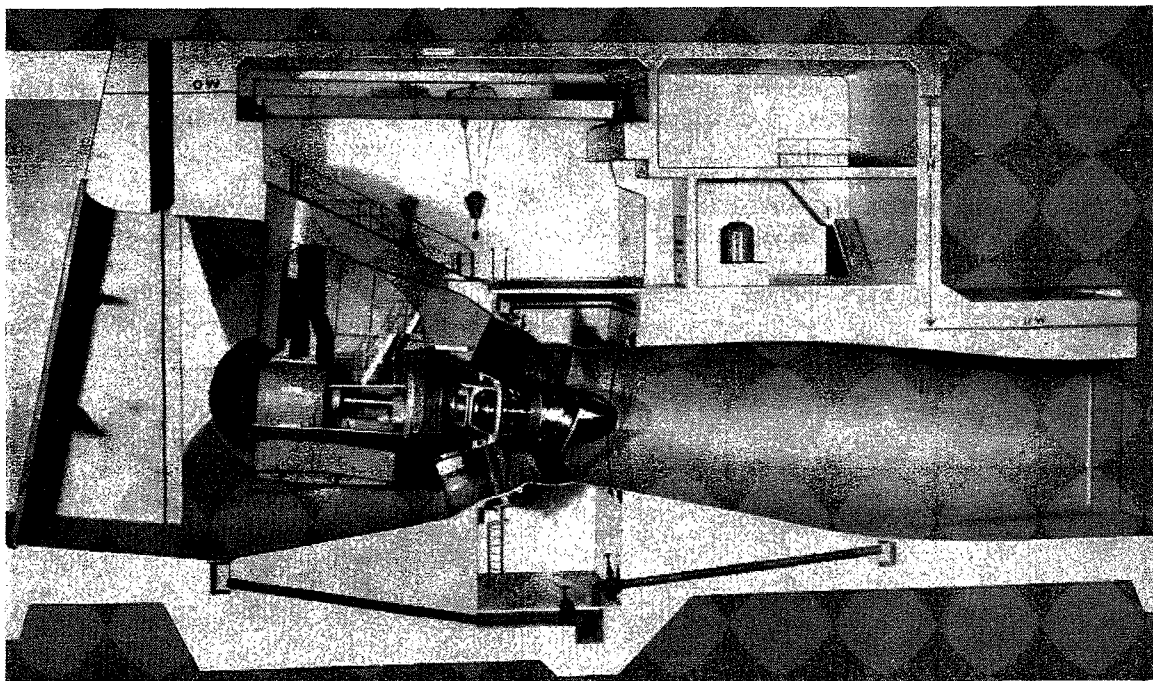


FIG. 5

Modèle d'une turbine axiale pour les centrales sur la Moselle.
 $Q = 380 \text{ m}^3/\text{s}$; $H = 4,95 \text{ m}$; puissance = 16 MW.

de $1\,200 \text{ m}^3/\text{s}$, les barrages doivent être ouverts afin d'éviter des dégâts causés par des remous dans l'étroite vallée de la Moselle.

La vallée de la Moselle étant encadrée très étroitement entre l'Eifel et le Hunsrück depuis Trèves jusqu'à son embouchure dans le Rhin, l'extension en largeur des installations s'en est trouvée limitée, situation qui est aggravée par la présence d'importantes routes et voies ferrées sur les deux rives de la Moselle.

Les dimensions des barrages sont imposées par les débits de crue à évacuer. Les largeurs des écluses sont déterminées par leur aménagement pour des bateaux de $1\,500 \text{ t}$. Il faut donc choisir des constructions ramassées.

La beauté du paysage de la vallée de la Moselle, encadrée par des coteaux complantés en vignes, imposait également de songer à la protection des paysages et à se limiter dans l'établissement des projets. Des corrections de la Moselle, dont le cours décrit parfois des méandres, étaient inadmissibles. Il était donc indispensable d'adapter au paysage les barrages, les écluses et les centrales y compris les lignes de transport d'énergie. Le « type de construction pour la Moselle », basé sur cette servitude, est caractérisé par la mise en œuvre de vannes-secteur immergées et de turbines axiales dans les centrales. Les vannes et piles du barrage seront submergées lors des hautes eaux. La tendance est en faveur de constructions assez plates et ramassées.

4. — Adaptation au paysage.

Plusieurs usines hydrauliques en Allemagne et dans d'autres pays européens sont construites de telle façon que le barrage et l'usine dépassent de beaucoup le niveau de la retenue. Ceci est le cas, par exemple, pour les centrales au fil de l'eau sur le Danube, le Main et le Weser. La photo n° 4 montre que les installations de la centrale de Coblenze, mise en service en 1951, — plus particulièrement le portique de montage, — dépassent de beaucoup le plan d'eau. Cette forme de construction est imposée par les quatre turbines Kaplan prévues ici, avec un débit $Q = 380 \text{ m}^3/\text{s}$ sous une chute $H = 4,2 \text{ m}$.

La collaboration entre les ingénieurs chargés de l'établissement du projet, et les architectes, a permis de définir pour les autres aménagements prévus sur la Moselle des principes de réalisation qui s'adaptent harmonieusement au cadre de la Moselle et satisfont aux désirs légitimes du Comité de Protection du paysage. L'abaissement des superstructures a été obtenu, entre autres, par l'installation de groupes Kaplan à double réglage axés selon l'écoulement, et avec une légère inclinaison sur l'horizontale. Le bâti axial enfermant la turbine et le générateur repose sur un socle. La figure 5 montre un modèle de cette turbine axiale, mais avec un autre palier. Les organes de la machine demeurent accessibles

depuis les fosses de montage desservies par des galeries de service.

Le dessin de l'aménagement de Trèves, actuellement en construction, montre un exemple d'adaptation avantageuse au paysage. Il comporte quatre turbines axiales pour un débit $Q = 380 \text{ m}^3/\text{s}$, $H = 4,95 \text{ m}$, ce qui fournit une puissance de 16 MW et une production annuelle de 80 GWh environ (voir fig. 6).

5. — Aménagement de Coblenche.

L'aménagement de la chute de Coblenche était déjà commencé avant le début de la deuxième guerre mondiale. Après quelques modifications, il a été mis en service en 1951. La forme de construction adoptée à cette époque et comportant les quatre turbines verticales Kaplan déjà mentionnées, pour un débit $Q = 380 \text{ m}^3/\text{s}$, $H = 4,2 \text{ m}$, exigeait pour l'usine une longueur de 69 m. Avec la nouvelle « forme de construction pour la Moselle », décrite plus haut, la longueur de l'usine serait réduite à 45 m avec l'installation de quatre turbines de même conception que les groupes verticaux de la chute de Trèves, ce qui représente une économie de 65 % environ sur la longueur.

Mentionnons encore qu'en 1913 déjà une centrale au fil de l'eau a été construite sur la Moselle à 33 km en aval de Trèves, avec une accumula-

tion journalière et hebdomadaire, en complément d'une centrale fonctionnant à la houille, installée à Trèves en 1902 [21]. Cette centrale (Dhronkraftwerk) a été munie en 1956 d'une pompe d'accumulation de 5 MW qui pompe de la Moselle pendant la nuit environ 4 000 l/s dans un réservoir surélevé de 100 m. La puissance totale de cette centrale est de 8 MW.

Une ancienne centrale se trouve également sur la Sarre près de Sarrebourg, utilisant une chute de 20 m de la Leuk, affluent de la Sarre.

Sur la Kyll — près de l'embouchure de la Moselle — les Services Municipaux de la Ville de Trèves ont également fait construire une centrale au fil de l'eau comme centrale à charge constante et comme complément de l'usine thermique de Trèves en 1926. Aujourd'hui, évidemment, cette centrale nous paraît petite. Avec un débit maximum de $16,8 \text{ m}^3/\text{s}$ et une chute utile de 3,47 m, on a pu obtenir une puissance de 380 kW et une production annuelle de $1,7 \cdot 10^6 \text{ kWh}$. Cette centrale sur la Kyll est toujours en service [21].

6. — Situation et implantation de la chute de Trèves.

La faible hauteur de passage du vieux pont romain de Trèves, qui ne permet pas de retenue, a déterminé la position de la chute de Trèves;

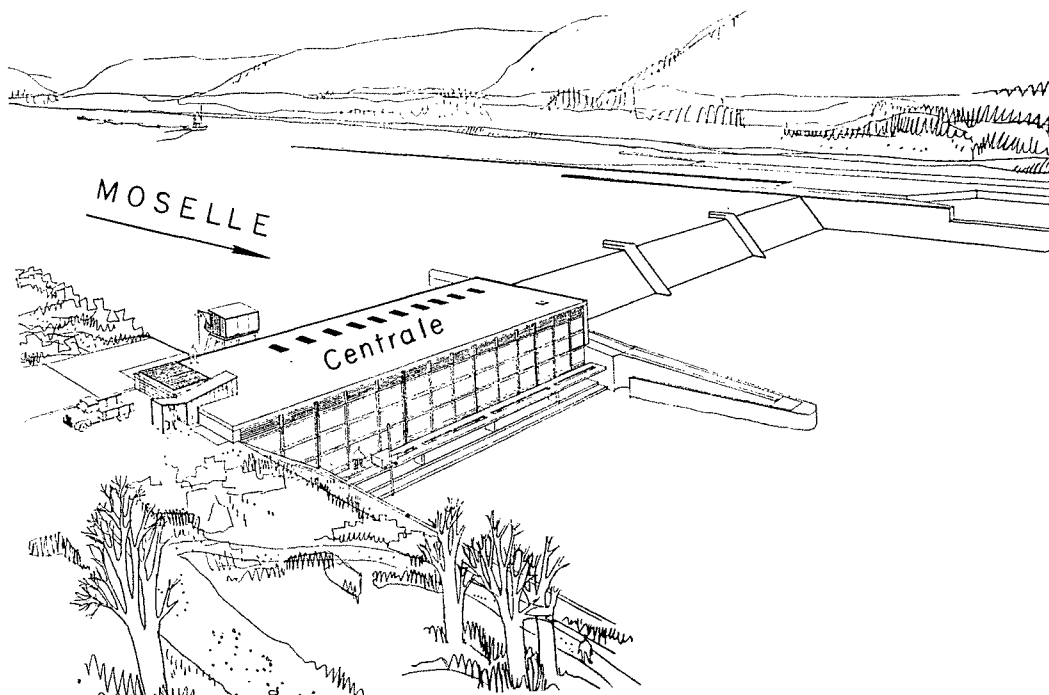


FIG. 6

Vue de l'aménagement de Trèves avec sa centrale.

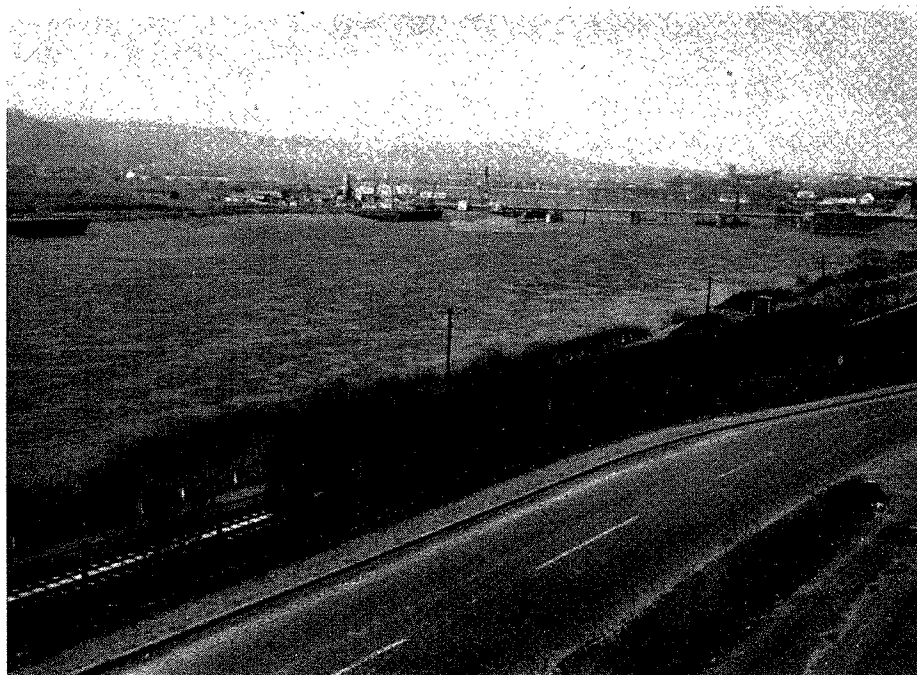


FIG. 7 a₁)
Vue générale près de l'amont.

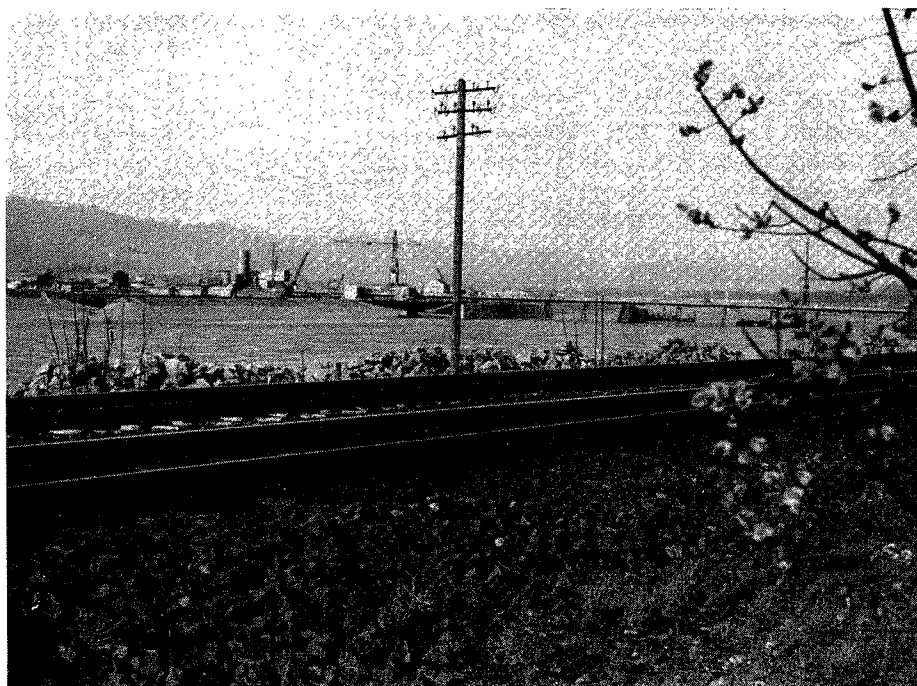


FIG 7a₂)
Etage de retenue de Trèves en construction (état d'avancement en mars 1960).

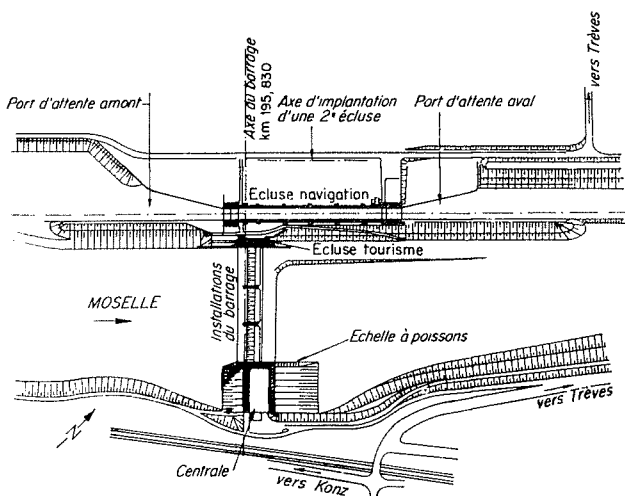


FIG. 7 b)

Plan d'ensemble de l'étage de retenue de Trèves.

celle-ci fut implantée sur la Moselle en amont de ce pont au km 195.83. Le largeur de la rivière était ici suffisante et permettait une bonne adaptation des ouvrages au paysage [20].

Compte tenu de l'agglomération très étendue située en amont, la hauteur de retenue a été fixée à 7,25 m. L'assèchement de quelques parties de l'agglomération situées en contre-bas exige partiellement l'aménagement de surélévations et de digues ainsi que de réseaux de drainage et d'ouvrages d'épuisement.

La retenue s'étend jusque dans la Sarre qui se jette dans la Moselle près de Konz ainsi que jusque dans la Sure, dont l'embouchure est près de Wasserbillig. Sur l'Our — un affluent de la Sure —, le Benelux, la France, la Suisse ainsi que l'Allemagne de l'Ouest construisent à Vianden (Luxembourg) la plus grande centrale d'accumulation par pompage du monde. Le bassin amont, situé sur le Nikolausberg à 300 m au-dessus de la vallée de l'Our, aura une capacité d'accumulation de $3 \cdot 10^6$ m³ d'eau. L'eau accumulée est amenée à la centrale souterraine par une conduite forcée d'un diamètre de 6,2 m. La longueur totale de cette centrale est de 175 m. Quatre unités de 340 MW et d'une production de pointe annuelle de $500 \cdot 10^6$ kWh seront installées ici pendant la première période d'aménagement. La Société Electrique de l'Our S.A. (SEO), fondée pour l'aménagement, a limité le 15 juin 1959 son capital actions à 500 000 000 fr. avec une participation de 40 % du Grand-Duché de Luxembourg. L'aménagement final prévoit pour cette installation 800 MW. La mise en service de la première machine est prévue pour l'automne 1962 [22].

Le barrage de l'aménagement de Trèves s'étend sur toute la longueur de la rivière. L'écluse se trouve sur la rive gauche, en dehors du lit

dans lequel la rivière coulait jusqu'à maintenant. La centrale est implantée dans la courbe de la rive droite. En même temps que cette installation, a été commencée celle de la chute de Detzem. La livraison des machines destinées aux aménagements de Trèves, Detzem et Lehmen a été demandée. La photo 7 montre la disposition de la chute de Trèves.

7. — Barrage de Trèves.

Le barrage comporte trois pertuis, chacun ayant une largeur intérieure de 40 m, et séparés par deux piles larges de 3,5 m [20]. L'écluse est reliée au barrage par une pile qui forme en même temps une paroi de la chambre de l'écluse à péniches. La centrale est reliée au barrage par une pile comportant une échelle à poissons en forme d'escalier. La commande du barrage est entièrement hydraulique et il tourne autour d'un axe à charnières placé sur le côté aval.

Le corps de barrage fixe en béton est implanté profondément afin de réserver le logement de la vanne à secteur. Ce logement lui-même reçoit le corps de la vanne à secteur mobile en acier, lorsque des débits plus élevés exigent l'ouverture partielle ou complète des vannes [20] (voir photo 8).

Afin de pouvoir abaisser l'organe mobile de fermeture, le seuil du barrage a été muni d'une saillie d'une hauteur de 1,75 m au-dessus du lit de rivière et d'une forme favorable du point de vue hydraulique. Des essais sur modèle ont prouvé que ce rehaussement du seuil du barrage n'a pas une influence défavorable sur le transport des matériaux et l'évacuation des crues.

Il n'a pas été nécessaire de prévoir une passerelle au-dessus de l'eau, la galerie de service — déjà mentionnée — dans le corps du barrage permettant la liaison entre l'écluse, le barrage et la centrale.

L'ouverture et la fermeture des vannes à secteur est obtenue par la pression même de l'eau en reliant les logements des secteurs au moyen de conduites dans les piles avec l'amont et l'aval.

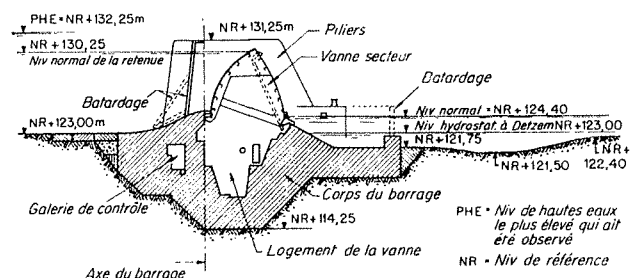


FIG. 8

Coupe transversale du barrage de Trèves.

Les fermetures à secteur ne nécessitent donc pas de dispositifs de démarrage mécanique.

Une faible hauteur des piles, qui ne dépassent que de 1 m la cote de retenue normale en amont, est obtenue par ce système. Les piles sont accessibles par la galerie de service dans le corps du barrage.

Des tuyaux renfermant des fascines ont été ménagés dans les piles afin de permettre aux anguilles, qui ne remontent pas par l'échelle à poissons, de passer d'aval en amont.

Les piles du barrage, ainsi que toute l'installation d'écluse, sont submergés de 1 m lors des plus hautes eaux.

8. — Installation d'écluses.

L'installation d'écluses comporte l'écluse destinée au passage des grands bateaux de 1 500 t avec une longueur utile de 170 m et une largeur de 12 m. D'autre part, elle comprend des ports d'attente et des jetées de séparation. L'écluse à péniches destinée aux petits bateaux a une longueur utile de 18 m et une largeur de 3,5 m. Une seconde écluse à bateaux a été prévue du côté de la berge avec une longueur utile de 170 m et une largeur de 20 m. Le port d'attente amont de la chute de Trèves possède déjà la largeur requise.

Afin de satisfaire aux exigences de la propulsion par pousseurs, qui nécessite des entrées et sorties rectilignes, les jetées de séparation forment un prolongement rectiligne de la paroi de l'écluse située du côté de la rivière.

Les dimensions de l'écluse à bateaux permettent le passage de deux bateaux de 1 500 t ayant chacun une longueur de 80 m, une largeur de 10,5 m et un tirant d'eau de 2,5 m [20].

Le temps de remplissage ou de vidange de l'écluse est d'environ sept minutes avec un niveau aval moyen.

L'écluse à péniches se trouve directement à côté du barrage. L'entrée et la sortie en sont complètement séparées des installations destinées au passage des grands bateaux, ce qui évite que les embarcations ne se gênent mutuellement dans leurs manœuvres. Les portes busquées de l'écluse sont à un battant et à fonctionnement hydraulique. Leur fonctionnement est commandé directement par l'utilisateur.

Pour le passage des petits canots de sport, notamment des nombreux berthons qui circulent pendant la saison d'été à travers la vallée pleine de charme de la Moselle, un passage a été prévu où les sportifs peuvent porter leurs canots.

Il faut encore mentionner que l'écluse destinée aux grands bateaux sera de construction massive.

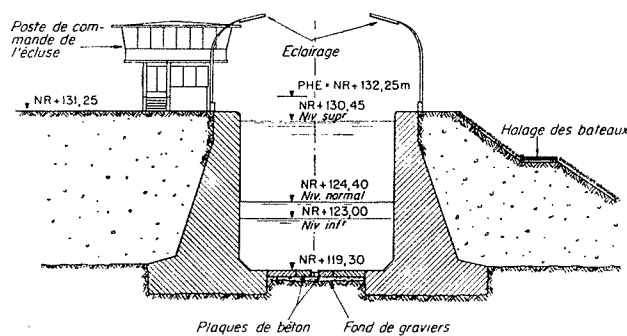


FIG. 9

Coupe transversale de l'écluse à chalands, largeur 12 m, longueur utile 170 m, pour des bateaux de 1 500 t.

Les bajoyers sont ancrés par leur propre poids. Le fond perméable est simplement recouvert de plaques en ciment. La photo n° 9 montre la coupe transversale de l'écluse à bateaux. La tête amont est munie d'une porte qui peut être abaissée ou relevée et qui permet l'évacuation des crues. La tête aval est munie d'une porte busquée à fonctionnement hydraulique. Ceci supprime les postes de commande de chaque côté et, par suite, des constructions gênantes [20].

9. — Centrale.

Ainsi que nous l'avons déjà dit, la centrale est, comme le barrage et les installations d'écluse, de construction aussi basse que possible.

Les quatre turbines axiales, avec une capacité d'absorption $Q = 380 \text{ m}^3/\text{s}$, ont déjà été mentionnées (voir photo n° 5). Ces unités Kaplan à double réglage sont munies d'une transmission intermédiaire entre la turbine et la génératrice. Cette dernière se trouve dans un carter situé entièrement dans le courant. Pour des raisons hydrauliques, ce carter doit avoir un faible diamètre. Ceci réduit les dimensions de la génératrice, en permettant une grande vitesse de rotation. En effet, les hauteurs de chute d'eau sur la Moselle étant faibles, les vitesses de rotation des turbines sont de l'ordre de 70 à 90 tr/mn. Pour ces motifs, des engrenages épicycloïdaux, donnant un rapport de 1 à 10, ont été prévus. On obtient ainsi une faible perte de rendement, de 1 à 1,5 % environ, qui est compensée par une vitesse de rotation plus élevée de la génératrice.

La puissance électrique maximale produite par les dix centrales, soit au total 165 MW, est reprise par le réseau interconnecté à haute tension fonctionnant en parallèle avec la France, le Benelux et les nations alpines. Cette puissance totale peut se réduire à 10 MW lors des basses eaux. La compensation est assurée au moyen du fonctionne-

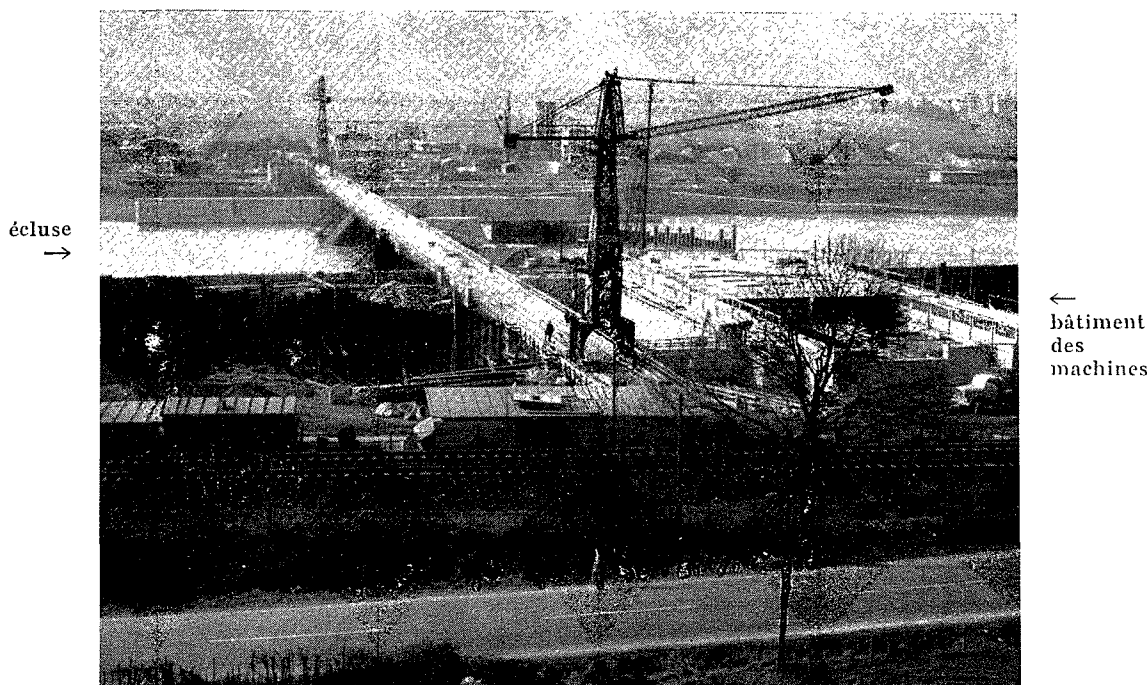


FIG. 10

Etage de retenue de Trèves en construction (état d'avancement en mars 1960).

ment par « écluses » (voir les explications données plus loin).

10. — Travaux de construction et frais.

Les débits de la Moselle étant très élevés pendant les mois d'hiver, il n'est pas possible d'effectuer des travaux dans le lit de la rivière pendant cette période. Durant les autres saisons, le batardage pour un pertuis cause déjà un rétrécissement considérable de la section d'écoulement, ne permettant pas d'autres aménagements. Il en résulte, pour les trois pertuis, une durée de construction totale s'étendant sur trois étés, donc deux ans et demi au moins [20].

La construction de l'écluse et de la centrale qui, pour la majeure partie, se trouvent en dehors du lit de la rivière, peut s'effectuer aussi bien pendant les mois d'hiver.

Les travaux de construction pour le pertuis de gauche ont commencé au cours du mois de mars 1958. La construction des batardeaux ainsi que les travaux d'excavation ont été effectués pendant cette même période. D'autre part, on a procédé au bétonnage des seuils de barrage et des piles. Le montage des volets secteurs a été accéléré de façon à pouvoir procéder aux essais et à la mise en service des pertuis en novembre 1958 avant les crues hivernales. Pendant cette période, les tra-

voux de construction de l'écluse avaient été commencés et conduits de façon accélérée [20].

Le montage des portes d'écluse a eu lieu pendant l'été 1959. Comme le montre la photo 10, la construction de la centrale a commencé. Elle sera terminée pendant l'automne 1960 en même temps que celle du dernier pertuis.

Les délais de construction mentionnés sont extrêmement courts. L'aménagement du Main dure déjà depuis plus de cinquante ans. La canalisation du Neckar a été commencée en 1920. Quarante ans plus tard, le port de Stuttgart a été mis en service. Ces exemples montrent suffisamment la durée de construction remarquablement courte que l'on essaie d'obtenir pour la canalisation de la Moselle afin d'établir le plus vite possible la liaison entre la Lorraine et le bassin de la Ruhr ainsi que les ports maritimes.

Dans six à sept ans, la Moselle sera canalisée sur une longueur de 270 km allant de Thionville à Coblenze.

Ces importantes constructions — pour apporter ici quelques chiffres — comporteront, uniquement pour le barrage et l'écluse, sans tenir compte de la centrale :

- environ 500 000 m³ de terrassements (terre et rocher);
- environ 65 000 m³ de béton armé;

- environ 30 000 m³ de palplanches en acier;
- environ 650 t d'ouvrages de montage en acier.

Les frais de construction de la chute de Trèves s'élèvent à 20 millions de DM environ. La totalité des frais pour les installations de navigation, les digues et les centrales s'élèveront — suivant le barème de construction actuel — à environ 650 millions de DM. Un peu plus de 40 % de cette somme seront supportés par les sociétés françaises, environ 20 % par l'Allemagne de l'Ouest.

11. — Fonctionnement par éclusées.

Nous avons déjà parlé des variations de débits de la Moselle (voir photo 3). Elles correspondent aux caractéristiques hydrologiques d'une rivière de montagne moyenne. Les variations vont de 25 m³/s au minimum à 4 100 m³/maximum.

Pendant les mois d'été, il existe de longues périodes de basses eaux avec des débits allant de 1/6° à 1/10° du débit moyen (25 à 50 m³/s).

Le fonctionnement par éclusées — appliqué en Allemagne sur l'Isar, la Lech et le Neckar — pallie cette réduction d'énergie : lorsque les débits sont faibles, l'eau est retenue dans le bassin amont et évacuée par plusieurs centrales au moment des besoins de pointe du réseau. Un bassin aval fait la compensation par l'accumulation de l'eau et son évacuation régulière vers l'aval. Le fonctionnement par éclusées s'étendra — après achèvement des travaux d'installation — sur un tronçon de la Moselle long de 200 km.

Les possibilités d'accumulation du bassin amont près de Trèves et du bassin aval près de Coblenz ne sont que de 1,6.10⁶ m³ pour chaque bassin. Compte tenu de la navigation, des variations du niveau de retenue supérieures à 0,6 m sont inadmissibles.

La puissance maximale de 165 MW produite dans les dix centrales implantées sur la Moselle peut s'abaisser à 10 MW lors des basses eaux. Le fonctionnement par éclusées permet une augmentation considérable (jusqu'à 110 MW environ) des possibilités de pointe, même lors des basses

eaux. Une réduction de la hauteur de chute entraîne évidemment une réduction du nombre de kWh exploitables. Le fonctionnement par éclusées diminuera probablement de 4 à 6 % environ la production moyenne d'énergie électrique annuelle. Les variations du débit seront cependant équilibrées par le système d'interconnexion nécessitant surtout des kW et non des kWh pour couvrir les besoins de pointe. Une amélioration des conditions peut être obtenue au moyen de l'accumulation par pompage.

12. — Centrales d'accumulation par pompage.

Nous avons déjà mentionné la petite centrale d'accumulation par pompage sur la Dhron, d'une puissance de 8 MW, ainsi que l'installation de Vianden, au Luxembourg, en cours de construction, qui aura, une fois terminée, une puissance totale de 800 MW.

Après l'achèvement des travaux de canalisation, d'autres centrales d'accumulation par pompage sont prévues sur la Moselle. La chute de 280 à 350 m due aux différents niveaux de la Moselle fournit des conditions naturelles favorables pour l'installation de telles centrales de pompage. Il faut encore ajouter que les collines étant parfois proches du lit de la Moselle, il s'ensuit de plus courtes liaisons entre le bassin amont et le bassin aval. D'autre part, les bassins de retenue du tronçon de canalisation peuvent être utilisés en complément pour l'utilisation par pompage.

En vue de protéger le paysage, les futures centrales de pompage sur la Moselle seront aménagées dans le rocher (usines souterraines).

L'existence des diverses retenues, permettant l'aménagement de plusieurs centrales d'accumulation par pompage à grande puissance, dans la section située entre Trèves et Coblenz. La centrale de pompage « Untermosel », entre Müden-Lehmen-Coblenz, est prévue pour quatre groupes de machines d'une puissance de 90 MW chacun. On dispose d'une chute utile moyenne de 300 m pour une puissance totale de 360 MW. Le débit maximal turbiné est de 150 m³/s, le débit pompé de 80 m³/s.

BIBLIOGRAPHIE

- [1] MATHARD. — Die Rheinlande, Bd. 2 : Die Mosel.
- [2] TRINIUS (A.). — Die Mosel und ihre Burgen (1926).
- [3] KRETZSCHMAR (B.). — Die Zukunft der europäischen Energiewirtschaft. *Rheinischer Merkur*, Koblenz, Nr. 39, v. 18-10-1947.
- [4] KRETZSCHMAR (B.). — Die Mosel im Rahmen europäischer Planungsarbeiten. *Trierische Volkszeitung*, Nr. 88 (1948).
- [5] KRETZSCHMAR (B.). — Mehr Elektrizität für Europa. Verstärkter Einsatz der Wasserkraft zur Stromgewinnung. *Allgemeine Zeitung Mainz*, 19-9-1949.

- [6] KRETZSCHMAR (B.). — Strommangel, eine europäische Erscheinung. Langfristige, umfangreiche Ausbaupläne in fast allen europäischen Ländern. *Allgemeine Kölnische Zeitung*, 8-10-1948.
- [7] KRETZSCHMAR (B.). — Ausbau von Wasserkräften zum Wiederaufbau Europas. *Frankfurter Neue Presse*, Nr. 165, v. 22-10-1948
- [8] KRETZSCHMAR (B.). — Strom zwischen Saar und Ruhr. Auftakt zur europäischen Verbundwirtschaft. *Allgemeine Zeitung Mainz*, 16-1-1948.
- [9] KRETZSCHMAR (B.). — Europa muss noch mehr Strom erzeugen. Stromeinschränkungen sind nicht nur eine deutsche Krise. *Allgemeine Zeitung Mainz*, Nr. 204, v. 4-11-1948.
- [10] KRETZSCHMAR (B.). — Stromerzeugung finanziert neue Wasserwege. Mosel und Rhein-Main-Donau Kanal werden ausgebaut. *Allgemeine Zeitung Mainz*, Nr. 244, v. 22-12-1948.
- [11] KRETZSCHMAR (B.). — Europäische Verbundwirtschaft Wirtschaftszeitung, Nr. 39, v. 24-9-1948.
- [12] KRETZSCHMAR (B.). — Europa muss noch mehr Strom erzeugen. Zeitung « *Der Schlüssel* », v. 14-8-1949.
- [13] KRETZSCHMAR (B.). — Was ist Verbundwirtschaft? *Rheinischer Merkur*, Koblenz, Nr. 8, v. 19-2-1949.
- [14] KRETZSCHMAR (B.). — Die Bedeutung der primären Energieträger für die Struktur der öffentlichen Elektrizitätswirtschaft in Frankreich unter besonderer Berücksichtigung der technischen Probleme des Verbundbetriebes. *Diss. Techn. Hochschule Aachen*, 1942.
- [15] Energie Heute. Veröffentlichungen anlässlich der 5. *Volltagung der Weltkraftkonferenz in Wien*, 1956.
- [16] VALERIO (G.). — Prospettive di sviluppo dell'industria elettrica in Europa. *Quad. Studi et Notizie*, Bd. 15 (1959), S. 503-511.
- [17] VALERIO (G.). — Perspectives de développement de l'industrie électrique en Europe. *L'Economie électrique*, vol. 33 (1959), n° 20, p. 119-133.
- [18] KRETZSCHMAR (B.). — Die Elektrizitätswirtschaft in den Vereinigten Staaten von Amerika bis 1975. *VDI Nachrichten*, Nr. 19, v. 12-9-1959.
- [19] PFISTERER (E.). — Erschliessung der Wasserkräfte in « *Energie aujourd'hui* ». 5. *Volltagung der Weltkraftkonferenz*, 1956, Wien, Bd. 2.
- [20] HORMANN (W.). — Vom Bau der Staustufe Trier. *VDI Nachrichten*, Nr. 8 v. 11-4-1959, Seite 9.
- [21] Die Wasserkraftwirtschaft Deutschlands, Festschrift zur *Weltkraftkonferenz*, Berlin, 1930.
- [22] KRETZSCHMAR (B.). — Pumpspeicherwerk Vianden an der Our. *BWK*, 11 (1959), Nr. 12.

Important bureau d'études recherche
1° DESSINATEUR-PROJETEUR
spécialiste eau et assainissement. Résidence Paris
2° TOPOGRAPHE
ayant expérience observations hydrologiques
Résidence Outre-Mer
3° INGÉNIEUR V.R.D.
Résidence Outre-Mer
B.C.E.O.M., 90, boulevard Latour-Maubourg, PARIS

Important Bureau d'études recherche
INGÉNIEURS HYDRAULICIENS
spécialistes adduction d'eau
INGÉNIEURS E.T.P.
Ouvrage d'art béton armé pour études outre-mer
B.C.E.O.M., 90, boulevard Latour-Maubourg, PARIS