

Zeitschrift: Wasser- und Energiewirtschaft = Cours d'eau et énergie
Herausgeber: Schweizerischer Wasserwirtschaftsverband
Band: 53 (1961)
Heft: 1-3

Artikel: Weltkraftkonferenz Madrid
Autor: Töndury, G.A. / Etienne, E.H. / Saudan, R.
Kapitel: 7: Voyage d'études dans le nord-ouest de l'Espagne
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-920742>

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: 17.05.2025

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

G. Voyage d'études dans le nord-ouest de l'Espagne

par *Fernand Chavaz*, ingénieur EPF, sous-directeur du Service fédéral des eaux, Berne

DK 621.29 : 91 (46)

Le matin du 10 juin 1960, une soixantaine de congressistes, répartis en 3 autocars selon la langue officielle choisie: français, anglais ou espagnol, quittaient Madrid pour un périple de 8 jours qui devait les conduire au travers des anciennes provinces de la Castille, du Léon et de la Galice jusqu'à la frontière du Portugal et sur le littoral atlantique (fig. 32). Pèlerins de l'ère moderne, ils se réjouissaient de suivre les traces de leurs ancêtres en visitant les cités fameuses d'Avila, Salamanque (fig.33) et St-Jacques de Compostelle (fig. 46) comme aussi de pouvoir visiter les importants aménagements hydroélectriques prévus au programme. Disons d'emblée que leur attente ne fut pas déçue et qu'ils se souviendront toujours avec un plaisir particulier de ces belles et intéressantes journées passées dans une atmosphère des plus sympathiques.

Voici quelques indications concernant les installations visitées, celles-ci étant données dans l'ordre de ces visites et sous le titre des sociétés auxquelles ces installations appartiennent.

I. Iberduero

Le Douro¹, un des plus grands fleuves de la péninsule ibérique, forme la frontière entre l'Espagne et le Portugal sur une centaine de kilomètres. Du point de vue énergétique, c'est la partie la plus intéressante de son cours. En effet, le débit naturellement très irrégulier est déjà fortement régularisé par l'aménagement de Ricobayo sur l'Esla — un des principaux affluents

du Douro — qui comporte une retenue de 1200 millions de m³. C'est aussi le long de ce tronçon international où le fleuve coule au fond de gorges granitiques très encaissées que sa pente est particulièrement forte puisqu'il s'abaisse de 400 m environ.

Sur ce parcours frontalier, le partage des forces hydrauliques du Douro a été réglé par une convention hispano-portugaise conclue en 1927. A l'encontre de la solution classique dans laquelle les deux Etats riverains de cours d'eau contigus se partagent les droits de souveraineté de chaque usine aménagée sur de tels tronçons, l'Espagne et le Portugal ont partagé les forces hydrauliques de la section commune du Douro en trois parties successives dont les deux extrêmes ont été attribuées au Portugal et la médiane à l'Espagne, la chute brute totale revenant à chaque pays étant la même. Chaque pays peut alors aménager le ou les tronçons qui lui ont été attribués comme si, le long de ce ou ces sections, le fleuve et ses deux rives lui appartenaient intégralement. La convention internationale prévoit toutefois que les ouvrages de dérivation et les centrales seront situées sur le territoire du pays auquel a été attribué la section de cours d'eau correspondante. Cette dernière clause peut, dans certains cas, nécessiter le choix de dispositions qui ne sont peut-être pas les plus économiques. Par contre, l'exécution des travaux d'une chute donnée, comme si l'ensemble du territoire affecté par ceux-ci appartenait au même pays, simplifie beaucoup l'exécution de ces travaux et l'exploitation ultérieure des usines.

¹ en espagnol Duero

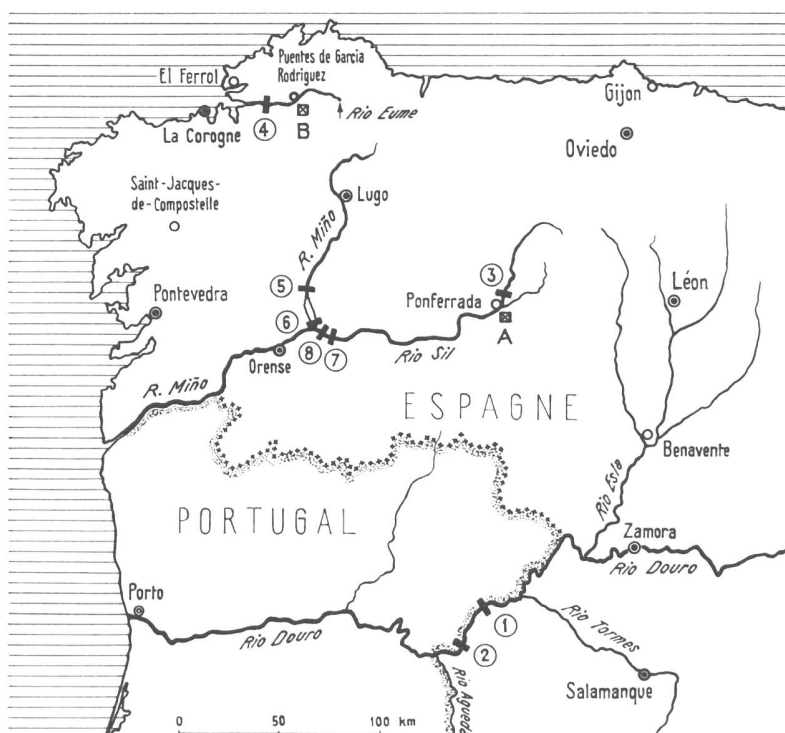


Fig. 32
Voyage d'études dans le N.-O. de l'Espagne
Emplacements des usines visitées

Centrales hydroélectriques:

- | | |
|---------------|---------------|
| 1 Aldeadávila | 5 Belesar |
| 2 Saucelle | 6 Los Peares |
| 3 Barcena | 7 San Esteban |
| 4 Eume | 8 San Pedro |

Centrales thermiques

A Compostilla I et II
B Puentes



Fig. 33 Salamanque, portail en style plateresque de l'Université, fondée en 1200

La convention ne prévoit aucune compensation spéciale pour l'Espagne bien qu'en 1927 ce pays avait déjà prévu d'aménager l'Esla. Par contre, on lui a attribué le tronçon situé à l'aval du confluent du rio Tormes car alors déjà elle envisageait de régulariser aussi ce cours d'eau. Quant à la chute de 10 m comprise entre les embouchures des rios Huebra et Agueda, elle a donc été réservée au Portugal qui a prévu de l'utiliser en l'incorporant au remous de sa future usine aval de Pocinho.

Pour faciliter l'application de la convention, une commission hispano-portugaise ad hoc a été créée. Son rôle consiste à régler l'exercice des droits bilatéraux et à éclaircir les questions juridiques et techniques résultant de cette situation. En cas de désaccord entre les gouvernements au sujet de l'interprétation de la convention, il est prévu que les questions en litige seront soumises à un tribunal arbitral formé par les membres de la commission précitée et présidé par un superarbitre désigné par le Tribunal permanent de Justice Internationale de la Haye s'il s'agit d'une question juridique, ou par l'Ecole Polytechnique fédérale de Zurich s'il s'agit d'une question technique.

Cette commission a effectué ses travaux jusqu'à maintenant dans la plus grande harmonie. Aujourd'hui, on envisage de conclure une nouvelle convention étendant le champ d'application de celle de 1927, non seulement au rio Agueda qui forme la frontière hispano-portugaise plus à l'aval, mais encore à tous les tronçons de cours d'eau communs aux deux pays.

*Caractéristiques des chutes aménagées
ou en cours d'aménagement par l'Espagne
sur le Douro moyen*

	Rico- bayo	Villal- campo	Castro	Aldea- dávila	Sau- celle
Hauteur maximum du barrage m	95	46	53	138	83
Volume de béton du barrage 10^3 m^3	380	200	90	850	230
Capacité de la retenue 10^6 m^3	1200	61	38	115	170
Longueur de la retenue km	60	37	18	24	24
Chute brute m	85	39	39	139	62
Débit moyen annuel m^3/s	60	315	320	350	360
Débit moyen équipé m^3/s	200	300	260	600	470
Débit maximum des organes d'évacuation des crues m^3/s	5800	8500	11 200	10 600	12 500
Nombre de groupes	4	3	2	6	4
Puissance installée MVA	150	96	84	750	300
Production permanente annuelle GWh	430	360	320	1800	800
Production moyenne annuelle GWh	550	500	500	2400	1050
Année de mise en service	1935	1949	1952	en constr.	1956

La convention de 1927 a permis de réaliser des aménagements très importants (voir fig. 34 et 35 ainsi que le tableau ci-dessus des caractéristiques des chutes aménagées ou en cours d'aménagement par l'Espagne sur le Douro moyen). De son côté, le Portugal a construit les usines de Miranda et de Picote, qui comprennent d'importantes fournitures suisses, et envisage de



Fig. 34 Aménagement du Douro hispano-portugais. Situation

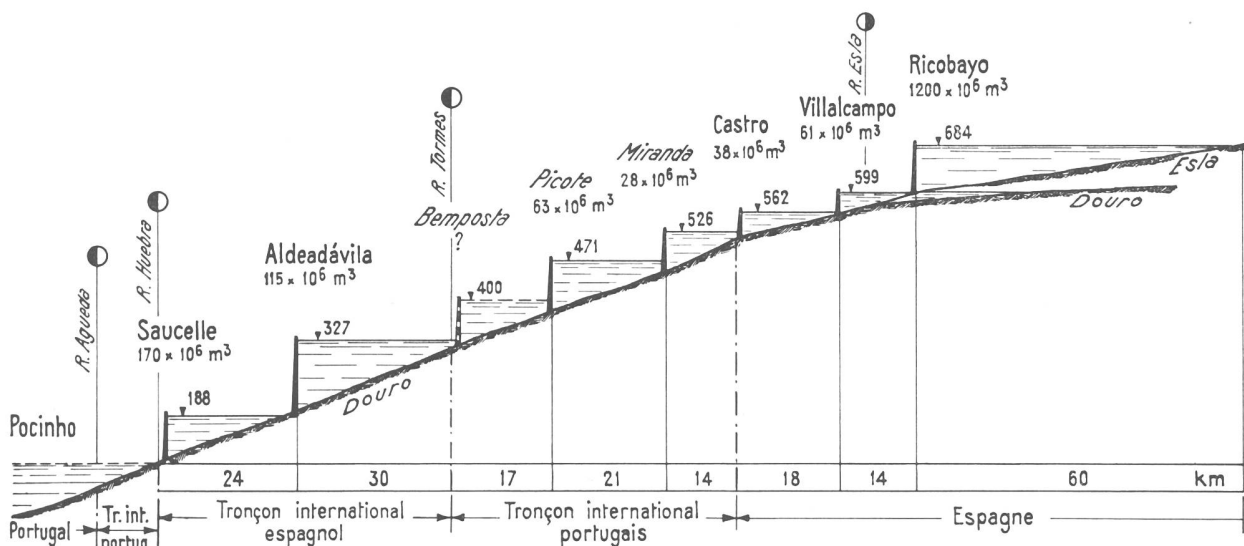


Fig. 35 Aménagement du Douro hispano-portugais. Profil en long schématique

commencer prochainement celle de Bemposta. Mais c'est avant tout sur les deux dernières usines du tronçon espagnol — spécialement sur celle en cours de réalisation d'Aldeadávila — que nous aimerions donner quelques indications, non seulement parce que ce sont celles que nous avons visitées au cours de notre tournée, mais aussi parce qu'il s'agit d'usines remarquables à plus d'un titre.

Usine de Saucelle

La disposition générale de cette usine, en service depuis 1956, ainsi que ses principaux ouvrages resser-

tent clairement de la photographie annexée (fig. 36). Le barrage déversoir, capable d'évacuer à lui seul 11 200 m³/s, est du type poids-voûte. Deux galeries parallèles de 8,90 m de diamètre conduisent les eaux captées dans une chambre de mise en charge à ciel ouvert. De là, chaque groupe (turbine Voith, alternateur Alsthom) est alimenté séparément. Quant à la centrale, elle ne comporte pas de halle élevée au-dessus des groupes, mais un portique, d'une force de levage de 325 tonnes et se déplaçant au-dessus du toit, permet de transporter ces groupes dans un local où l'on peut procéder à leur révision à l'abri des intempéries.



Fig. 36
Usine de Saucelle

En 1959, l'usine de Saucelle, dont la puissance installée est de 300 000 kVA a produit 1246 GWh, ce qui l'a placée au premier rang de toutes les usines espagnoles en exploitation.

Chute d'Aldeadávila

Cette chute est donc actuellement en cours de construction. Le barrage-déversoir, du type poids arqué comme à Saucelle, permettra d'évacuer 10 000 m³/s à lui seul, chacune des 8 travées commandant le déversoir étant obturée par une vanne segment de 14 m de largeur et de 8,30 m de hauteur. La forme du parement aval du barrage a été étudiée sur modèle réduit de telle sorte que les eaux déversées ne retombent dans le lit du fleuve qu'à la grande distance de 80 à 120 m du pied aval du barrage (fig. 37). De la prise d'eau, adjacente au barrage, partent les 6 conduites amenant l'eau à la centrale souterraine (fig. 38). Quant à la décharge des turbines du type Francis construites par Neyrpic, elle est collectée par deux galeries de fuite de 500 m de longueur et de 137 m² de section utile, recevant chacune les eaux provenant de 3 groupes. Tous les transformateurs élevant la tension de 13,2 kV à 230 kV, soit au total 19, c'est-à-dire 3 transformateurs monophasés par groupes et un de réserve, sont logés dans une chambre souterraine parallèle à la centrale proprement dite, mais aménagée au-dessus des cheminées d'équilibre. Quant au poste de couplage, il est situé sur le plateau, à près de 300 m au-dessus de la salle des transformateurs avec laquelle il est relié par un puits vertical — pourvu d'un ascenseur et d'un escalier hélicoïdal — donnant passage aux câbles Pirelli de 230 kV.

Lors de notre visite, les travaux, commencés en 1957, étaient en pleine activité. On commençait à bétonner

le barrage — les agrégats du béton provenant du concassage des excavations des galeries — alors que les ouvrages de prise étaient déjà très avancés (fig. 39). Dans la centrale souterraine de dimensions impressionnantes (longueur 140 m, hauteur totale 52 m), on procédait au montage de la première spirale. A noter la qualité exceptionnelle du granit qui permet de laisser sans revêtement la voûte et les parois (fig. 40), exception faite d'un gunitage en certains endroits. Quant aux galeries de fuite, leurs dimensions sont telles que la perforation est effectuée au moyen de deux jumbos juxtaposés; ainsi, on peut procéder à la perforation d'une nouvelle volée sur l'une des moitiés du front d'attaque alors que le marinage de l'autre moitié n'est pas encore terminé. On prévoit de mettre en service les 3 premiers groupes dans 2 ans, les 3 autres l'année suivante.

Une fois terminée, l'usine d'Aldeadávila sera la plus importante d'Espagne. Avec ses 750 000 kVA installés, ce sera aussi la centrale hydroélectrique la plus puis-

Fig. 37 Usine d'Aldeadávila.
Coupe par le barrage ▼

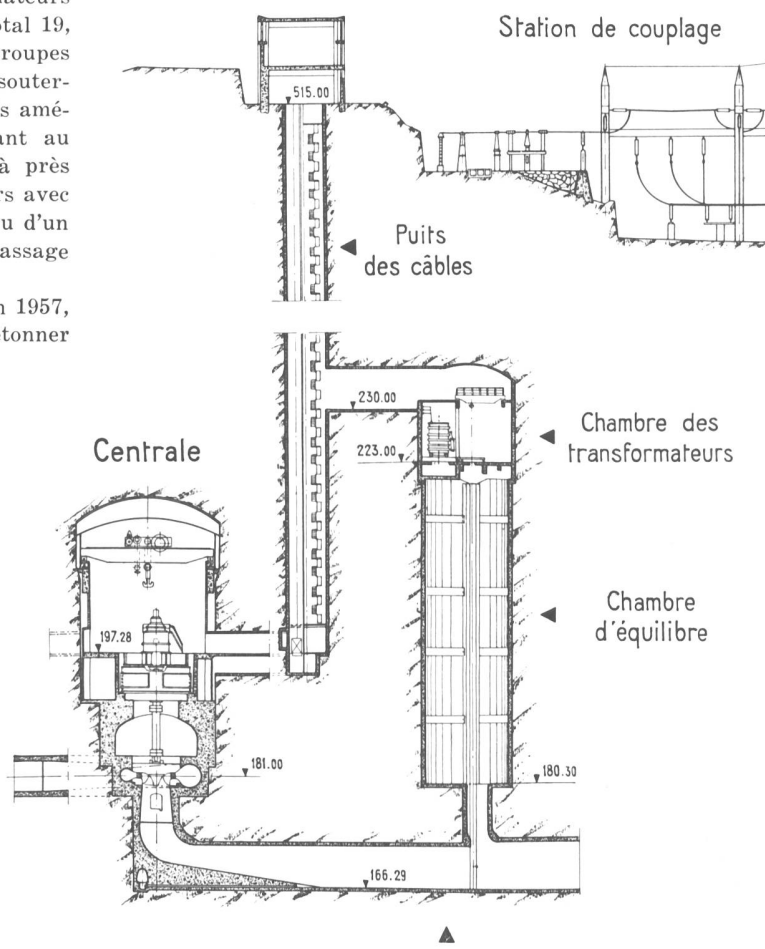
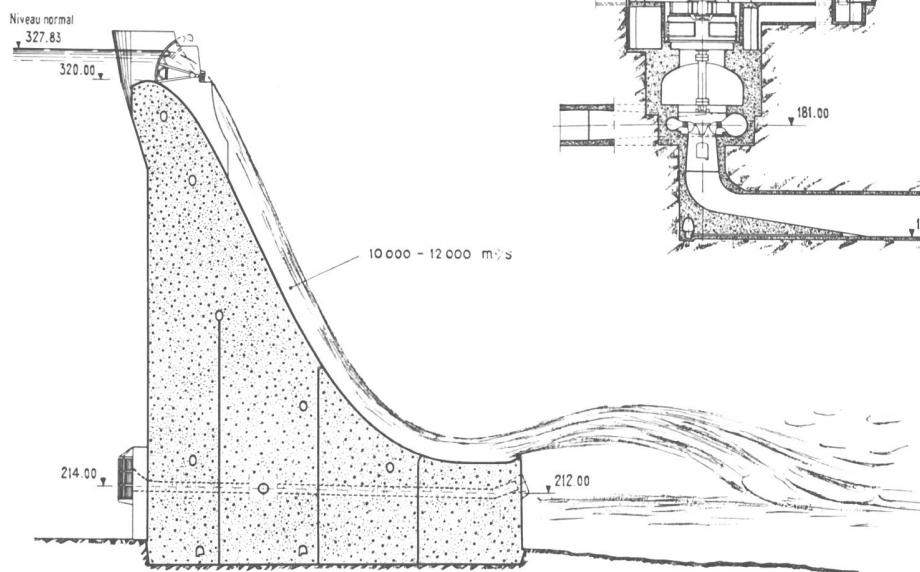


Fig. 38 Usine d'Aldeadávila.
Coupe par la centrale et la chambre d'équilibre ▲



Fig. 39 Usine d'Aldeadávila.
Fondations du barrage et prise d'eau

sante de l'Europe occidentale. Quant à sa production annuelle, elle sera de 2400 GWh en moyenne, la production permanente, c'est-à-dire l'énergie régularisée minimum disponible 9 années sur 10 étant de 1800 à 2000 GWh.

Nous ne saurions achever ces courtes notes sans relever l'excellente impression qu'a laissée la visite de ce chantier d'une ampleur exceptionnelle à tous les participants du voyage d'études. Partout on utilise les procédés et le matériel d'équipement les plus modernes. La grande distance qui sépare le chantier des agglomérations les plus proches a nécessité la construction de nombreux bâtiments et barraquements pour loger le personnel employé aux travaux; dans ce domaine aussi, on n'a rien négligé pour que ces logements ainsi que les bâtiments auxiliaires nécessaires à une population de près de 2000 personnes répondent aux exigences actuelles.

Toutes les usines espagnoles du Douro moyen sont étudiées et construites en régie directe par le maître de

l'œuvre l'Iberduero S.A. à Bilbao. Un des rares collaborateurs extérieurs qu'elle consulte depuis de nombreuses années est le Dr h. c. A. Kaech, ingénieur-conseil à Berne. C'est ainsi que ce dernier a participé à l'établissement du projet et à l'exécution de l'aménagement de Aldeadávila et qu'il examine actuellement le projet d'aménagement du Rio Tormes établi par Iberduero. On envisage de créer sur ce cours d'eau, à une quinzaine de kilomètres de son confluent avec le Douro, un barrage de 190 m de hauteur. La retenue qu'il créerait contiendrait 2,5 milliards de m³, ce qui permettrait d'assurer la régularisation interannuelle du Tormes et même du Douro plus à l'aval. Quant à la chute brute de 400 m environ comprise entre la retenue et le Douro, elle serait équipée non seulement de 4 groupes turboalternateurs absorbant 40 m³/s chacun et développant une puissance totale de 500 000 kW, mais encore de 2 pompes d'une capacité globale de 80 m³/s ce qui ferait de cet aménagement, destiné surtout à produire de l'énergie de qualité, le plus puissant de ce genre en Europe occidentale.

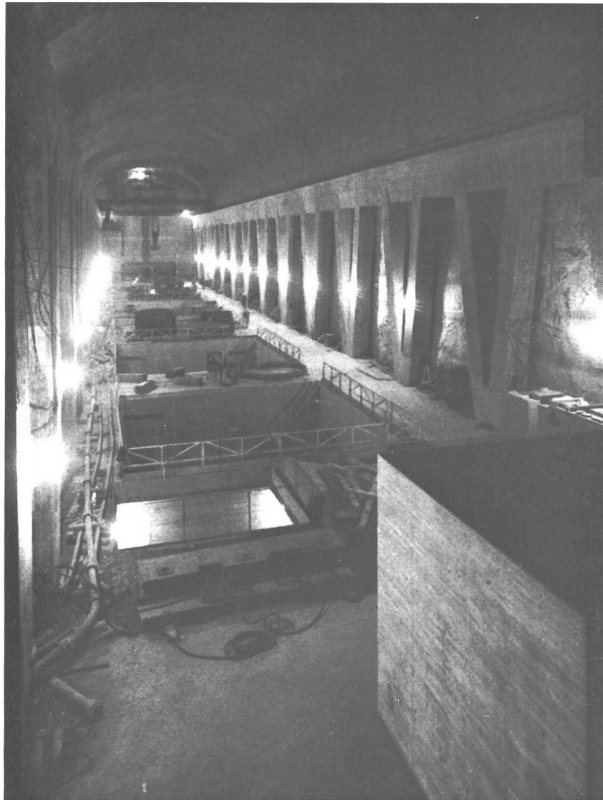


Fig. 40 Usine d'Aldeadávila. La centrale en cours de construction

Notons enfin qu'actuellement déjà, les usines en service de l'Iberduero ont une puissance de près d'un million de kW correspondant à une production annuelle de $3\frac{1}{2}$ milliards de kWh, ce qui représente le 20 % de la production totale de l'Espagne. Grâce aux grands projets que cette société met au point, sa production va pouvoir doubler et même tripler dans un proche avenir.

Signalons encore qu'actuellement déjà, Iberduero procède à des échanges d'énergie avec la France par l'intermédiaire de deux lignes à haute tension traversant les Pyrénées. Ces échanges sont basés sur le fait qu'en Espagne l'hydraulique est beaucoup plus favorable en hiver qu'en été. Ne verrons-nous pas un jour cette énergie d'hiver parvenir jusqu'en Suisse?

II. Empresa nacional de electricidad S. A. (ENESA)

Cette entreprise — filiale de l'Instituto Nacional de Industria (INI), le grand organisme d'Etat fondé en 1941 au lendemain de la guerre civile avec mission d'aider à la reconstruction du pays et au développement de son industrie — a été créée en 1944. Son but est de produire de l'énergie électrique, notamment en utilisant les anthracites de deuxième qualité du bassin du Léon, seule la première qualité trouvant des acquéreurs. A cet effet, ENESA a construit en plusieurs étapes s'échelonnant entre 1949 et 1956, la centrale thermique de Compostilla I, près de Ponferrada; celle-ci comprend actuellement 4 groupes turboalternateurs d'une puissance totale de 167 000 kW, soit 2 groupes Brown Boveri de 25 000 kW chacun et 2 groupes Oerlikon de

57 000 et 60 000 kW (température de la vapeur 435°C , pression 43 kg/cm^2).

A noter qu'ENESA dispose depuis 1946 d'une dizaine de centrales thermiques d'une puissance de 1000 à 5000 kW montées sur wagons de chemin de fer, donc faciles à transporter, qu'elle met à disposition des intéressés, surtout des ports maritimes. Elle dispose aussi, comme groupe mobile plus important, d'un ancien destroyer d'escorte qui, après avoir subi les transformations nécessaires, a été aménagé en centrale flottante remorquable de 9 MW. En été 1960, elle était en service dans le port de Barcelone.

Les bons résultats obtenus à Compostilla I et la présence de fines d'anthracites dans la région en quantités encore considérables ont incité ENESA à construire une deuxième centrale thermique à proximité de la première. Le premier groupe monobloc de cette nouvelle centrale — appelée Compostilla II et qui, une fois terminée en comprendra quatre — était en cours de montage lors de notre visite. Il s'agit d'un groupe de 125/140 MW Westinghouse (525°C , 125 kg/cm^2) dont la mise en service était prévue pour fin février 1961.

En ce qui concerne les aménagements hydroélectriques, ENESA a construit une première petite centrale au pied d'un barrage élevé sur la rivière voisine du Sil afin de disposer de l'eau de réfrigération nécessaire. Par la suite, elle a entrepris l'aménagement intégral d'un tronçon du Sil en commençant par l'usine de Barcena (72 MVA) déjà partiellement en service, alors que les usines plus à l'aval de Quereño (34 MVA) et de Cornatel (121 MVA) sont aussi en construction, mais à un stade moins avancé.

Voici quelques indications concernant l'usine de Barcena que nous avons visitée:

Le barrage à gravité, rectiligne, d'une hauteur maximum de 109 m, crée une retenue de 341 millions de m^3 , dont 281 utiles. L'évacuation des crues, d'un débit maximum de $1050\text{ m}^3/\text{s}$, a lieu en saut de ski par dessus le barrage. Quant à la centrale, totalement automatique et télécommandée à partir de la centrale thermique de Compostilla I, elle est située au pied du barrage et comporte 2 turbines Neyrpic, capables d'absorber $50\text{ m}^3/\text{s}$ chacune sous une chute de 84 m, ce qui donne une puissance maximum à la sortie des alternateurs Alsthom de $2 \times 36 = 72\text{ MVA}$ et une production d'énergie permanente annuelle de 135 GWh. Etant située à l'amont du tronçon du Sil aménagé par ENESA, la retenue de Barcena améliore aussi fortement la qualité et la quantité de l'énergie productible dans les usines d'aval.

Lors de notre visite, la centrale était déjà en service, mais sous une chute réduite. Il restait en effet à terminer la construction de 4 digues en terre destinées à obturer des dépressions du terrain sur la rive droite de la retenue, comme aussi celle de la prise de l'eau de refroidissement de Compostilla II qui proviendra et retournera à la retenue de Barcena où elle sera prélevée à un niveau inférieur de 40 m à celui de la retenue maximum.

L'exploitation en pointe de l'usine de Barcena sera coordonnée avec les besoins de l'irrigation d'une vaste zone agricole où l'on construit plusieurs villages modèles destinés à recevoir notamment les habitants de plusieurs localités submergées par la retenue. C'est la

raison pour laquelle, ici comme sur l'Alberche, la construction du barrage a été financée presque exclusivement par l'Etat.

III. Empresa nacional Calvo Sotelo (ENCASO)

Cette entreprise — fondée également par l'INI — a été créée en 1942 en vue d'obtenir notamment des carburants et des graisses minérales par distillation de roches bitumineuses. Elle a aussi pour mission d'utiliser des lignites sans valeur commerciale.

ENCASO a construit 3 complexes industriels dont celui de Garcia Rodriguez dans la province de La Corogne que nous avons visité. Dans cette région se trouvent d'importants gisements de lignite qui restaient pratiquement inutilisés. Par ailleurs, dès que l'hydraulique était faible, une pénurie d'énergie électrique sévissait. Enfin l'Espagne manque d'engrais azotés. Le complexe industriel de Garcia Rodriguez qui occupe près de 1000 personnes a été construit sous ce triple aspect. C'est ainsi qu'un gisement considérable de lignite, exploité à ciel ouvert à proximité des installations, alimente une usine thermique, en service depuis 1949, qui fournit l'énergie nécessaire non seulement à l'usine d'engrais qui fait partie intégrante du complexe mais encore au réseau alimentant la région en électricité. Le lignite intervient aussi directement dans la fabrication de l'ammoniaque, celle-ci étant obtenue par synthèse de ses deux éléments constitutifs, l'hydrogène et l'azote. L'hydrogène est obtenu par gazéification du lignite tandis que l'azote est extrait par fractionnement de l'air liquide sous basse pression. La production d'ammoniaque anhydre se monte à 90 tonnes par jour ce qui correspond en définitive à une production journalière de 325 à 350 tonnes d'engrais contenant 20,5% d'azote.

A l'état naturel, le lignite utilisé contient environ 45 % d'eau et 35 % de cendres; son pouvoir calorifique varie entre 1600 et 2800 Kcal par kg. Le gisement exploité contient 60 millions de tonnes, ce qui représente une réserve capable d'assurer la marche du complexe — aux rythmes actuels — d'une centaine d'années. En effet, la consommation est actuellement de l'ordre de 1200 à 1300 t par jour pour la centrale thermique et de 60 à 70 t pour la gazéification.

La centrale thermique comprend deux turbines Escher-Wyss équipées de chaudières Sulzer (435° C, 37 kg/cm²) accouplées à des alternateurs Brown-Boveri de 20 MVA chacun. Lors de notre visite, l'usine d'engrais absorbait elle-même une puissance de 8000 kW, celle-ci pouvant atteindre 14 000 kW en pleine charge. Seul un des groupes était alors en service, les débits très favorables cette année permettant aux usines hydro-électriques de la région d'assurer à elles seules l'alimentation du réseau général.

IV. Fuerzas Electricas del Noroeste S.A. (FENOSA)

Cette société privée a été constituée en 1943 pour mettre en valeur, conformément à son nom, les forces hydrauliques du nord-ouest de l'Espagne, celles-ci étant particulièrement favorables vu la topographie accidentée et le climat relativement humide de cette région. Alors qu'à cette époque, la Galice devait importer de

l'énergie électrique d'autres zones de production espagnoles pour subvenir à ses propres besoins, elle en exporte actuellement, grâce à sa liaison au réseau national, à 220 kV. Tout dernièrement, elle a même commencé à en exporter en France.

Notre groupe a eu l'occasion de visiter les usines suivantes de Fenosa:

1. Usine de Los Peares sur le Rio Miño

Terminée en 1953/54, elle était alors la centrale la plus importante d'Espagne, grâce à sa puissance installée de 187 MVA et à sa production annuelle de 450 GWh dont 350 de moyenne annuelle régularisée.

Le barrage-poids, curviligne, d'une hauteur de 94 m, a été fondé sur une intrusion de granit dans des schistes ardoisiers, ces derniers ayant nécessité d'importants travaux d'étanchements du sous-sol au moyen d'injections de ciment (13 000 m de forages, 3 000 t de ciment). Il crée une retenue de 182 millions de m³, dont 160 sont utilisables. Les crues, d'un débit maximum de 3500 m³/s, sont évacuées par dessus le barrage, le déversoir étant muni de 4 vannes Stoney de 15,00 m de largeur sur 9,25 m de hauteur. Des essais sur modèle réduit effectués au Laboratoire d'hydraulique de l'Ecole des Ponts et Chaussées de Madrid ont permis de déterminer les caractéristiques du bassin amortisseur aval.

La centrale, en partie souterraine, est sise sur la rive droite du Miño, au pied du barrage; une galerie de fuite avec chambre d'équilibre en tête restitue les eaux turbinées dans le fleuve à quelques centaines de mètres plus à l'aval. Alors que le débit moyen du Miño



Fig. 41 Usine de Eume. Modèle de la coupe par le barrage

est de $100 \text{ m}^3/\text{s}$, le débit équipé est de $200 \text{ m}^3/\text{s}$; la chute nette varie entre 93,50 et 67,50 m. L'équipement électro-mécanique comprend 3 groupes identiques: turbines Francis à axe vertical de Bowing & Co. de Londres de 74 000 CV et alternateurs British Thompson-Houston de 62 400 kVA. Quant au poste de transformation et de couplage situé contre la falaise, à hauteur du toit de la centrale, les difficultés de transport ont conduit aux choix de transformateurs monophasés 11/132 kV.

2. Usine d'Eume sur le Rio Eume

L'Eume est un fleuve relativement modeste du versant nord des Monts Cantabres qui se jette dans l'Atlantique entre El Ferrol et La Corogne. Son lit, creusé dans les roches cristallophylliennes de cette région, était particulièrement favorable à la construction d'un barrage relativement mince. C'est ainsi que l'on a construit, de 1955 à 1959, un élégant barrage à double courbure dont la coupe ressort de la photo annexée (fig. no 41). Comme nombre de barrages italiens du même type, il est symétrique par rapport à l'axe médian. D'une hauteur de 103 m, il crée une retenue de 125 millions de m^3 . Les crues, qui ne dépassent pas $600 \text{ m}^3/\text{s}$, sont évacuées par dessus la crête du barrage dont 60 m ont été aménagés en forme de déversoir. Vu le peu de valeur du terrain le long de la retenue, on a renoncé à installer des vannes sur ce déversoir

dont la lame d'eau peut atteindre 2,50 m de hauteur. Une galerie d'amenée de 2800 m de longueur, diamètre 3,30 m, revêtue sur toute sa longueur, puis 2 conduites forcées conduisent le débit aménagé de $26,2 \text{ m}^3/\text{s}$ à 2 groupes de 75 000 CV chacun situés dans une centrale à l'air libre sise sur la rive gauche du rio. Comme à Los Peares, les turbines du type Francis ont été fournies par Bowing & Co., et les alternateurs par Thompson Houston. La sous-station, elle, est située également au pied de la falaise, en prolongation de la centrale.

Travaillant sous une chute qui varie entre 249 et 189 m, cette usine produit en moyenne 180 GWh par année.

3. Usine de Belesar sur le Rio Miño

Durant l'été 1957, FENOSA a commencé la construction de cette nouvelle usine (fig. 42) dont l'exploitation sera conjuguée avec celle de Los Peares située plus à l'aval. Grâce à l'accumulation de 640 millions de m^3 qu'elle comportera — accumulation qui sera la plus volumineuse de Galice — FENOSA disposera d'une production totale annuelle régularisée de 1450 GWh, ce qui représentera un pourcentage très élevé de sa production totale.

Lors de notre passage sur le chantier, on commençait à bétonner le barrage, une coupole de 127 m de hauteur s'appuyant sur 2 culées latérales aménagées en déversoirs de crue; les crues du Miño peuvent atteindre $3300 \text{ m}^3/\text{s}$ en cet endroit.

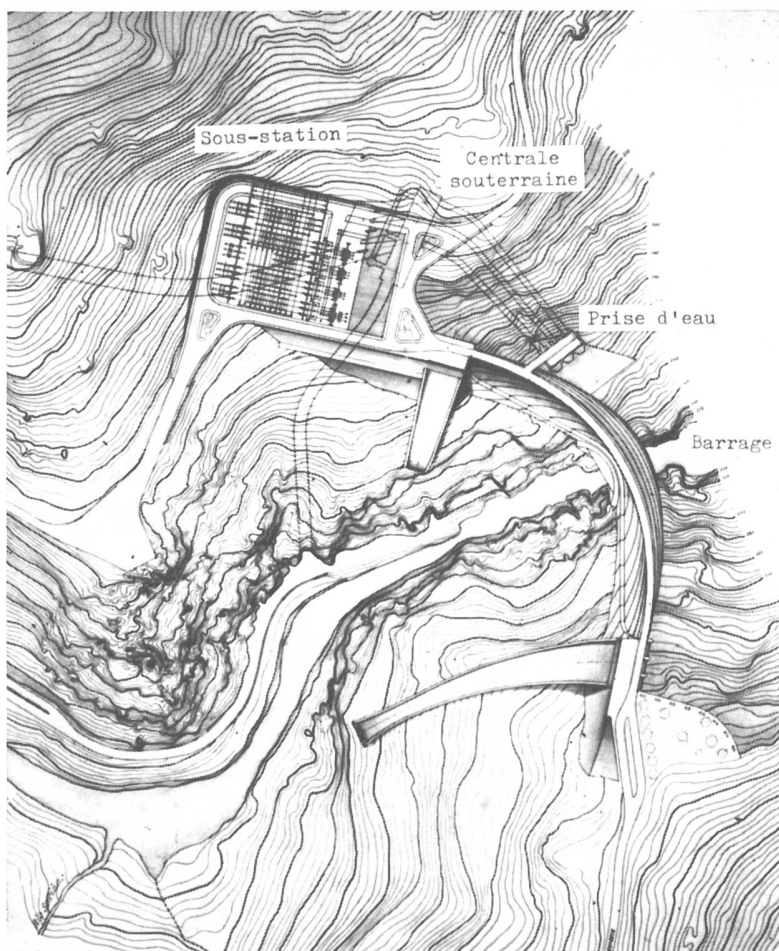


Fig. 42 Usine de Belesar.
Situation



Fig. 43 Usine de San Esteban sur le Sil.
Vue générale

La centrale souterraine, excavée dans un beau granit qui sera laissé nu, sauf la voûte et les piliers supportant le pont roulant, sera équipée de 3 groupes de 88 MVA chacun (turbines Bowring & Co., alternateurs The Associated Electrical Industries), travaillant sous une chute pouvant atteindre 136 m. Certaines installations seront de fabrication française et seront payées, au moins en partie, par des fournitures d'énergie espagnole s'intégrant dans un contrat d'échange d'énergie entre les deux pays.

Une chambre d'équilibre aval et une galerie de fuite de 1200 m de long complètent le dispositif hydraulique. Quant au poste de transformation et de couplage, il est situé à l'air libre, au-dessus de la centrale, avec laquelle il correspond par un puits de 7 m de diamètre et de 130 m de hauteur, donc selon une disposition qui rappelle celle choisie pour l'usine de Aldeadávila.

La production annuelle de cet aménagement sera de 600 GWh environ; il permettra en outre d'augmenter de 180 GWh celle de l'usine aval de Los Peares. A noter que le transport de l'énergie ainsi produite sera effectué par une ligne à 220 kV, rejoignant à Ponferrada le réseau national à haute tension.

V. Saltos del Sil S. A.

La société Saltos del Sil S. A. a été créée en 1945 en vue de produire de l'énergie et de la vendre en gros aux sociétés alimentant de grands centres de consommation, notamment Madrid, ville à laquelle ses usines sont reliées par une ligne de 220 kV. Comme son nom l'indique, cette société s'est donné pour tâche principale d'aménager le cours inférieur du Rio Sil, un des principaux affluents du Miño. Cet aménagement impliquait l'assurance que les débits du Sil seraient régulés au moyen d'un certain nombre de retenues sur ses affluents débouchant plus en amont. Ceci fut ob-

tenu, partie en ce sens que les Saltos del Sil obtinrent eux-mêmes les concessions nécessaires et partie du fait qu'une autre société, l'Hidroelectrica Moncabril S. A. s'est engagée à réaliser les autres accumulations d'amont nécessaires pour régulariser le Sil. C'est grâce à ce plan d'aménagement commun que la Société du Sil a pu entreprendre les grands travaux prévus sur le Sil inférieur.

Outre quelques usines de moindre importance, les Saltos del Sil entreprirent dès 1946 la construction de l'usine de San Esteban, l'usine actuellement encore la plus importante d'Espagne. Malheureusement la difficulté, et même à un moment donné l'impossibilité de se procurer les devises nécessaires pour acheter à l'étranger l'appareillage électro-mécanique provoquèrent un arrêt des travaux jusqu'au jour où l'on put obtenir l'autorisation d'importer les machines. Il fallut aussi obtenir l'autorisation de réajuster les prix de vente de l'énergie pour assurer une rentabilité suffisante des installations.

Voici quelques caractéristiques de cette chute de San Esteban, qui est du type usine à accumulation avec centrale au pied du barrage (fig. 43).

La retenue qui occupe une gorge assez étroite a une longueur de 43 km, une superficie de 737 ha et un volume de 213 millions de m³ dont 195 millions peuvent être utilisés. Le barrage, fondé sur le granit, est du type poids-voûte; il a une hauteur de 115 m et une longueur de 295 m; le parement amont est vertical alors que le fruit du parement aval est de 0,576. Le volume total de béton de l'ouvrage est de 475 000 m³. L'organe principal d'évacuation des crues est constitué par le barrage lui-même sur lequel 8 pertuis de 15 m de largeur et 8 m de hauteur, fermés par des vannes segments, permettent d'évacuer 4500 m³/s. Des essais sur modèle réduit ont permis de résoudre favorablement le problème difficile que constituait la destruc-



Fig. 44 Usine de San Pedro sur le Sil.
Le barrage en cours de construction

tion de l'énergie d'une telle masse d'eau sans que le pied du barrage risque d'être érodé. On a pu obtenir ce résultat économiquement au moyen de tremplins et de parois-guides qui rompent la convergence de la lame.

Deux galeries de 6,80 m de diamètre intérieur conduisent le débit équipé de 300 m³/s dans la centrale située à quelques centaines de mètres à l'aval du barrage sur le flanc gauche de la vallée. 4 groupes Francis de 80 000 CV chacun permettent de produire 860 GWh en année moyenne, quantité qui s'élèvera à 920 GWh environ une fois terminées les retenues d'amont. Vu le peu de place disponible, la station de transformation et de couplage est située sur le toit de la centrale. C'est donc de là que partent les 2 lignes à 220 kV allant vers Ponferrada d'une part et Madrid d'autre part.

A noter que le Sil a subi durant l'hiver 1959/60 une crue considérable puisque le 26 décembre 1959, elle a atteint un maximum de 3600 m³/sec. Cette crue a permis de contrôler la pertinence des dispositions adoptées, car elle n'a provoqué à San Esteban que de petits inconvénients d'où quelques adaptations d'importance mineure qui étaient en cours de réalisation lors de notre visite. Par ordre d'importance, c'est la troisième crue observée depuis le début du siècle, la plus forte datant de 1909 et la seconde de 1934.

Si la crue de décembre 1959 n'a pas causé de dommages appréciables à San Esteban, il n'en a pas été de même pour la chute aval de San Pedro (fig. 44), en cours d'achèvement lors de notre visite. En effet, bien que la distance qui sépare les deux usines ne soit que de 8 km, le débit maximum de la crue fut ici de 4200 m³/s, un affluent du Sil débouchant entre les deux chutes.

Lors de la crue, deux des quatre vannes segments du barrage de San Pedro étaient en cours de montage; il en était de même des parties fixes du deuxième

groupe dans la centrale alors que le premier groupe venait de subir ses premiers essais de marche. L'eau de la retenue, contiguë à la centrale, a pénétré dans celle-ci en passant par dessus le batardeau situé en tête du groupe en montage et elle finit par dépasser de 1,50 m le toit de la centrale (fig. 45).

Il n'y eut heureusement aucun accident de personnes, mais on peut s'imaginer sans peine les ennuis qui résultèrent de cette situation. La turbine ne subit pas grand dommage; par contre il a fallu refaire à neuf une bonne partie des installations électriques. Quant à l'alternateur qui était resté pendant 3 jours dans l'eau, on a essayé de le sécher à l'air pendant plusieurs semaines, mais sans résultat appréciable si bien qu'on a dû enlever les bobines et les envoyer dans un atelier de Bilbao où on les a séchées sous vide selon un procédé patenté de Sécheron.

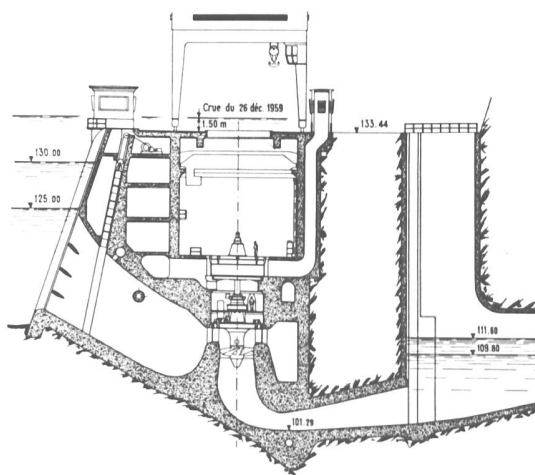


Fig. 45 Usine de San Pedro sur le Sil. Coupe par la centrale

Les essais du premier groupe, après remise en état, ont dû avoir lieu en juillet 1960, ceux du 2^e groupe vers la fin de 1960.

Voici les principales caractéristiques de cette usine de San Pedro :

- Disposition générale analogue à celle de Rheinau sur le Rhin, c'est-à-dire centrale en bordure de la retenue à l'amont immédiat du barrage, chambre d'équilibre aval et deux galeries de fuite de 200 m de longueur environ.
- Centrale à toit surbaissé et ouvrant surmonté d'une grue portique permettant le levage et le transport des machines par dessus la centrale.
- Deux groupes verticaux composés chacun d'une turbine Kaplan construite par Escher-Wyss, Zurich (capacité maximum de 112,5 m³/s) pour une chute pouvant varier entre 18,40 m et 9,50 m et d'un alternateur Sécheron de 20 MVA.
- Un seul transformateur, 40 MVA, 15/220 kV, de construction allemande.

*

Je ne saurais achever ce bref aperçu sans redire encore ici l'intérêt qu'a présenté ce voyage d'études comme l'enrichissement et le plaisir qu'y ont trouvés tous les participants.

Du point de vue technique tout d'abord, nous avons visité des aménagements importants, voire considérables, terminés récemment ou en cours de réalisation malgré des conditions souvent difficiles. En effet, si la géologie est en général favorable — on se trouve souvent dans de vieux massifs granitiques ou primaires — l'hydraulicité varie énormément, non seulement au cours d'une même année, mais encore d'une année à l'autre. Les crues, rapides et intenses, nécessitent

des organes d'évacuation de dimensions parfois extraordinaires. Les efforts qui ont permis de quadrupler la production d'énergie en Espagne depuis la fin de la guerre civile et de porter à 17 milliards de m³ la capacité des retenues en sont d'autant plus remarquables.

De leur côté, les régions parcourues ont été aussi diverses que pittoresques. A l'austère grandeur des hauts plateaux de la Meseta, brûlés de soleil et aux horizons presque infinis, ont succédé les vallonnements de la Galice où les roches anciennes, revêtues d'un manteau de verdure, sont rafraîchies sans cesse par les nuées de l'Atlantique. Puis apparurent les rias, ces golfes profonds et ramifiés qui caractérisent le littoral nord-ouest de la péninsule ibérique. Quant aux antiques et nobles cités qui se trouvaient sur notre itinéraire et que nous avons visitées, trop vite malheureusement, ce sont de véritables villes-musées bien dignes de leur réputation.

Mais ce que je ne saurais manquer de relever tout spécialement, c'est la généreuse hospitalité avec laquelle nous avons été reçus tout au long de notre voyage. Que ce soit par les alcaldes de Salamanque ou de St-Jacques de Compostelle (fig. 46) dans les salons d'apparat de leurs magnifiques hôtels de ville ou par les entreprises d'électricité sur leurs chantiers ou dans leurs casas de ingenieros, partout nous fûmes accueillis avec cette noblesse, mais aussi avec cette aimable cordialité qui font le charme de la légendaire hospitalité espagnole.

Qu'il me soit encore permis de remercier ici le Dr h. c. A. Kaech ainsi que MM. E. Gruner et R. Saudan — qui tous deux ont aussi participé au voyage d'études — car ils m'ont obligeamment fourni nombre de renseignements qui ont permis de compléter heureusement cet aperçu.



Fig. 46 Vue générale de St-Jacques de Compostelle