

232 862

WATERBOUWKUNDIG LABORATORIUM
BIBLIOTEEK
1611
LABORATOIRE HAUTS CHARGES HYDRAULIQUES
BIBLIOTHEQUE



A. MARTHOZ 1611

Le problème de l'énergie électrique au Katanga.

WATERBOUWKUNDIG LABORATORIUM

BIBLIOTEEK

1611

LABORATOIRE de RECHERCHES HYDRAULIQUES

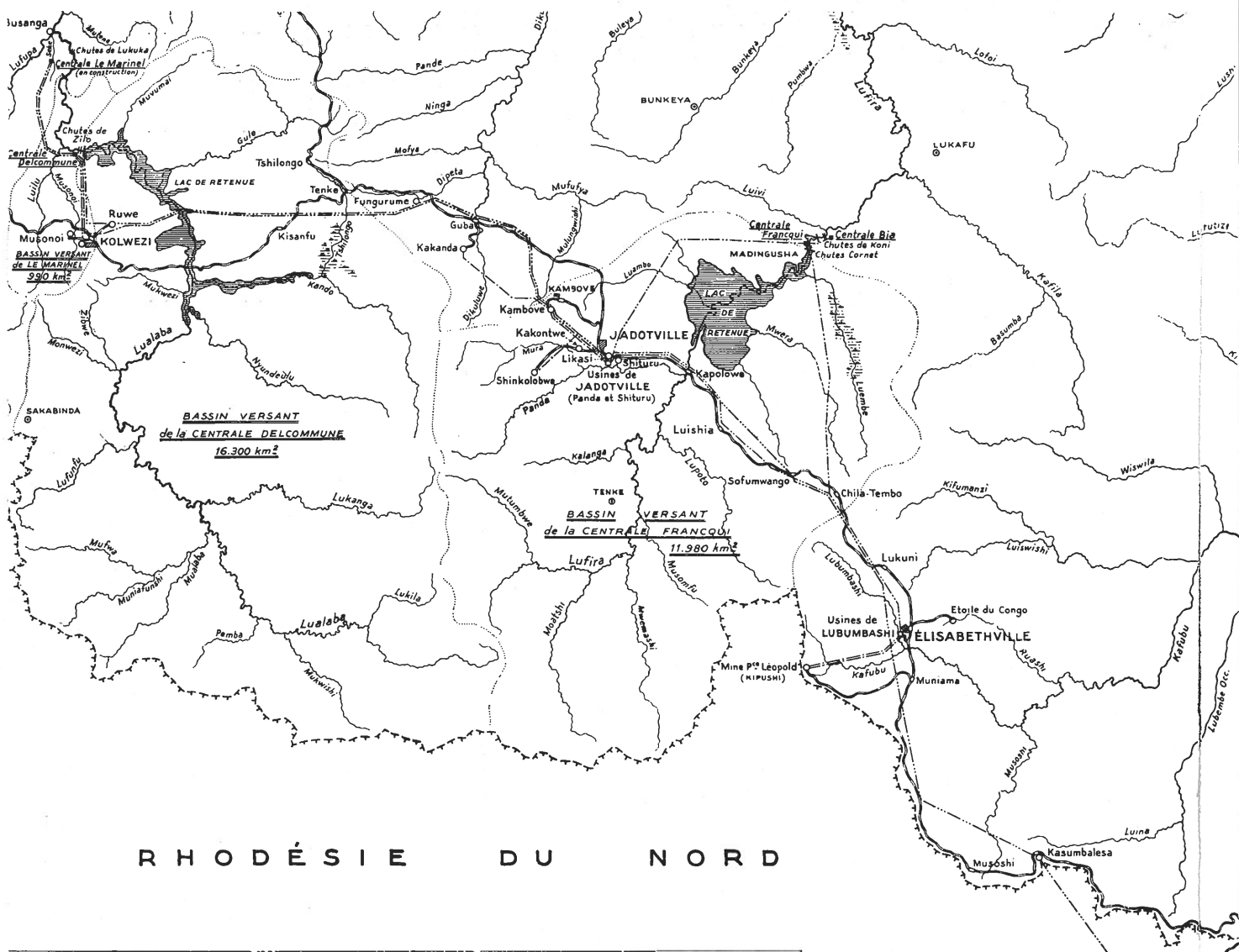
BIBLIOTHÈQUE

0307 009 014X



Centrales Electriques Minières Françaises
Installations, mises en marche de 1948 au 2^e trimestre 1954 et prévisions

Dates de démarrage		Bassins miniers	Localisation des Centrales	Puissances des groupes	Puissances install. p. programme			
					Prog. 1947	Prog. 1949	Prog. 1952	
1948	1 ^{er} Trimestre	N.P.C.	Beuvry	1 ^{er} groupe	40	120	—	—
	septembre	N.P.C.	Labuissière	1 ^{er} groupe	40			
	décembre	Blanzay	Lucy	1 ^{er} groupe	40			
1949	avril	N.P.C.	Harnes	1 ^{er} groupe	60	140	—	—
	juin	N.P.C.	Harnes	2 ^e groupe	60			
	2 ^e Trimestre	N.P.C.	Vendin	1 ^e étape ½	20			
1950	3 ^e Trimestre	Loire	Le Bec	1 ^e étape	25	170	—	—
		Cévennes	Le Fesc	1 ^e étape	25			
		N.P.C.	Dourges	1 ^e étape	25			
	4 ^e Trimestre	N.P.C.	Vendin	2 ^e étape ½	40			
		N.P.C.	Thiers	1 ^{er} groupe	40			
		N.P.C.	Dourges	2 ^e groupe	25			
1951	1 ^{er} Trimestre	Blanzay	Lucy	2 ^e groupe	40	280		
		Loire	Le Bec	2 ^e groupe	25			
		Cévennes	Le Fesc	2 ^e groupe	25			
1951	3 ^e Trimestre	N.P.C.	Beuvry	2 ^e groupe	40			
		N.P.C.	Labuissière	2 ^e groupe	40			
1951	4 ^e Trimestre	Lorraine	E. Huchet	1 ^{er} groupe	110			
1952	1 ^{er} Trimestre	Auvergne	Pont de Menat	1 ^{er} groupe	30	30))120	
	2 ^e Trimestre	N.P.C.	Dechy	1 ^{er} groupe	60)		
	3 ^e Trimestre	N.P.C.	Dechy	2 ^e groupe	60)195		
		Auvergne	Brassac	2 groupes de 7.5	15)		
1952	4 ^e Trimestre	N.P.C.	Thiers	2 ^e groupe	40	40)		
		Lorraine	E. Huchet	2 ^e groupe	110	110)		
1953	4 ^e Trimestre	Provence	Gardanne	1 ^{er} groupe	55	27.5)	55))230
		Aquitaine	Penchot	1 ^{er} groupe	27.5)	
		Cévennes	Le Fesc	3 ^e groupe	55)	
		Loire	Le Bec	3 ^e groupe	60)52.5	
		N.P.C.	Thiers	3 ^e groupe	25)	
		N.P.C.	Chocques	1 ^{er} groupe	60)	
1954	1 ^{er} Trimestre	Dauphiné	La Mure	1 ^{er} groupe	27.5	27.5)	27.5)	
		Aquitaine	Carmaux	1 ^{er} groupe	27.5)	
		Lorraine	G. Stroff	1 ^{er} groupe	110		110)162.5	
	2 ^e Trimestre	Dauphiné	La Mure	2 ^e groupe	27.5)	27.5)	
	N.P.C.	Thiers	4 ^e groupe	25	25)			
1955	1 ^{er} Semestre	Lorraine	G. Stroff	2 ^e groupe	110		110	22
		Cévennes	Bousquet d'Orb	1 ^{er} groupe	22			
	2 ^e Semestre	N.P.C.	La Bassée	1 ^{er} groupe	125			125
Puissances installées totales des programmes 1947-1949-1952					1.120	515	147	
					1.782			



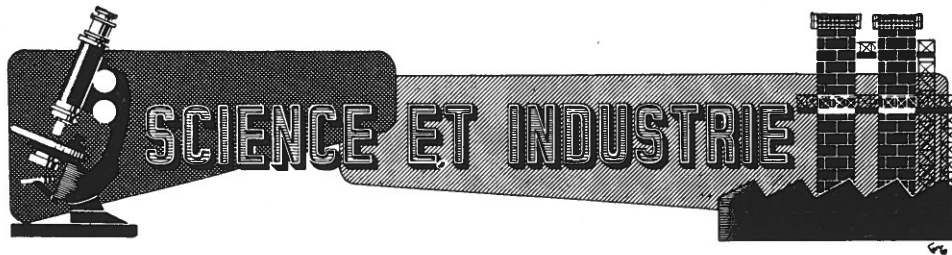
RHODÉSIE DU NORD

Bassins hydrographiques du Lualaba et de la Lufira

Echelle : 0 10 20 30 40 50 Kms.

Légende : Réseau à haute tension du Katanga

- · — · — Lignes à 50.000 V.
- · — — Lignes à 120.000 V.
- · — · — Lignes à 220.000 V.



LE PROBLÈME DE L'ÉNERGIE ÉLECTRIQUE AU KATANGA

par A. MARTHOZ,

Ingénieur civil A.I.G.
Administrateur-Délégué de l'Union Minière du Haut-Katanga.

LA présente étude est une refonte d'un article publié par la revue « Energie » dans son numéro 110 de novembre-décembre 1951.

A cette époque, l'étude de l'aménagement du Lualaba en aval de la centrale Delcommune ainsi que celle de la centrale Le Marinel constituant un deuxième stade de cet aménagement étaient à peine entamées; les considérations émises dans l'article rappelé plus haut, relatives à ces problèmes, ne pouvaient donc être que provisoires.

A présent, l'étude de la centrale Le Marinel est presque terminée, le matériel est en cours de fabrication, et les travaux de génie civil sont menés activement; nous sommes donc en mesure de compléter cette communication par une description de la centrale Le Marinel, dans le cadre de l'aménagement complet du Lualaba.

A.M.

S O M M A I R E

	Pages		Pages
AVANT-PROPOS	2259	<i>Chapitre III. — Exécution des travaux :</i>	
PREMIERE PARTIE — Epoque de l'énergie thermique (1911-1930) :		Travaux préliminaires	2288
Centrale des Usines de Lubumbashi	2262	Barrage	2288
Centrale des Usines de Jadotville	2262	Galerie d'aménée	2289
Centrales des Mines	2262	Chambre d'équilibre, galeries blindées, conduites forcées	2289
Groupes de secours diesel-électriques	2263	Centrale	2289
DEUXIEME PARTIE — L'aménagement de la Lufira :		Achèvement et mise en service	2289
La Centrale Francqui	2264	CINQUIEME PARTIE — La Centrale Le Marinel, sur le Lualaba :	
La Centrale Bia	2266	<i>Chapitre I. — Données du problème :</i>	
TROISIEME PARTIE — L'aménagement complet du Lualaba :		Emplacement du barrage	2290
Topographie	2268	Restitution et hauteur de chute	2290
Sites convenant pour des centrales	2268	Débit turbinable	2291
QUATRIEME PARTIE — La Centrale Delcommune sur le Lualaba, à Zilo :		Puissance disponible	2292
<i>Chapitre I. — Données du problème :</i>		<i>Chapitre II. — Description de l'aménagement hydroélectrique :</i>	
Topographie	2270	Vue d'ensemble	2292
Régime hydrologique du Lualaba	2270	Barrage	2293
Débit maximum instantané	2272	Evacuation des crues	2296
Evaporation	2273	Vidange de fond	2296
Régularisation	2273	Dispositif d'aménée aux turbines	2296
Emplacement de la centrale - Hauteur de chute	2275	Prise d'eau	2296
Puissance disponible	2275	Galerie d'aménée	2297
Surélévation du chemin de fer Tenke-Dilolo	2275	Chambre d'équilibre	2297
<i>Chapitre II. — Description de l'aménagement hydroélectrique :</i>		Galeries blindées	2298
Vue d'ensemble	2276	Vannes de garde	2298
Barrage	2278	Conduites forcées	2298
Evacuation des crues	2280	Pertes de charge, chute nette et puissance Centrale :	2298
Dispositif d'aménée aux turbines	2281	Détermination de la puissance	
Prise d'eau	2281	des groupes	2299
Galerie d'aménée	2282	Bâtiment des machines	2300
Chambre d'équilibre	2282	Turbines	2301
Galeries blindées	2282	Canal de fuite	2302
Conduites forcées	2282	Alternateurs	2302
Vitesses et pertes de charge	2283	Sous-station élévatrice	2303
Centrale :		Schéma électrique - Services auxiliaires	2304
Détermination de la puissance		<i>Chapitre III. — Exécution des travaux :</i>	
des groupes	2283	Travaux préliminaires	2305
Bâtiment des machines	2284	Barrage	2305
Turbines	2285	Galerie d'aménée	2306
Alternateurs	2286	Centrale	2307
Sous-station élévatrice 6.600/120.000 V	2287	Prévisions d'achèvement	2307
Schéma électrique	2287	SIXIEME PARTIE — Le réseau à haute tension :	
		Lignes	2308
		Sous-stations de transformation	2309
		Télécommunications et Dispatching	2310

AVANT-PROPOS

Les premières expéditions belges qui parcoururent le Katanga, en 1890-92, en rapportèrent la conviction que cette contrée, déshéritée à bien d'autres égards, contenait dans son sous-sol les promesses d'un brillant avenir dans le domaine minier et métallurgique, précisément l'un de ceux qui avaient fait la prospérité de la Belgique.

Le géologue Jules Cornet, affecté à la Mission Bia-Francqui, reconnu et étudia plusieurs des gisements de la région des mines dont ses travaux établirent, dans ses grandes lignes, la géologie; il revint convaincu que le Katanga était beaucoup moins, comme le voulait la légende, le pays de l'or que celui du cuivre.

Les réalisations ne se firent pas attendre. Dès 1900, des missions de prospection, sous l'égide de la *Compagnie du Katanga*, puis du *Comité Spécial du Katanga*, parcoururent le pays et en firent un premier inventaire; elles exploitèrent même, à Ruwe, un petit gisement d'or éluvionnaire dont elles retirèrent, de 1904 à 1909, 700 kg de métal.

Fondée en 1906, l'*Union Minière du Haut-Katanga* ouvrit, dès 1908, la mine de l'Etoile du Congo et construisit, sur les rives de la Lubumbashi, une fonderie d'où sortit, en 1911, le premier millier de tonnes de cuivre du Katanga.

L'industrie du cuivre était née et, en même temps qu'elle, Elisabethville, où le rail arriva en 1910. D'autres gisements furent ouverts: Luishia et Kambove en 1913, Likasi en 1916, Busanga, mine d'étain, en 1918, Shituru en 1919.

Depuis lors, l'évolution ne subit aucun temps d'arrêt.

Des mines et des usines, dispersées dans une région grande comme la Belgique, entrèrent en activité et des noms de localités, devenus familiers depuis, firent leur apparition sur la carte: Panda-Likasi, devenu aujourd'hui Jadotville, Kolwezi, Kipushi...

Qui dit industrie dit force motrice. Le seul combustible disponible sur place, le bois, en fournit le premier aliment.

Mais, dès sa fondation, l'Union Minière s'était rendu compte que le problème de la production en grande quantité et à bas prix de revient, de l'énergie électrique, est primordial.

C'est ainsi qu'en 1907 déjà, elle envoyait en Afrique une mission suisse, dans le but de faire l'inventaire des ressources hydroélectriques de la concession minière qu'elle se préparait à mettre en valeur.

Les conditions résultant de la guerre 1914-18 retardèrent la mise à exécution des premiers aménagements; mais, en 1919, une firme américaine fut chargée de procéder à une étude plus approfondie des deux sites principaux: les chutes de Mwadingusha sur la Lufira et les rapides de Zilo sur le Lualaba. Depuis cette date, des stations de jaugeage fonctionnent sur ces deux rivières et procèdent à des relevés journaliers; sauf erreur, ces statistiques sont les plus anciennes et les plus complètes, dans ce domaine, de toute la Colonie.

A la même époque, l'Union Minière décida de se lancer résolument dans la voie de l'électrometallurgie, grosse consommatrice de courant. Production et utilisation de l'énergie électrique sont, en effet, indissolublement liées et, surtout en Afrique, une entreprise d'aménagement de chutes d'eau n'est viable que si elle est assurée d'un important client de base, à diagramme de consommation régulier et, si possible, à bon facteur de puissance.

Ayant décidé de construire à Jadotville une usine pour la production de cuivre électrolytique, l'Union Minière créa, en 1925, une filiale, la *Société Générale des Forces Hydroélectriques du Katanga* (Sogefor) pour l'aménagement de la centrale des chutes Cornet, à Mwadingusha, présentement dénommée centrale Francqui. Cette centrale fut mise en service en 1930.

Peu après la création de Sogefor, l'Union Minière constituait une autre filiale, la *Société Générale Africaine d'Electricité* (Sogelec) avec mission d'établir des transports de force à haute tension et des postes de transformation.

L'Union Minière construisit d'ailleurs elle-même plusieurs lignes et sous-stations importantes.

A l'heure actuelle, le réseau à haute tension qui alimente tout le Haut-Katanga industriel, comporte 420 km de lignes à 220.000 V, 518 km de lignes à 120.000 V et 126 km de lignes à 50.000 V, soit un total de plus de 1.000 km, sans compter les lignes et câbles à tension moindre.

Les besoins en énergie électrique ne faisant que croître, tant à l'Union Minière que dans les réseaux publics dont Sogelec est devenue le concessionnaire, et la centrale Francqui n'étant plus en mesure d'y faire face, l'Union Minière construisit la centrale Bia, située sur la Lufira, à quelques kilomètres en aval de la centrale Francqui. Cette centrale fut mise en service en 1950.

Ces deux centrales étant elles-mêmes insuffisantes, et d'autres usines métallurgiques étant en construc-

tion ou envisagées dans un proche avenir (zinc, cuivre, cobalt, etc.), l'Union Minière a construit une nouvelle centrale, sur le Lualaba, aux gorges de Zilo. Les travaux ont été entamés en 1948 et le premier groupe a été mis en service en décembre 1952.

Cette centrale porte le nom de *Delcommune*, en souvenir du chef de la première mission belge qui, début 1892, passa aux gorges de Zilo; elle sera décrite en détail dans la quatrième partie de cette note.

Enfin, la consommation d'énergie croîtra dans une mesure telle, dans tous les domaines, au cours des prochaines décennies, que la construction d'une quatrième centrale, en aval de la centrale Delcommune, a été décidée. Les études sont presque terminées, les travaux sont en cours et le programme est établi en vue d'une mise en service fin 1956. Cette centrale portera le nom de *Le Marinel*, chef d'une autre expédition de la période 1890-92; elle sera plus puissante que les trois autres réunies et sera décrite en détail dans la cinquième partie de cette note.

Cet ensemble d'aménagements couvrira pour longtemps, avec aisance, les besoins raisonnablement prévisibles du Katanga, même pendant les années déficitaires du point de vue hydrologique.

L'évolution de la consommation d'énergie, au cours des trente dernières années (voir tableau ci-contre), est suggestive; ne l'est pas moins celle de la consommation du secteur public. Le tableau est complété par une estimation des besoins jusqu'en 1960, telle qu'elle résulte des prévisions de l'Union Minière et des divers utilisateurs; la consommation tend donc vers 1.300 millions kWh en 1960, et elle est estimée à 1.800 millions en 1970.

Ces chiffres, à eux seuls, témoignent du développement de la mécanisation des exploitations en général et de l'électrometallurgie en particulier: production de cuivre, de cobalt, de zinc, de cadmium, de chlorate de soude par voie électrolytique, production de cobalt, de plomb, de cuivre par voie électrothermique, fabrication de fonte, acier et bronze au four électrique, etc.

Il est à noter que l'électrometallurgie est, dans l'ensemble, le plus gros consommateur d'énergie. Si le Katanga possède de grandes richesses minérales, on n'y trouve par contre pas de charbon convenant pour des opérations métallurgiques. Par un hasard qu'on peut dire providentiel, sa topographie a créé un potentiel hydroélectrique complémentaire, sans lequel le Katanga minier ne serait guère devenu ce qu'il est à présent.

CONSOMMATION D'ENERGIE (millions kWh)

Année	Provenance			Consomm. réseaux publics
	Therm.	Hydraul.	Total	
1922	17	—	17	—
23	20	—	20	—
24	23	—	23	—
25	30	—	30	—
26	37	—	37	—
27	43	—	43	—
28	68	—	68	—
29	112	—	112	—
1930	110	33	143	2
31	37	139	176	3,5
32	28	47	75	2,6
33	3	89	92	2,1
34	—	154	154	2,9
35	—	142	142	3,2
36	—	146	146	3,8
37	13	203	216	4,9
38	16	213	229	6,4
39	—	249	249	6,9
1940	—	293	293	7,7
41	—	309	309	8,6
42	19	313	332	9,9
43	102	217	319	11,8
44	63	280	343	13
45	7	380	387	14,7
46	72	224	296	15,4
47	—	406	406	18,3
48	—	436	436	21,7
49	101	276	377	26,8
1950	—	512	512	26,3
51	—	620	620	31,9
52	—	699	699	36,9
53	—	743	743	44
54	—	930	930	53
55	—	1.050	1.050	65
56	—	1.100	1.100	—
57	—	1.170	1.170	—
58	—	1.200	1.200	—
59	—	1.250	1.250	—
1960	—	1.300	1.300	—

Pour l'industrie métallurgique katangaise, l'énergie hydroélectrique est donc une véritable matière première remplaçant le charbon qui fait défaut, et c'est la production, à bas prix de revient, de cette énergie, qui a permis de donner à la métallurgie l'essor que l'on connaît. Cette activité se développera encore dans l'avenir par la création de nouvelles industries, telle la fabrication de ferro-manganèse, matière que la Belgique doit à l'heure actuelle importer de l'étranger, alors que le Katanga produit des minerais de manganèse d'excellente qualité.

Les chiffres qui suivent donnent une idée de l'importance des quantités d'énergie mises en jeu par la métallurgie proprement dite, donc services auxiliaires non compris.

Cuivre électrolytique	2.350 kWh par tonne
Cobalt électrolytique	6.000 kWh par tonne
Cobalt produit au four électr.	10.000 kWh par tonne
Zinc électrolytique	4.500 kWh par tonne
Cadmium électrolytique	1.800 kWh par tonne
Ferro-manganèse	3.000 kWh par tonne
Chlorate de soude (explosifs)	8.000 kWh par tonne

Par ailleurs, le concessionnaire des réseaux publics dispose de toute l'énergie qui lui est nécessaire, et ce à un prix tel qu'il est en mesure de la fournir aux consommateurs à un tarif modéré, si l'on tient compte des lourdes charges financières imposées par l'établissement et l'entretien de quatre réseaux de distribution urbains, à très faible densité de population desservie, comparée à celle des villes d'Europe.

Cette politique d'énergie abondante et à bon marché a eu et aura le plus heureux effet sur le développement des petites et moyennes industries; elle a contribué dans une large mesure à accroître le confort de la population blanche et congolaise.

On prévoit que la consommation publique d'Elisabethville, Jadotville, Kolwezi et Kipushi atteindra 65 millions kWh par an en 1955, et c'est là un des critères les plus représentatifs de l'essor économique de la région.

En résumé, on peut dire que la mise en valeur des ressources hydroélectriques est chose faite au Katanga; les différentes étapes de cette réalisation ont, en général, précédé les besoins de l'économie: le développement des moyens de production de l'énergie a été la cause, bien plus que l'effet, de l'essor extraordinaire de cette économie, dans tous les domaines.

C'est ce qui a notamment conduit le Chemin de Fer du Bas-Congo au Katanga à électrifier 340 km

de son réseau, voie dans laquelle l'Union Minière était déjà entrée dans ses propres exploitations: électrification de la traction à Ruwe en 1945, à Jadotville en 1949, à Lubumbashi et à Kolwezi-Musonoi en 1950.

Pendant la période de cinq ans qui suivra la mise en marche de la centrale Le Marinel, le disponible, après couverture des besoins largement estimés du Katanga, sera tel, en toutes circonstances, qu'il a été possible, en plein accord avec les Pouvoirs publics, de conclure avec la Rhodésie du Nord un contrat de fourniture d'énergie de 500 millions kWh par an. A cet effet, les quatre groupes de Le Marinel seront installés d'emblée et une ligne à 220 kV de 500 km de longueur reliera Le Marinel à la Rhodésie, en alimentant Jadotville et éventuellement Elisabethville au passage.

Cette interconnexion, qui sera la première de ce genre à l'échelle internationale sur le continent africain, permettra en outre au Katanga, en cas de disette grave ou d'avarie aux machines, de recevoir de l'énergie du réseau rhodésien, qui comportera d'ailleurs, dans quelques années, une très importante centrale hydroélectrique construite sur la rivière Kafue.

Une telle réalisation est d'un grand intérêt pour l'économie générale et pour le renom du Congo Belge.

* * *

Dans ce qui suit, après une brève évocation de la période révolue de l'énergie thermique, et une description sommaire des centrales Francqui et Bia de la Lufira et du programme général d'aménagement du Lualaba, les centrales Delcommune et Le Marinel du Lualaba seront décrites en détail.

Première Partie : EPOQUE DE L'ENERGIE THERMIQUE (1911-1930)

Pendant les vingt premières années, le problème de l'énergie reçut des solutions locales, à la mesure des besoins de chaque centre d'exploitation. Le bois resta pendant longtemps le seul combustible; il fut graduellement supplanté par le charbon, importé de Wankie en Rhodésie du Sud, ou provenant, à partir de 1924, des Charbonnages de la Luena situés non loin de Bukama.

Le charbon fut consommé, dès le début, sous forme de pulvérisé; le bois continua toutefois d'être seul employé dans les centrales des mines, jusqu'au jour où elles reçurent le courant d'une plus grosse centrale voisine.

Centrale des Usines de Lubumbashi, à Elisabethville.

Dès 1911, Lubumbashi possédait sa centrale thermique : deux alternateurs-volants Allis-Chalmers, triphasé 60 périodes, 550 V, 475 kVA, commandés par des machines à vapeur compound-jumelles alimentées par huit chaudières Stirling à 11 kg, de 280 m² de surface de chauffe, accompagnées d'un surchauffeur indépendant. Ces chaudières alimentaient également les deux soufflantes Roots des fours water-jackets, commandées chacune par une machine à vapeur compound-tandem; ces soufflantes sont toujours en service à l'heure actuelle, après avoir été électrifiées en 1934.

En 1924 et 1927, les anciens alternateurs furent remplacés par deux turbo-machines Brown Boveri de 2.000 kVA, 3.000 tm, triphasé 50 périodes, 550 V; un troisième groupe, de 5.000 kVA, turbine Laval alternateur A.C.E.C. 6.600 V fut installé en 1929.

En 1925, une usine de pulvérisation de charbon fut installée dans le principal but d'alimenter un four à réverbère d'essai, désaffecté depuis; ce four possédait une chaudière Ladd-Belleville de récupération. Une partie des chaudières Stirling fut équipée au charbon pulvérisé; en 1929, on monta deux chaudières Ladd-Belleville chauffées au pulvérisé, de 520 m² de surface de chauffe, 13 kg.

En 1926, la centrale de Lubumbashi envoya du courant à la mine voisine de Ruashi par une ligne à 15.000 V de 14 km, toujours en service.

Dès 1928, la mine Prince Léopold, à Kipushi, fut de même alimentée à partir de Lubumbashi par

une ligne à 50.000 V de 27 km; cette ligne a été doublée en 1949.

En 1933, la centrale de Lubumbashi fut mise à l'arrêt, lors de l'arrivée de la ligne à 120.000 V reliant Elisabethville via Jadotville et Luishia, à la centrale Francqui.

Centrale des Usines de Jadotville.

Ce complexe d'usines, limité en 1921 à un concentrateur à minerais, ne cessa de se développer depuis : fours électriques à cobalt en 1924, usine d'électrolyse de cuivre en 1929, grands ateliers de réparation, usine d'électrolyse de cobalt en 1945, etc.

La première centrale électrique comportait deux turbo-alternateurs de 5.000 kVA, 6.600 V, turbine Willans-Zoelly, alternateur English Electric, alimentés par une batterie comportant quatorze chaudières Stirling de 250 m², deux de 500 m² et un surchauffeur indépendant, le tout chauffé au bois. Cet ensemble est aujourd'hui désaffecté.

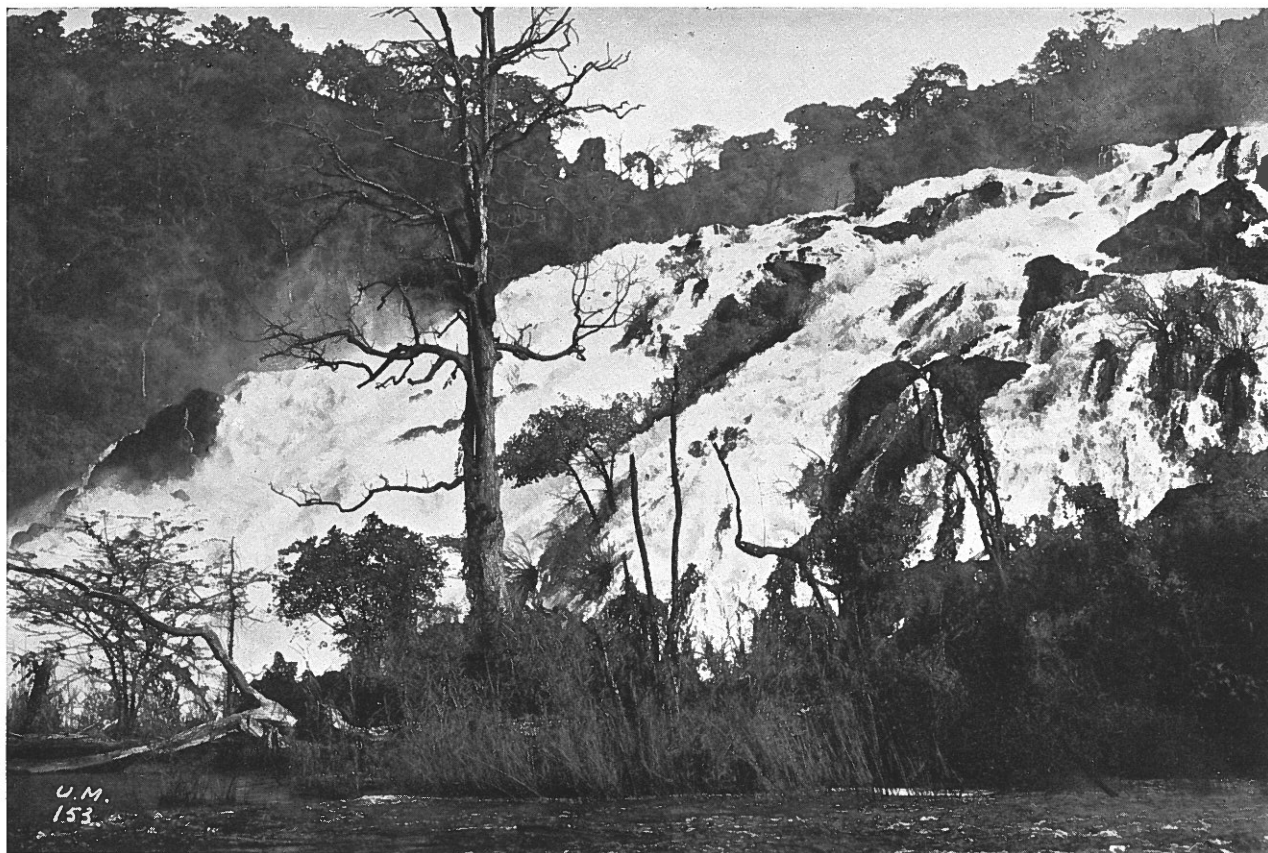
Une nouvelle centrale, construite en 1927, comprend deux turbo-alternateurs de 12.500 kVA, turbine Brown Boveri, alternateur A.C.E.C.; elle était alimentée par sept chaudières de récupération accouplées à des fours à réverbère, désaffectés depuis, et par une chaufferie indépendante de quatre chaudières Ladd-Belleville de 660 m² de surface de chauffe, 20 kg.

Fours à réverbère et chaufferie indépendante étaient alimentés par une centrale de pulvérisation comportant cinq broyeurs à boulets de 5 t/h. Le charbon était un mélange de Wankie et de Luena.

La centrale thermique fut mise à l'arrêt en 1930, lors de l'entrée en service de la centrale Francqui; elle n'a marché depuis lors qu'occasionnellement, pendant les années déficitaires du point de vue hydrologique.

Centrales des mines.

Toutes les mines ont été, à l'origine, équipées de petites centrales à vapeur, d'importance variable : machines à piston attaquant, soit directement, soit par courroie, des alternateurs de 75 à 500 kVA, 550 V, chaudières type locomotive ou Stirling chauffées au bois. Il y eut de ces centrales un peu partout au Katanga : Etoile du Congo, Kipushi, Lukuni,



Chutes Cornet sur la Lufira.

Luishia, Shinkolobwe, Kambove, Kalabi, Kolwezi, Busanga... Elles ont toutes disparu depuis l'électrification à partir de la centrale Francqui.

Les mines d'étain de la région de Kikole, Kayumbo, Sofwe et Shienzi, actuellement épuisées, recevaient leur courant des Charbonnages de la Luena, par un réseau à 15.000 V d'une cinquantaine de kilomètres de développement.

Groupes de secours diesel-électriques.

Deux mines souterraines, Kipushi et Shinkolobwe, possèdent un groupe diesel de secours, alternateur 800 kVA, 550 V, destiné à assurer le fonctionnement d'une pompe d'exhaure, des ventilateurs, du puits de service et de l'éclairage, en cas d'interruption du réseau à haute tension.

Deuxième partie : L'AMENAGEMENT DE LA LUFIRA

La Lufira et le Lualaba sont les deux principales rivières qui, se joignant dans les marais du lac Upemba, en aval de Bukama, forment le cours supérieur du fleuve Congo, dont le nom de Lualaba lui est d'ailleurs conservé jusqu'à Stanleyville.

La Lufira prend sa source vers le douzième parallèle sud, à l'altitude 1435.

Son bassin hydrographique, jusqu'à Kapolowe, endroit où elle est franchie par le chemin de fer de

Sakanika à Bukama, est de caractère montagneux, et passe ensuite au régime de plaine jusqu'au seuil des Chutes Cornet, à Mwadingusha, endroit où la rivière, franchissant la barrière des Monts Koni, tombe de 115 m en deux gradins contigus de plus de 50 m. suivis, sur une dizaine de kilomètres, des rapides de Koni qui totalisent une cinquantaine de mètres de dénivellation.

De là la rivière coule, au pied des Monts Kun-

delungu, dans une immense plaine, et son profil en long ne sera plus dérangé que par la chute de Kiubo, de 36 m de hauteur.

La centrale Francqui utilise la chute franche de 115 m et la centrale Bia les rapides qui suivent cette chute.

Débit — La rivière a été jaugée journallement, de 1921 à 1937, dans une section tarée au moulinet, située un peu en amont du seuil des chutes; le bassin versant, à cet endroit, a une superficie de 11.980 km². Le régime a les caractéristiques suivantes :

Débit moyen	57 m ³ /sec.
Débit d'étiage : moyen	14 m ³ /sec.
» exceptionnel	10 m ³ /sec.
Débit maximum : moyen	125 m ³ /sec.
» exceptionnel	300 m ³ /sec.

Le coefficient de ruissellement, pour le bassin considéré, est en moyenne de 12,5 %.

La centrale Francqui est ainsi dénommée en souvenir du lieutenant Emile Francqui, commandant en second, puis commandant de l'expédition Bia-Francqui, qui parcourut cette région en 1892.

Les travaux furent entrepris en 1926 et, le 8 août 1930, les trois premiers groupes étaient mis en service; le courant transporté par une ligne à 120.000 V de 72 km de longueur, était amené à Jadotville et distribué de là dans les mines voisines de Kambove, Luishia et Shinkolobwe.

Le premier stade de l'aménagement comportait :

- Un barrage-déversoir en béton, du type gravité, de 500 m de longueur et d'une hauteur maximum de 8 m, créant un réservoir d'accumulation de 33 millions de m³ seulement. Ce barrage constituait donc une simple dérivation vers les ouvrages d'aménée;

Chutes Cornet sur la Lufira - Bâtiment des machines de la Centrale Francqui.



- Une prise d'eau à quatre pertuis de 6 m d'ouverture chacun;
- Un canal d'amenée de 600 m de longueur, aboutissant, sur la rive gauche de la vallée, à 110 m au-dessus du site de la centrale;
- Une chambre de mise en charge;
- Deux conduites forcées de 300 m de longueur et d'un diamètre décroissant de 2,50 m à 2,20 m;
- Une centrale équipée de trois groupes turbo-alternateurs, 375 tours/min., 6.600 V de 12.500 kVA chacun;
- Un poste élévateur 6.600/120.000 V comprenant trois bancs de transformateurs de 12.000 kVA comportant chacun trois pôles monophasés de 4.000 kVA;
- Une ligne à 120.000 V de 72 km de longueur, 3 x 95 mm² cuivre, aboutissant à Jadotville;
- A Jadotville, un poste abaisseur comprenant deux transformateurs de 20.000 kVA chacun.

Les besoins en énergie croissant d'année en année, l'équipement de la centrale Francqui fut progressivement complété; le barrage, notamment, fut rehaussé à quatre reprises, de manière à accroître le débit turbinable en saison sèche et à réaliser, en fin de compte, la régularisation à peu près intégrale de la Lufira, à hauteur des Chutes Cornet.

Année	Cote du barrage	Réserve utile millions m ³	Surface du lac km ²
1930	1.101,65	33	24
1934	1.102,40	96	140
1938	1.105,15	1.025	435
1947	1.105,48	1.170	442
1948	1.105,75	1.267	446

Lors du rehaussement du barrage de 1934, on y aménagea deux vannes de crue de 10 m de débouché chacune.

En 1937, un quatrième groupe de 13.200 kVA fut installé; en 1938, on monta une troisième conduite forcée, un cinquième groupe de 13.200 kVA et deux bancs de transformateurs de 13.200 kVA chacun. La centrale est, depuis lors, capable de turbiner les 57 m³/sec. que représente le débit régularisé.

Tel est le stade auquel on est parvenu actuellement; il réalise l'aménagement complet des Chutes Cornet.

Il est à noter que, depuis 1940, dans la mesure où les disponibilités en eau l'ont permis, les cinq groupes ont fonctionné sans arrêt à pleine charge; c'est grâce à la qualité de l'équipement et à la vigilance du personnel d'exploitation que ce régime exceptionnel a pu être maintenu, ce qui a contribué, dans une large mesure, à l'effort de guerre remarquable qu'a fourni le Katanga.

Par mesure de sécurité, et pour permettre l'entretien normal du matériel, un sixième groupe a été installé à titre de réserve, en 1954.

Les rehaussements successifs du barrage auraient dû, normalement, être accompagnés d'un égal rehaussement du plan d'eau du canal d'amenée, de manière à bénéficier, en fin de compte, d'un supplément de chute de 4 m.

Les conditions locales se prêtant mal à un rehaussement des berges du canal, ce travail n'a pas été fait; il a, par contre, été nécessaire d'installer, à l'entrée de ce canal, une vanne maintenant automatiquement le plan d'eau à la cote 1.101,65, quel que soit le niveau dans le lac.

On a vu plus haut que la réserve maximum de 1.267 millions de m³ d'eau n'a pu être obtenue qu'au prix d'une surface inondée de 446 km², soit une profondeur moyenne de 3 m seulement; cette circonstance, qui entraîne une très importante perte par évaporation, est la conséquence de la topographie de la plaine qui précède le barrage, sur 70 km.

On peut calculer que, partant du niveau maximum en fin de saison des pluies pour aboutir à la vidange complète en fin de saison sèche, la surface moyenne exposée à l'évaporation conduit à une perte de 550 millions de m³ correspondant à une perte annuelle moyenne de 17 m³/sec., soit 30 % du débit annuel moyen mesuré au droit du barrage.

Afin d'accumuler une partie de la réserve sous une moindre superficie, il avait été envisagé, en 1945, de construire sur la haute Lufira, au vieux Tenke, une digue qui aurait eu les caractéristiques suivantes :

Hauteur	30 m
Longueur en crête	1000 m
Volume accumulé	500 millions m ³
Surface du lac	70 km ²
Profondeur moyenne	7 m
Volume d'une digue en terre	800.000 m ³

Malheureusement, à de nombreux kilomètres du site, distant de 30 km du rail le plus proche, il n'existe aucune formation susceptible de fournir des matériaux pour béton; au surplus, la nature très



Centrale Francqui sur la Lufira - Salle des alternateurs.

sablonneuse des terrains de fondation ne se prêtait pas à la construction d'une digue en terre, pour le masque d'étanchéité de laquelle aucune argile convenable n'existe d'ailleurs dans la région. Toutes ces raisons ont fait renoncer, en fin de compte, au barrage de Tenke.

La centrale Francqui, avec la régularisation décrite plus haut, est capable de produire l'énergie suivante :

	<i>kW</i>	<i>Millions kWh annuels</i>
Année maximum	55.240	484
Année moyenne	42.960	376
Année minimum	27.000	237

Réserve épuisée, la centrale marchant au fil de l'eau, la puissance disponible tomberait, à l'étiage, à 9.000 kW; on peut ainsi juger de l'intérêt que présente la régularisation, qui a nécessité la mise

sous eau de 446 km² de terrains d'ailleurs sans valeur aucune.

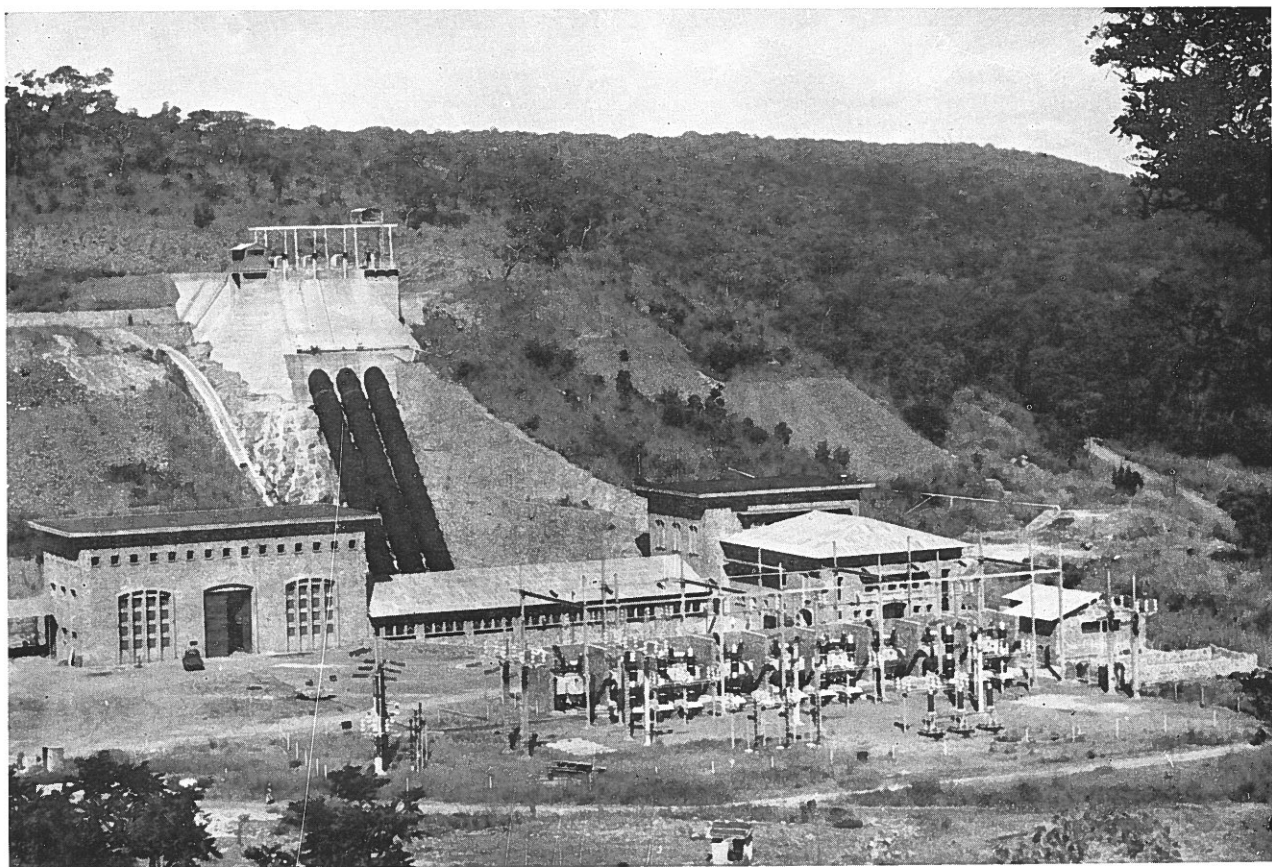
La centrale *Bia* est ainsi dénommée en souvenir du capitaine Lucien Bia, premier chef de l'expédition Bia-Francqui, mort et enterré au vieux Tenke, en 1892.

Cette centrale, établie à 8 km en aval de la centrale Francqui, bénéficie de la régularisation créée par le barrage de Mwadingusha et utilise une dénivellation d'un peu plus de 50 m; en fait, la puissance qu'elle peut développer correspond à 53 % de la puissance de la centrale Francqui.

Les travaux ont été entamés en 1945 et les trois groupes ont été mis en service respectivement en janvier, juin et novembre 1950.

Cet aménagement comporte, en ordre principal :

- Un barrage en enrochement avec parafouille et écran amont en béton armé, de 470 m de longueur en crête et de 20 m de hauteur; l'enroche-



Centrale Bia sur la Lufira.

ment a comporté la mise en place de 200.000 m³ de moellons de quartzite. L'écran est composé de panneaux articulés de 9 m x 8 m réunis par un joint de cuivre; le total des fuites relevées à l'aval du barrage ne dépasse pas 0,3 l/sec., ce qui confirme la bonne tenue de l'écran en béton, de ses joints et du voile d'injections exécuté dans la roche d'assise, dans l'axe du parafoille et à l'amont de celui-ci.

La déformation maximum du barrage, cinq ans après sa mise en eau, est de 130 mm dans le sens horizontal, 140 mm dans le sens vertical, ce qui donne une composante de 190 mm; elle semble vouloir se stabiliser à ces chiffres.

La partie utilisable de la retenue est de 16 millions de m³, sous une surface de 4,5 km²; elle peut servir à une régularisation journalière de la puissance développée par la centrale, dont la marche est ainsi plus ou moins indépendante, sur de très courtes périodes, de celle de la centrale Francqui;

- Un déversoir de 160 m de longueur capable d'évacuer de l'ordre de 700 m³/sec. sous une charge de 1,70 m; pareil débit pourrait se produire en cas de rupture des ouvrages de retenue, de prise d'eau ou de vidange de la centrale Francqui et il était indispensable d'éviter tout danger de submersion de la digue en enrochement, autrement dit sa destruction presque totale;
- Un dispositif d'évacuation des corps flottants;
- Une prise d'eau comportant quatre pertuis de 4,50 m d'ouverture;
- Un dispositif d'aménée comprenant deux tronçons de canal à ciel ouvert (815 m), une galerie (270 m) et un siphon en béton armé (160 m), soit une longueur totale de 1.245 m;
- Une chambre de mise en charge d'où partent trois conduites forcées en acier, d'un diamètre variant de 2,90 m à 2,70 m et de 98 m de longueur, inclinées à 45°;

- Une centrale avec trois groupes de 15.600 kVA, 333 1/3 tm, 6.600 V, dont un de réserve;
- Un canal de fuite de 1.300 m de longueur dont 370 m en galerie;
- Un poste élévateur du type extérieur étalé, avec trois transformateurs de 15.600 kVA comprenant chacun trois pôles monophasés de 5.200 kVA;
- Une ligne à 120.000 V, 3 x 95 mm² cuivre, de 5.700 m, reliant la centrale Bia à la centrale Francqui, avec laquelle elle marche en parallèle. Les deux centrales sont reliées par des câbles de signalisation et par un câble de puissance, de secours, pouvant servir à alimenter les auxiliaires de chacune des centrales à partir de l'autre.

La capacité de production de la centrale Bia est la suivante :

	<i>kW</i>	<i>Millions kWh annuels</i>
Année maximum	29.280	256
Année moyenne	22.760	199
Année minimum	14.310	125

En étiage, la centrale marchant au fil de l'eau, la puissance développée pourrait tomber à 4.800 kW.

Troisième Partie : L'AMENAGEMENT COMPLET DU LUALABA

Topographie.

Le Lualaba prend sa source tout contre la frontière rhodésienne, à l'altitude 1.435; jusqu'à l'entrée des gorges de Zilo, à l'altitude 1.220, son cours ne présente aucune possibilité d'aménagement hydro-électrique. La superficie du bassin versant, à hauteur de Zilo, est de 16.300 km².

Depuis l'entrée des gorges de Zilo (km 0) jusqu'au droit du signal Katanda (km 64) à 8 km en aval de Busanga, le Lualaba coule dans une vallée étroite et sinueuse, et descend de l'altitude 1.220 à l'altitude 775, soit une dénivellation de 445 m pour un développement de 64 km. Ce parcours est constitué de chutes d'importance variable et de rapides, séparés par des tronçons plus ou moins tranquilles; en plusieurs endroits, le profil transversal de la vallée se prête à l'établissement de barrages d'assez grande hauteur et d'une longueur en crête raisonnable.

Depuis le signal Katanda (km 64) jusqu'à Bukama (km 272), le Lualaba descend de l'altitude 775 à l'altitude 565, soit une dénivellation de 210 m pour un parcours de 208 km, qui comporte encore quelques rapides et petites chutes; il n'a toutefois plus le profil transversal du tronçon précédent, et un barrage de quelque hauteur y aurait un volume démesuré. On peut donc conclure que seul le premier tronçon présente de l'intérêt, du point de vue aménagements hydroélectriques importants.

Un levé photogrammétrique de la région s'étendant de Zilo à Busanga a été exécuté par l'Institut

Géographique Militaire de Belgique. Les photographies ont été prises à l'échelle du 20.000^e et la restitution a été faite au 10.000^e avec équidistance des courbes de niveau de 5 m; cette restitution couvre 300 km². Le levé est basé sur une triangulation au sol très serrée et très précise; il a rendu de grands services au cours de l'étude de l'aménagement général et de la centrale Le Marinel en particulier.

Sites convenant pour des centrales.

L'étude de l'aménagement intégral du Lualaba a eu comme point de départ les conditions résultant de l'établissement de la centrale Delcommune, constituant le premier étage de cet aménagement.

Les grandes lignes du projet Delcommune furent elles-mêmes conditionnées par les exigences suivantes :

- a) implantation du barrage en un endroit tel que, sans qu'il ait une hauteur exagérée, il réalise une accumulation permettant une régularisation aussi complète que possible du débit de la rivière.
- b) possibilité d'asseoir le barrage sur un terrain de qualité satisfaisante;
- c) hauteur de chute raisonnable, si possible de l'ordre de 100 m.

Pour la centrale à construire en deuxième lieu, sur le Lualaba, on s'est imposé comme condition, en vue de couvrir les besoins en énergie pour de nombreuses années, de réaliser une hauteur de chute aussi grande que possible.

En fin de compte, les plans d'eau successifs ont été fixés aux cotes suivantes :

<i>Cotes des plans d'eau</i>	<i>Hauteurs de chute brutes</i>
1246	I : 83 m (Delcommune)
1163	II : 98 m
1065	III : 183 m (Le Marinel)
882	IV : 107 m
775	

L'étage I est utilisé par la centrale Delcommune. L'étage III a été retenu pour la centrale Le Marinel qui, se situant parfaitement dans le cadre de l'aménagement complet du Lualaba, ne compromet en rien la poursuite ultérieure de cet aménagement.

Les étages II et IV, dont l'aménagement est réservé pour un avenir éloigné, n'ont pas fait l'objet d'une étude de détail, notamment quant aux sites pouvant convenir pour l'édification d'un barrage, sites dont le choix est avant tout dicté par le profil transversal de la vallée et par la nature du terrain.

La préférence est évidemment donnée aux endroits présentant une chute franche ou des rapides créant, sur une faible distance, une dénivellation plus ou moins importante, réduisant d'autant, pour une chute totale donnée, la hauteur du barrage.

Les sites, choisis eu égard aux conditions topographiques, doivent ensuite être étudiés du point de vue géologique : nature de la roche d'assise, étanchéité, failles, allure des couches, etc.

Pour l'étage II, plusieurs sites pourraient convenir entre les km 18 et 25.

Pour l'étage III, le site définitivement choisi se situe au km 35,7.

Pour l'étage IV, il existe deux possibilités, en aval de Busanga, l'une en face du signal Kalubulu (km 60), l'autre en face du signal Katanda (km 64). L'étage IV bénéficiera au surplus de l'apport du bassin de la Lufupa, de plus de 5.600 km² de superficie.

Ce chapelet de centrales profitera de la régularisation réalisée par le barrage Delcommune; partant du débit turbiné annuel moyen de cette centrale (voir Quatrième Partie), celui de chacune des centrales s'établit de proche en proche en ajoutant au précédent le débit du bassin versant supplémentaire et en retranchant l'évaporation du lac de retenue correspondant.

Les caractéristiques essentielles des quatre étages sont les suivantes :

<i>Etages</i>	<i>Bassin versant km²</i>	<i>Niveau</i>		<i>Chute</i>		<i>Débit turbinable moyen m³/sec.</i>	<i>Puissance moyenne kW</i>	<i>Millions kWh annuels</i>
		<i>Amont</i>	<i>Aval</i>	<i>brute m</i>	<i>nette moyenne m</i>			
I Delcommune	16.300	1.246	1.163	83	75.47	97.38	61.000	533
II km 18 à 25	17.112	1.163	1.065	98	94.—	100.—	82.000	718
III Le Marinel	17.290	1.065	882	183	178.93	103.83	161.000	1.410
IV km 60 ou km 64	22.945	882	775	107	103.—	132.—	118.000	1.034
						Totaux	422.000	3.695

L'aménagement intégral du Lualaba entre Zilo et Busanga représenterait donc une puissance de 422.000 kW et une production annuelle moyenne de 3,7 milliards de kWh, soit 37 % de la production actuelle d'énergie de la Belgique qui est de 10 milliards de kWh.

De cet aménagement, l'étage I (Delcommune) est terminé et en service, et l'étage III (Le Marinel) est en cours de construction pour achèvement fin 1956.

Les quatre centrales dont disposera le Haut-Katanga industriel, après la mise en service de la centrale Le Marinel, totaliseront une puissance installée de

520.000 kVA et seront en mesure de produire l'énergie suivante :

	Capacité de production			Puissance installée kVA
	Année maximum	Année moyenne	Année minimum	
<i>Puissance en kW :</i>				
Francqui	55.240	42.960	27.000	77.100
Bia	29.280	22.760	14.310	46.800
Delcommune	63.980	60.900	49.620	120.000
Le Marinel	168.770	161.900	141.050	276.000
<i>Total</i>	317.270	287.620	231.980	519.900
<i>Millions kWh annuels :</i>				
Francqui	484	376	237	
Bia	256	199	125	
Delcommune	560	533	435	
Le Marinel	1478	1410	1236	
<i>Total</i>	2778	2518	2033	

On peut donc dire que la centrale Delcommune a à peu près doublé les disponibilités offertes par les centrales Francqui et Bia réunies, et, qu'à elle seule, la centrale Le Marinel développera une puissance dépassant de près de 30 % celle des trois autres réunies. En année moyenne, les centrales de

la Lufira et celles du Lualaba interviendront dans la puissance totale respectivement pour 23 et 77 %.

Les capitaux investis dans ces installations, en y comprenant les lignes à haute tension et les sous-stations de transformation, représentent un montant de l'ordre de *six milliards* de nos francs actuels.

Quatrième partie : LA CENTRALE DELCOMMUNE, SUR LE LUALABA, A ZILO

CHAPITRE PREMIER

DONNEES DU PROBLEME

Topographie.

Comme dit plus haut, la centrale Delcommune utilise le premier étage de la dénivellation qui s'amorce à l'entrée des gorges de Zilo; le barrage est situé au km 1,5 et la centrale au km 4,5.

Un levé topographique de la zone d'inondation a été fait; le tableau I donne les volumes accumulables au-dessus de la cote 1.220, ainsi que la superficie inondée pour diverses cotes.

Comme on le verra plus loin, les cotes maximum et minimum de la réserve utilisable par la centrale ont été fixées respectivement à 1.246 et 1.229; le

tableau I donne également les volumes accumulables utiles, au-dessus de la cote 1.229.

La retenue utilisable dans les turbines est de 1.675 millions de m³, et la superficie maximum de la zone inondée est de 207 km², elle s'étend jusqu'au delà du pont du chemin de fer Tenke-Dilolo, qui a dû être surélevé.

Régime hydrologique du Lualaba.

Le débit du Lualaba a été mesuré journallement, de 1921 à 1938, dans une section située immédiatement en amont de l'entrée des gorges de Zilo.

TABLEAU I

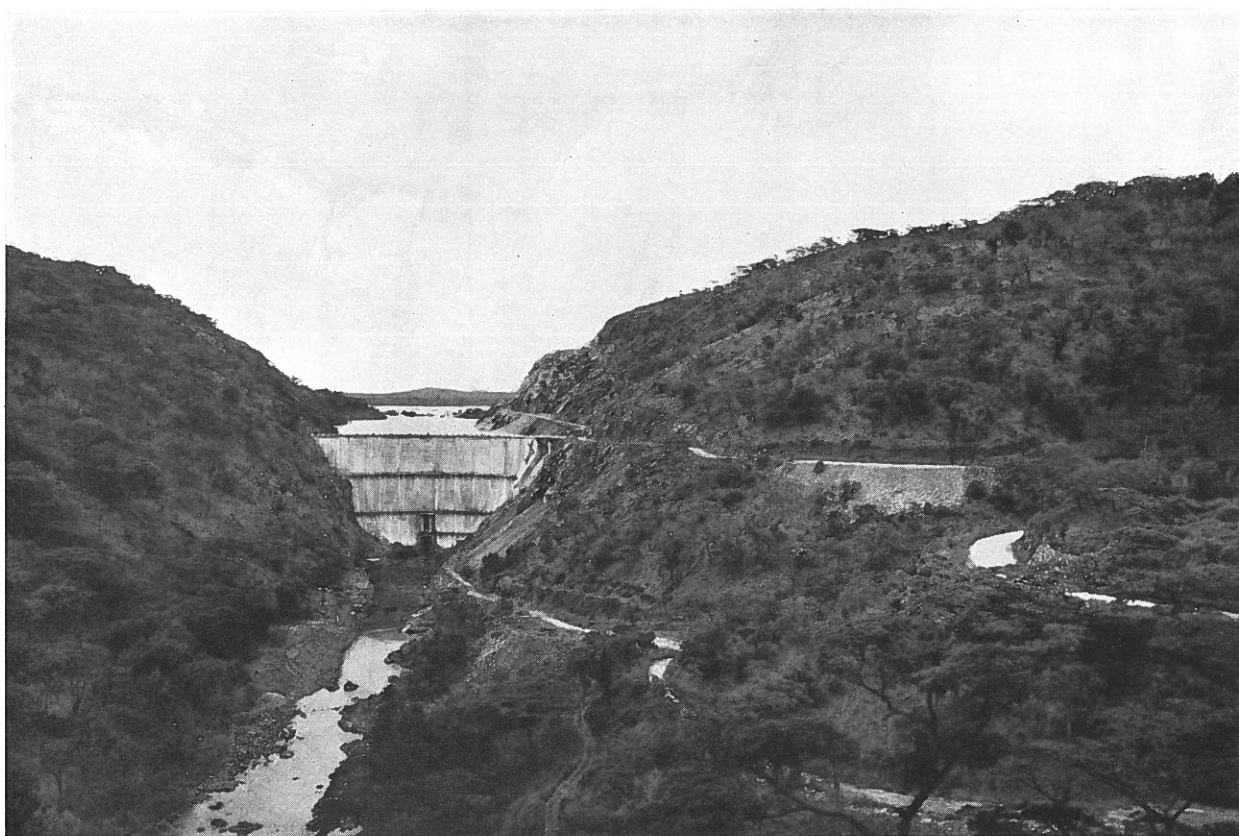
Volume et superficie de la zone inondée

Cote	Surface en km ²	Millions m ³	Millions m ³ au-dessus de 1229	Cote	Surface en km ²	Millions m ³	Millions m ³ au-dessus de 1229
1.220	0	0		1.236	72	332	274
1.221	0	0		1.237	85	411	353
1.222	0	0		1.238	99	503	445
1.223	2	1		1.239	113	609	551
1.224	4	4		1.240	127	729	671
1.225	6	9		1.241	140	862	804
1.226	10	17		1.242	154	1.009	941
1.227	12	28		1.243	168	1.170	1.112
1.228	15	42		1.244	181	1.344	1.286
1.229	19	58	0	1.245	195	1.532	1.474
1.230	23	80	22	1.246	207	1.733	1.675
1.231	28	105	47	1.247	218	1.946	
1.232	33	136	78	1.248	230	2.170	
1.233	39	172	114	1.249	242	2.406	
1.234	47	215	157	1.250	254	2.654	
1.235	58	267	209				

TABLEAU II

Débit du Lualaba, à Zilo — Période 1921-1938. m³/sec.

An- nées	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Moyenne annuelle		Débit litres par m ² par an « q »	Pluies mm/an. ou l/m ² /an « p »	Coefficient de ruissellement q — p %
													m ³ /sec.	Coefficient irrégularité			
1921	95	165	270	204	107	80	60	47	37	32	40	75	101.00	0.97	193.3	1.524	12.7
1922	163	137	221	150	99	72	58	45	35	34	39	50	91.92	0.89	175.9	912	19.3
1923	72	123	145	212	125	82	64	50	39	30	44	104	90.83	0.88	173.9	1.373	12.6
1924	180	227	154	202	103	78	63	50	39	39	44	71	104.17	1.00	199.4	1.031	19.3
1925	85	93	185	196	116	80	65	51	43	42	52	91	91.58	0.88	175.3	1.382	12.7
1926	146	229	220	200	135	95	75	65	50	40	55	90	116.67	1.13	223.3	1.194	18.7
1927	115	156	229	215	115	90	81	59	36	32	36	54	101.50	0.98	194.3	1.366	14.2
1928	106	260	305	275	115	95	65	46	38	28	35	76	120.33	1.16	230.3	1.096	21.0
1929	115	125	157	137	88,5	69	54	44	36,5	32,5	43	83	84.02	0.81	160.8	1.149	14.0
1930	171	213,5	157	215	148	100	73	58	48	45	46	92	113.87	1.10	217.9	1.437	15.1
1931	176	307	475	355	192	135	110,5	92	79	65	76	150	184.37	1.78	352.9	1.458	24.2
1932	157	136	171	169	137	95	77	62	50	42	43	55	99.50	0.96	190.5	1.010	18.8
1933	58	102	124	78	50	41	35	32	30	29	33	79	57.58	0.56	110.2	1.057	10.4
1934	113	133	239	161	83	59	49	39	33	32	43	63	87.25	0.84	167.0	1.242	13.5
1935	82	205	315	247	135	100	79	65	53	41	42	68	119.33	1.15	228.4	988	23.3
1936	107	106	229	241	110	81	65	53	41	34	43	84	99.50	0.96	190.5	1.073	17.7
1937	125	158	278	176	108	79	61	49	42	39	45	66	102.17	0.99	195.6	1.202	16.3
1938	104	142	291	194	112	83	67	56	44	33	45	76	103.92	1.00	198.9	1.119	17.8
Moy.	120,55	167,64	231,39	201,5	115,47	84,11	66,75	53,5	42,97	37,2	44,66	79,28	103,75	1,00	198,6	1.200	16,6
Coef.	1,16	1,62	2,23	1,94	1,11	0,81	0,64	0,52	0,41	0,36	0,43	0,76	1,00				



Les gorges de Zilo et le barrage Delcommune vu de l'aval.

Une courbe de débit, en fonction de la hauteur d'eau, a été établie par une série de jaugeages au moulinet; contrôlée à diverses reprises, cette courbe a été trouvée exacte.

Le tableau II donne les moyennes mensuelles, exprimées en m³/sec.

Le régime hydrologique du Lualaba, à hauteur de Zilo, se caractérise donc comme suit :

	m ³ /sec.	Coefficient d'irrégularité
<i>Moyenne annuelle :</i>		
maximum (1931)	184,37	1,78
<i>moyenne</i>	103,75	1,00
minimum (1933)	57,58	0,56
<i>Moyenne mensuelle :</i>		
maximum (mars)	231,39	2,23
minimum (octobre)	37,20	0,36
<i>Crue exceptionnelle :</i>		
mars 1931	475,00	4,58
<i>Etiage exceptionnel :</i>		
octobre 1928	28,00	0,27

Il était intéressant de faire la comparaison entre les débits de la rivière et les précipitations atmosphériques, pour en déduire un coefficient de ruissellement moyen; les trois dernières colonnes du tableau II donnent ce renseignement. Faut de données complètes sur les précipitations propres au bassin hydrographique considéré, il a été fait usage des chiffres relevés à Elisabethville, région assez voisine du bassin du Lualaba; les chiffres annuels du coefficient de ruissellement ne peuvent donc être pris à la lettre, mais il est probable que le chiffre moyen de 16,6 % obtenu pour la période 1921-1938 se rapproche de la réalité, d'autant plus que la moyenne annuelle des pluies tombées, soit 1.200 mm, est la moyenne générale du Haut-Katanga, qui peut être appliquée, sans grande erreur, au bassin du Lualaba.

Débit maximum instantané.

La moyenne mensuelle la plus élevée est celle de mars 1931 (475 m³), année qui a donné un débit annuel moyen de 184 m³/sec.

Les débits journaliers de mars 1931 manquent pour une partie du mois, le limnimètre ayant été inaccessible; une restitution approximative de la courbe de débit de ce mois a été établie au moyen des chiffres journaliers disponibles de février, mars et avril; cette restitution donne un maximum instantané de 560 m³ à fin mars.

Le débit instantané de 300 m³ n'a été atteint que six fois au cours de la période de dix-huit ans considérée, et le débit de 350 m³ n'a été atteint que deux fois.

On verra plus loin que les ouvrages d'évacuation des crues prévus au barrage sont établis pour un débit dépassant largement la crue maximum connue.

Evaporation.

Le calcul du débit disponible pour les turbines doit tenir compte de la perte par évaporation se produisant dans le lac d'accumulation.

Diverses déterminations expérimentales ont été faites sur d'assez longues périodes, et les chiffres moyens ci-après ont été adoptés dans cette étude :

TABLEAU III. — Evaporation

Janvier	60 mm
Février	60
Mars	60
Avril	90
Mai	100
Juin	110
Juillet	130
Août	170
Septembre	220
Octobre	220
Novembre	120
Décembre	60
Total annuel	1.400 mm

Régularisation.

Afin de créer une accumulation suffisante pour réaliser une régularisation aussi complète que possible, la cote maximum de la retenue a été fixée à 1.246; d'autre part, les ouvrages de prise d'eau en tête du dispositif d'amenée aux turbines sont établis à un niveau tel que leur alimentation puisse

encore se faire dans de bonnes conditions sous un niveau amont 1.229.

La réserve utilisable entre ces deux cotes extrêmes est de 1.675 millions de m³; seuls les 58 millions de m³ situés sous la cote 1.229 et constituant le fond du lac ne sont pas utilisables (voir tableau I); l'accumulation totale créée par le barrage est donc utilisable à raison de 96,5 %

Le débit moyen étant de 103,75 m³/sec. et la réserve maximum étant de 1.675 millions de m³, le régime hydraulique de la centrale a pu être établi.

Le calcul, mois par mois, du régime qu'il eût été possible de réaliser au cours de la période 1921-1938 a été fait dans les hypothèses suivantes :

- on a supposé qu'on disposait, au 1er janvier 1921, d'un remplissage égal à environ 50 % de la réserve maximum, soit 800 millions de m³;
- on s'est imposé une dépense uniforme de 103,75 m³/sec., turbiné plus évaporé.

L'allure des vidanges et remplissages successifs a été déterminée, de même que la variation du niveau amont et de la superficie de la retenue. La perte par évaporation a donc pu être calculée exactement, ainsi que, par différence, le débit turbinable net.

Les calculs complets étant trop longs pour être reproduits ici, le tableau IV en donne un résumé suffisant.

Le régime hydraulique moyen de la période 1921-1938 peut donc se définir comme suit :

Débit turbinable moyen	95,46 m ³ /sec.
Perte moyenne par évaporation	5,90 m ³ /sec.
Niveau moyen de la retenue	1239,87 m ³ /sec.
Périodes de déficit :	
Novembre 1923	59 millions m ³
Janvier-février 1925	63 » »
Octobre-décembre 1925	303 » »
Septembre-décembre 1933	551 » »
Octobre 1934 à janvier 1935	571 » »
	1.547 millions m³
Périodes de déversement :	
Avril-mai 1928	30 millions m ³
Mars-juin 1931	1.318 » »
Février-mai 1932	430 » »
	1.778 millions m³

TABLEAU IV. — Période 1921-1938 — Régime hydraulique — Energie disponible.

An- née	Débit moyen			Réserve millions m ³		Déversement ou déficit millions m ³		Niveau amont			Niveau aval moyen	Perte de charge moy.	Hauteur de chute nette			Puissance kW			Ener- gie mil- lions kWh
	Natu- rel	Tur- biné	Eva- poré	max.	min.	Dé- versé	Dé- ficit	Moy. mens. max.	Moy. mens. min.	Moy. annuelle			Moy. mens. max.	Moy. mens. min.	Moy. ann.	Moy. mens. max.	Moy. mens. min.	Moy. ann.	
1921	101,00	95,87	7,88	1.638	714			1.245,75	1.240,60	1.243,34	1.162,80	2,61	80,34	74,83	77,93	64,160	57,890	61,900	535
1922	91,92	96,82	6,93	1.380	345			1.244,45	1.237,65	1.242,01	1.162,81	2,66	79,00	71,87	76,54	63,990	57,710	61,410	531
1923	90,83	97,93	3,92	756	0	59		1.240,45	1.229,00	1.236,60	1.162,82	2,72	74,93	63,12	71,06	61,220	43,830	57,720	494
1924	104,17	99,05	4,70	905	14			1.241,70	1.231,15	1.237,81	1.162,83	2,77	76,18	65,27	72,20	61,880	55,780	59,230	512
1925	91,58	89,69	2,34	483	0	366		1.238,25	1.229,00	1.233,02	1.162,71	2,36	72,61	63,83	67,94	60,070	27,610	50,690	438
1926	116,87	97,89	5,86	1.069	0			1.242,65	1.229,00	1.239,46	1.162,82	2,71	77,20	65,07	73,94	62,450	55,600	59,980	518
1927	101,50	97,27	6,48	1.214	334			1.243,50	1.237,50	1.240,88	1.162,81	2,68	78,03	71,72	75,40	62,770	57,730	60,750	525
1928	120,33	97,14	7,83	1.675	334	30		1.246,00	1.236,85	1.242,97	1.162,91	2,68	80,62	71,05	77,38	68,810	57,910	62,250	538
1929	82,04	98,20	5,55	1.087	100			1.242,70	1.233,25	1.239,93	1.162,82	2,73	77,21	67,39	74,38	63,320	57,320	60,550	523
1930	113,87	97,71	6,04	1.103	100			1.242,85	1.233,25	1.240,02	1.162,82	2,70	77,41	68,41	74,50	62,580	57,690	60,340	521
1931	184,37	98,21	8,75	1.675	416	1.318		1.246,00	1.237,85	1.244,57	1.163,19	2,73	80,86	72,79	78,65	68,890	58,030	63,980	553
1932	99,50	97,19	8,61	1.675	889	430		1.246,00	1.242,00	1.244,97	1.162,98	2,67	80,61	76,31	79,31	68,560	57,980	63,940	552
1933	58,57	83,01	3,06	889	0	551		1.241,20	1.229,00	1.235,91	1.162,61	2,14	75,51	64,68	71,16	62,870	15,210	49,580	428
1934	87,25	84,84	2,41	601	0	515		1.239,15	1.229,00	1.233,52	1.162,63	2,21	73,52	63,72	68,68	60,540	16,850	48,590	420
1935	119,33	95,40	6,54	1.266	0	56		1.243,85	1.229,00	1.240,04	1.162,79	2,59	78,43	64,40	74,63	63,710	43,540	59,170	511
1936	99,50	97,24	6,51	1.256	410			1.243,75	1.237,95	1.241,07	1.162,81	2,68	78,28	72,19	75,58	62,900	57,730	60,890	526
1937	102,17	97,27	6,48	1.259	361			1.243,80	1.237,65	1.241,01	1.162,81	2,68	78,33	71,87	75,51	63,000	57,680	60,850	526
1938	103,92	97,44	6,31	1.204	361			1.243,45	1.237,10	1.240,60	1.162,81	2,68	77,98	71,32	75,11	62,780	57,680	60,620	524
1	103,75	95,46	5,90			1.778	1.547			1.239,87	1.162,82	2,61			74,44			59,020	510
2	108,75	97,38													75,47			60,900	533
3	79,13	85,85													69,26			49,620	435
4	184,37	98,21													78,65			63,980	560

1 = Moyenne générale.

2 = Moyenne des 15 années moyennes.

3 = Moyenne des 3 années minimum (1925-1933-1934).

4 = Année maximum (1931).

Le bilan hydraulique global de la période 1921-1938 se présente comme suit, en millions de m³ :

Disponible	
Réserve au 1er janvier 1921	800
Apport du Lualaba	58.267
Réserve au 31 décembre 1938	— 367
	58.700
Utilisation	
Turbinable	53.608 = 91,2 %
Perte par évaporation	3.314 = 5,6 %
Perte par déversement	1.778 = 3,2 %
	58.700 = 100 %

La cote 1.246 de la retenue maximum a été judicieusement fixée, car elle permet d'utiliser le débit cumulé du Lualaba à raison de 91,2 %, la perte par déversement n'étant que de 3,2 %; la perte par évaporation, inévitable, est de 5,6 %.

Une vérification sommaire de la perte par évaporation est la suivante :

Le tableau IV montre qu'au cours de la période de dix-huit ans considérée, le niveau moyen de la retenue s'établit à 1.239,87; l'évaporation annuelle étant de 1,40 m, on peut supposer, à titre d'approximation, que la tranche perdue par évaporation correspond fictivement à celle qui est comprise entre les cotes 1.239,17, superficie 115 km², et 1.240,57, superficie 134 km², c'est-à-dire que l'évaporation peut être considérée comme s'étant produite sur une superficie moyenne de 124,5 km², d'où perte totale de :

124.500.000 m² x 1,40 m x 18 ans = 3.137 millions de m³, alors que le calcul mois par mois a donné 3.314 millions de m³. La correspondance est donc satisfaisante.

Les périodes durant lesquelles la centrale aurait dû marcher au fil de l'eau, réserve épuisée, se limitent à cinq au cours des dix-huit ans, et elles totalisent quatorze mois.

Les périodes de déversement par les vannes de crue se réduisent à trois, totalisant dix mois.

Pour réaliser une régularisation totale, il aurait fallu pouvoir conserver, en supplément, le volume déversé maximum, soit les 1.318 millions de m³ perdus en 1931. L'accumulation de ce volume au-dessus de la cote 1.246 eût conduit à la cote 1.251,50 soit 5,50 m au-dessus de la cote maximum adoptée.

Emplacement de la centrale. Hauteur de chute.

La centrale est située au km 4,5 depuis l'entrée des gorges. Des relevés limnimétriques effectués durant plusieurs années ont permis de dresser la courbe du niveau de restitution en fonction du débit; ce niveau varie peu, tout au moins dans la zone des débits turbinés qui nous intéresse, et le tableau IV montre qu'il est, en moyenne, de 1.162,82.

La chute brute moyenne est donc de 1.239,87 — 1.162,82 = 77,05 m et elle évolue entre le maximum et le minimum suivants :

Maximum : 1.246,00 — 1.162,82 = 83,12 m

Minimum : 1.229,00 — 1.162,82 = 66,12 m

Puissance disponible.

La perte de charge dans les ouvrages d'aménée est, en moyenne, de 2,61 m (voir chap. II); la hauteur de chute nette est donc, en moyenne, sur les dix-huit ans, de 77,05 — 2,61 = 74,44 m.

Pour le calcul de la puissance développée, on a adopté les rendements moyens garantis par les constructeurs des turbines (0,88) et des alternateurs (0,97).

Le tableau IV donne, pour chaque année, la moyenne mensuelle maximum et minimum et la moyenne annuelle de la puissance développée, ainsi que l'énergie produite, en millions de kWh, aux bornes des alternateurs.

Les chiffres de puissance les plus caractéristiques sont les suivants :

	Puissance moyenne kW	Energie produite M. kWh
Année maximum (1931)	63.980	560
Année minimum (1934)	49.620	435
Moyenne des 15 années moyennes	60.900	533

On peut donc dire que la centrale Delcommune est capable de produire environ 500 millions de kWh par an.

Surélévation du chemin de fer Tenke-Dilolo.

Le pont se trouve à 50 km en amont du barrage, et la membrure inférieure de la poutre était à la cote 1.243,60. Cet ouvrage, comportant deux travées

métalliques Vierendeel de 52 m, pesant 130 t chacune, a été surélevé de 4 m et porté à la cote 1.247,60.

Le remous depuis le barrage jusqu'au pont a été trouvé, par un calcul prudent, égal à 0,50 m; le plan d'eau maximum normal au droit du pont s'établit donc à 1.246,50, ce qui laisse un tirant d'air minimum de 1,10 m.

Ce ne serait que très exceptionnellement — comme on le verra lors de la discussion des évacuateurs de crue — que le tirant d'air pourrait être réduit à 0,50 m, au cas où le plan d'eau monterait, au barrage, à 1.246,60.

La route Jadotville-Kolwezi, qui franchissait la rivière par un bac à 30 km en amont du barrage, a dû être détournée sur 60 km de façon à traverser la zone inondée par un pont construit dans le voisinage immédiat du pont du chemin de fer.

La ligne de transport de force à 120.000 V Kolwezi-Jadotville, qui traverse la rivière à côté

de l'ancien bac, a dû être surélevée. Elle franchit la zone inondée par de grandes portées dont la plus longue, mesurant 515 m, est encadrée de pylônes métalliques de 29 m de hauteur, montés eux-mêmes sur des portiques en béton de 7 m émergeant du plan d'eau maximum.

On a vu plus haut qu'une régularisation totale eut amené l'inondation à la cote 1.251,50, soit 5,50 m au-dessus de la cote adoptée.

Il aurait fallu, dans ce cas, surélever le chemin de fer de 9,50 m, ce qui eût conduit à le détourner sur une grande distance; le détournement de la route eût été plus compliqué également.

En résumé, la dépense qu'eussent entraînée ces importants travaux supplémentaires n'était pas justifiée par le faible gain en énergie qu'on eût réalisé par la régularisation totale.

On peut donc dire que la régularisation obtenue avec une retenue à la cote 1.246 est plus que satisfaisante.

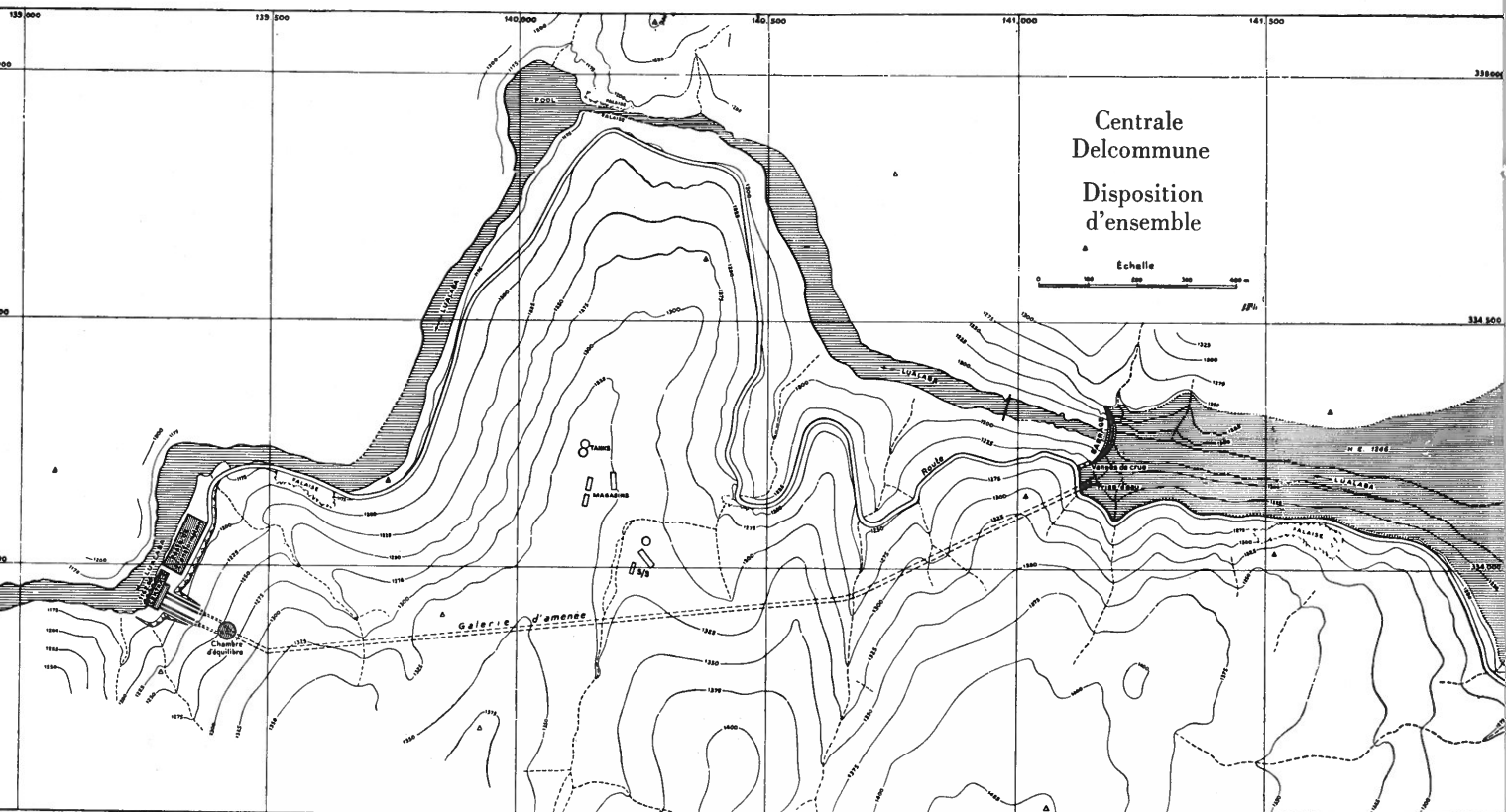
CHAPITRE II

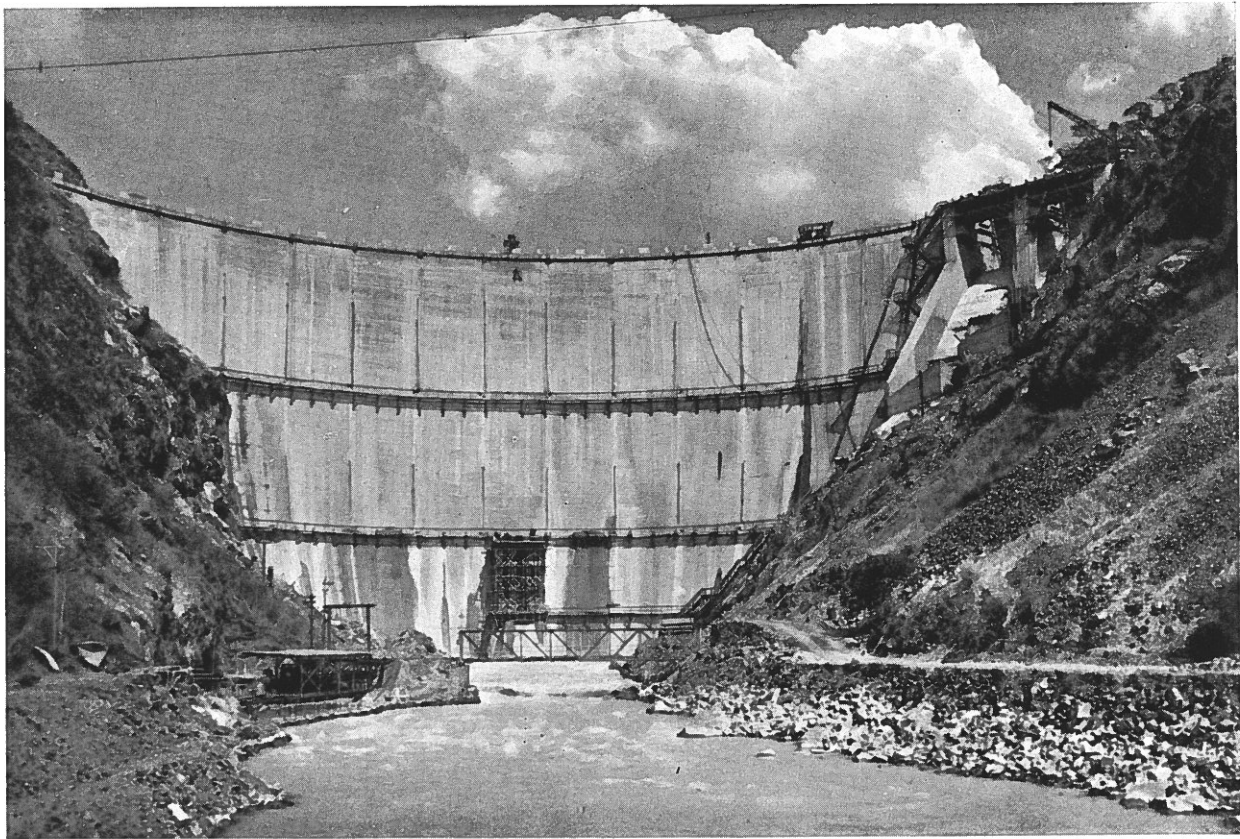
DESCRIPTION DE L'AMENAGEMENT HYDROELECTRIQUE

Vue d'ensemble.

L'aménagement de la centrale Delcommune comprend, dans ses grandes lignes :

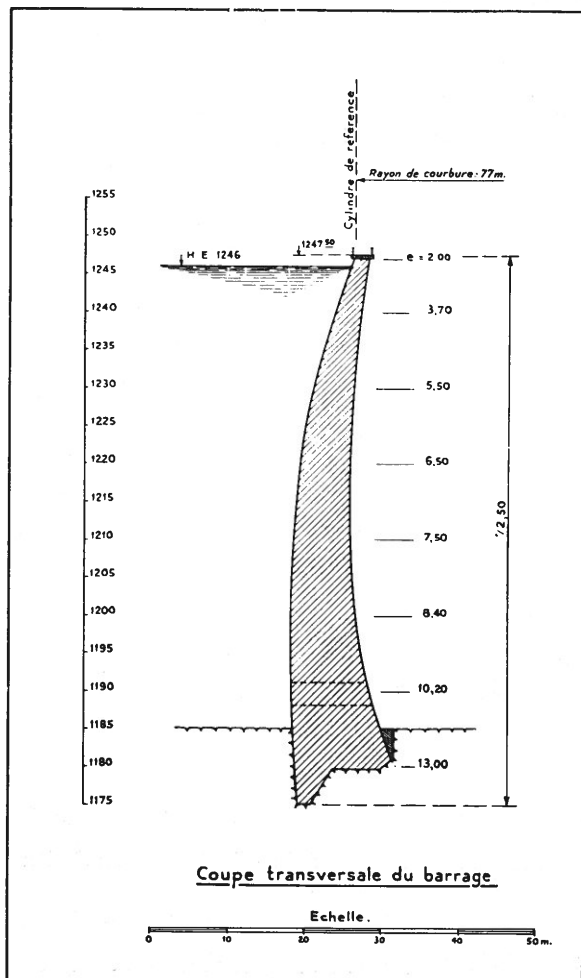
— Un barrage-voûte, en béton non armé, avec point bas de la fondation à la cote 1.175, couronnement à la cote 1.247,50, soit une hauteur maximum de 72,50 m; il est muni d'une con-





Centrale Delcommune sur le Lualaba - Le barrage vu de l'aval.

- duite de vidange de section rectangulaire de 2,50 m de largeur sur 3 m de hauteur, avec vanne de garde amont et vanne de réglage aval;
- Un dispositif d'évacuation des crues, comprenant deux pertuis de 9 m d'ouverture chacun, avec seuil de déversement arasé à 1.240. Chaque pertuis est muni d'une vanne à secteur dont l'arête supérieure est à la cote 1.246,74, vanne fermée;
 - Un dispositif d'aménée comprenant :
 - a) Une prise d'eau à deux pertuis de 3,50 m d'ouverture et 6 m de hauteur, avec seuil à la cote 1.220; cette prise d'eau est équipée de vannes-batardeaux, de grilles et d'un râteau-dégrilleur;
 - b) Une galerie revêtue de béton non armé, profilée en forme de fer à cheval, de 41,57 m² de section utile et de 1.773 m de longueur;
 - c) Une chambre d'équilibre constituée par un puits vertical de grande section, avec margelle à la cote 1.253;
 - d) Deux galeries blindées circulaires, de 4,50 m de diamètre et de 58 m de longueur, se terminant par des culottes 4,50/2 x 2,95 m de diamètre;
 - e) Quatre conduites forcées de 2,95 m de diamètre et de 106 m de longueur, munies chacune à l'amont d'une vanne-papillon à fermeture automatique, et à l'aval, d'une vanne sphérique;
 - Une centrale comprenant quatre groupes turbo-alternateurs à axe vertical, vitesse 333 1/3 t m. La turbine développe 38.000 CV sous la chute nette maximum, et l'alternateur à 6.600 V est prévu pour une puissance normale en régime continu de 27.000 kW avec un facteur de puissance 0,9 (30.000 kVA); -
 - Un poste de transformation du type extérieur étalé, comportant quatre transformateurs 6.600/120.000 V, 33.000 kVA, composés chacun de trois pôles monophasés de 11.000 kVA;
 - Deux lignes de transport de force à 120.000 V,



3 x 161 mm² de cuivre, de 20 km de longueur, reliant la centrale, à Kolwezi, au réseau 120.000V existant.

Barrage.

Le barrage est établi au km 1,5 des gorges; en cet endroit, la vallée est étroite et les flancs sont escarpés, conditions qui se prêtaient à l'établissement d'un barrage en voûte mince.

Une étude géologique approfondie du site a été faite par galeries et sondages; la roche d'assise et d'appui du barrage-voûte est un quartzite très résistant à la compression, avec joints de stratification et diaclases peu perméables et facilement obturables par un voile d'injections qui assure une liaison parfaite de la roche d'assise et l'étanchéité de la

retenue. Ce voile pourrait éventuellement être prolongé sur les flancs de la vallée si la nécessité s'en faisait sentir; l'expérience a toutefois montré que cette précaution ne sera pas nécessaire.

Le lit de la rivière à l'emplacement du barrage est à la cote 1.180 environ; la fouille a été poussée au minimum à 5 m sous le niveau du plafond; les appuis sur les flancs de la vallée ont été décapés également sur environ 5 m d'épaisseur.

L'assise du barrage est à la cote 1175 et son couronnement à 1.247,50; la hauteur totale est donc de 72,50 m. La longueur en crête est de 162 m, vannes de crue comprises. Le plan d'eau maximum normal étant à 1.246, la revanche est de 1,50 m.

La voûte est symétrique, et le rayon du cylindre de référence, se confondant avec le cercle d'extrados au couronnement, est de 77 m. L'épaisseur est de 13 m à la base et de 2 m au couronnement.

La nécessité de disposer deux vannes de crue sur la rive gauche a conduit à l'établissement d'une culée reprenant la poussée de la partie supérieure de la voûte, ce qui a d'ailleurs permis d'adopter une voûte symétrique, malgré la dissymétrie des flancs de la vallée. Le barrage comporte 50.000 m³ de béton et la culée 10.000 m³, soit un total de 60.000 m³.

Le bétonnage a été exécuté par plots verticaux de 10 m de longueur, séparés par des joints provisoires de retrait dans lesquels furent faites des injections de ciment après refroidissement et retrait partiels du béton; à cet effet, un réseau de tuyauteries munies de clapets spéciaux a été noyé dans le béton à mesure de sa mise en place. Les joints verticaux sont obturés, du côté amont, par une feuille de cuivre.

Le bétonnage des plots s'est fait par levées de 1,75 m d'épaisseur, deux levées superposées ne pouvant être coulées à moins de quatre jours d'intervalle; au surplus, chaque levée de 1,75 m a été coulée au minimum en quatre passes, de façon à limiter à 0,40 - 0,50 m l'épaisseur de béton frais soumise aux opérations de vibration.

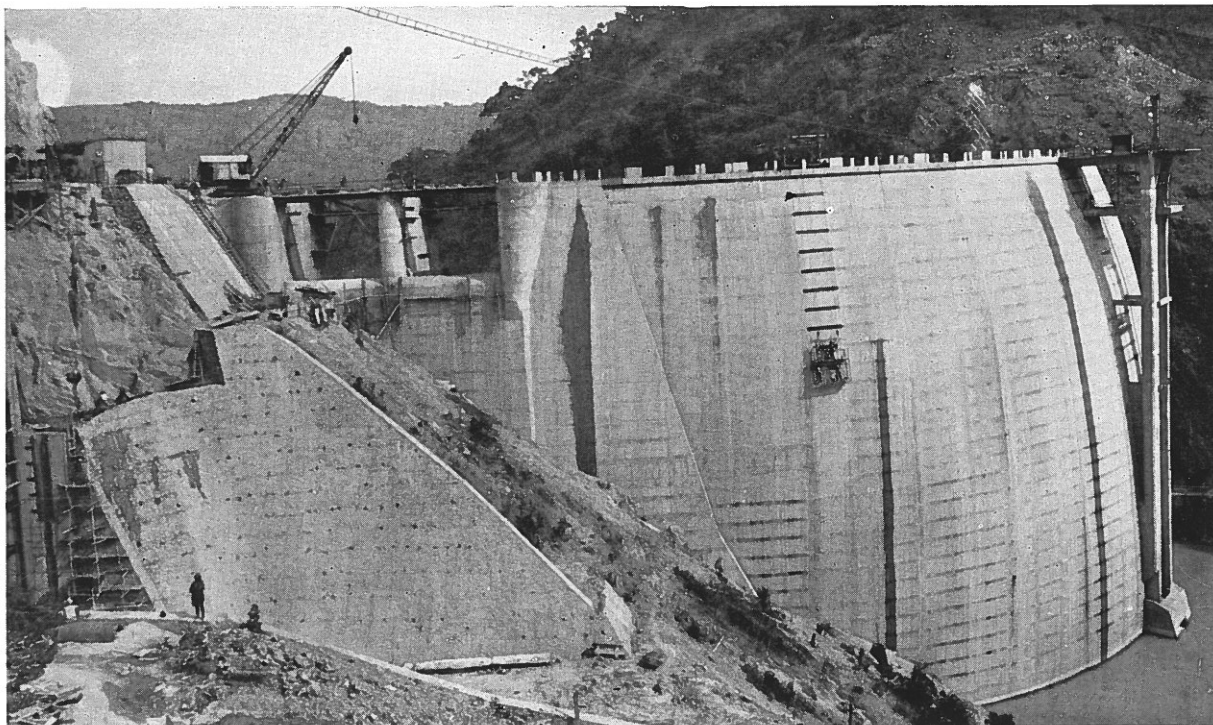
Le béton est dosé à 275 kg de ciment et les agrégats, provenant de roches quartzitiques du site même, ont la granulométrie suivante :

Par mètre cube de béton :

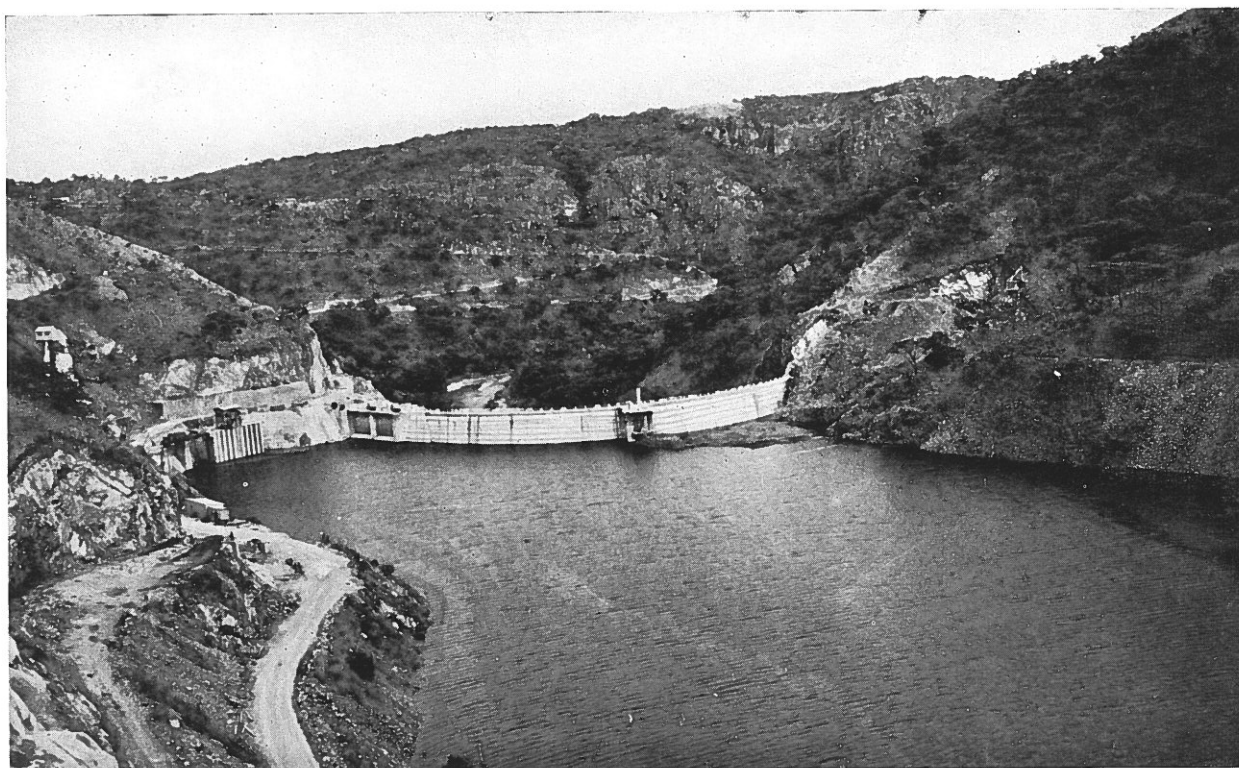
sable	430 kg ou 269 l
gravier 2/10 mm	414 » 300
gravier 10/25 mm	239 » 178
gravier 40/80 mm	902 » 675
eau de gâchage	142

Une telle composition a donné les résistances suivantes, sur cubes de 30 cm :

à 7 jours	303 kg/cm ²
à 28 jours	379 kg/cm ²



Centrale Delcommune sur le Lualaba - Barrage vu de l'amont, à vide.



Centrale Delcommune sur le Lualaba - Barrage, vannes de crue et prise d'eau.

Evacuation des crues.

Il a été dit plus haut que le débit maximum instantané enregistré au cours de dix-huit ans, est de 560 m³/sec.; les ouvrages d'évacuation comportent une conduite de vidange de fond et deux vannes de surface à secteur.

Conduite de vidange. — Cette conduite est constituée par un blindage d'acier noyé dans le corps du barrage, de section rectangulaire de 2,50 m de largeur sur 3 m de hauteur, avec seuil arasé à 1.188,82, donc axe à la cote 1.190,32; sous le niveau amont 1.246, elle peut évacuer 200 m³/sec.

Elle était d'ailleurs indispensable pour assurer l'écoulement du débit de la rivière aux basses eaux, au moment où, en fin de travail, on obtura définitivement l'ouvrage de tête de la galerie ayant servi à dériver la rivière pendant la construction du barrage.

Cette conduite est munie à l'amont d'une vanne de garde à chenille de 2,50 m. de largeur et 3,80 m. de hauteur, dont la manœuvre est assurée par un servo-moteur à pression d'huile placé en crête du barrage; la vanne est reliée au servo-moteur par une chaîne de brimbales dont le démontage successif permet d'amener la vanne au-dessus du plan d'eau pour inspection et entretien.

Le réglage du débit se fait par une vanne aval à tablier glissant de 2,50 m de largeur et 3 m de

hauteur, commandée par un servo-moteur à pression d'huile permettant de mouvoir la vanne sous toute la charge amont et de la maintenir dans une position intermédiaire quelconque; ce servo-moteur est accouplé rigidement à la vanne.

Cette vanne de réglage est suivie d'un chenal en béton armé d'une forme spécialement étudiée sur modèle réduit, destiné à détruire la force vive du jet.

Evacuateur de surface. — Cet évacuateur, situé sur la rive gauche, comporte deux pertuis de 9 m. d'ouverture, seuil à 1.240, munis de vannes à secteur permettant une retenue à la cote 1.246,74. Le levage de chacune des vannes est assuré par deux treuils à chaîne Galle accouplés à un même arbre et entraînés par un mécanisme commun, comprenant un réducteur de vitesse et un moteur électrique; une commande de secours à main, par manivelle, est également prévue.

Les seuils déversants, profilés sensiblement suivant le profil de Creager, sont suivis de sauts de ski destinés à rejeter la nappe au pied de la falaise constituant la rive gauche de la vallée; la protection contre les affouillements du massif d'appui du barrage est donc assurée. Le comportement de cet ensemble a été étudié sur modèle réduit.

Le tableau ci-après donne les débits de crue qu'il est possible d'évacuer, dans diverses hypothèses de niveau amont, centrale arrêtée, ou en marche avec un nombre variable de groupes.

TABLEAU V. — Evacuation des crues

Niveau amont	Tirant d'air au pont-rail m	Centrale arrêtée		Centrale en marche avec :			
		2 vannes de crue m ³ /sec.	2 v. de crue + v. de vidange m ³ /sec.	1 groupe m ³ /sec.	2 groupes m ³ /sec.	3 groupes m ³ /sec.	4 groupes m ³ /sec.
1246,00	1,10	560	760	793	827	860	893
1246,60	0,50	650	850	883	917	950	983
1247,10	0,00	720	920	953	987	1.020	1.053

Ce tableau permet de tirer les conclusions suivantes :

a) avec centrale à l'arrêt et retenue au niveau normal 1.246, l'ensemble des ouvrages d'évacuation permet un débit de :

— Pour le niveau 1.246,00 : 760 m³, soit 1,36 fois la crue maximum connue;

— Pour le niveau 1.246,60 : 850 m³, soit 1,52 fois la crue maximum connue ;

— Pour le niveau 1.247,10 : 920 m³, soit 1,64 fois la crue maximum connue ;

b) avec centrale en marche à trois groupes, les débits deviennent :

- Pour le niveau 1.246,00 : 860 m³, soit 1,54 fois la crue maximum connue ;
- Pour le niveau 1.246,60 : 950 m³ soit 1,70 fois la crue maximum connue ;
- Pour le niveau 1.247,10 : 1020 m³, soit 1,82 fois la crue maximum connue.

Le cas limite avec niveau à 1.247,10 (tirant d'air nul au pont du chemin de fer) n'a été envisagé que pour se rendre compte de l'importance de la crue qui risquerait d'interrompre le passage sur le pont ; encore faut-il observer que le rail se trouve à 1 m au-dessus du niveau de la membrure inférieure.

On peut donc dire que les ouvrages d'évacuation des crues donnent toute la sécurité nécessaire.

Il existe d'ailleurs une autre marge de sécurité : c'est le temps que mettrait la crue à remplir le volume accumulable entre 1.246 et 1.246,60 soit 128 millions de m³, puis entre 1.246,60 et 1.247,10, soit 108 millions de m³.

Le tableau ci-après donne, pour une crue de 1.400 m³/sec, soit 2,5 fois la crue maximum connue, le temps nécessaire pour atteindre successivement différentes cotes au-dessus du niveau maximum normal 1.246 :

TABLEAU VI.

Temps nécessaire pour atteindre divers niveaux, avec une crue de 1.400 m³/seconde

Niveau amont	Tirant d'air au pont	Temps nécessaire avec trois groupes en marche	Temps nécessaire centrale à l'arrêt
	Mètres	Heures	Heures
1246,00	1,10	—	—
1246,10	1,00	10,2	8,7
1246,20	0,90	20,7	17,5
1246,30	0,80	31,5	26,6
1246,40	0,70	42,6	36,0
1246,50	0,60	54,0	45,5
1246,60	0,50	65,9	55,4
1246,70	0,40	78,1	66,6
1246,80	0,30	90,7	77,0
1246,90	0,20	103,7	87,7
1247,00	0,10	117,2	98,7
1247,10	0,00	131,2	110,1

Suivant le nombre de groupes en marche, la crue mettra donc :

- de 55 à 66 h pour atteindre le niveau 1.246,60, pour lequel le tirant d'air est encore de 50 cm ; cela représente une moyenne de 2,5 jours ;

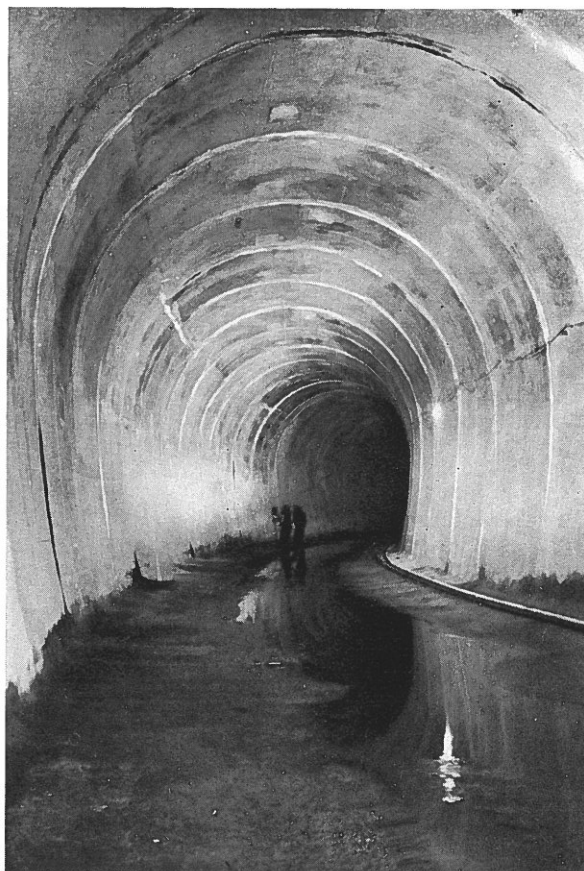
- de 110 à 131 h pour atteindre le niveau 1.247,10 pour lequel le tirant d'air serait nul ; cela représente une moyenne de 5 jours.

Comme il est certain qu'une pointe de 1.400 m³, si elle devait jamais se produire, serait de durée extrêmement courte, on peut dire que les dispositifs d'évacuation mettent les ouvrages à l'abri de tout danger.

Dispositif d'amenée aux turbines.

Prise d'eau. — L'ouvrage de prise d'eau commandant la galerie d'amenée comporte deux vannes-batardeaux roulantes de 3,50 m de largeur sur 6 m de hauteur, avec seuil à la cote 1.220. Ces vannes ne devant être abaissées qu'occasionnellement pour permettre la visite de la galerie et de la chambre d'équilibre, elles ne sont pas commandées par servo-moteur à pression d'huile ; le dispositif de mise en place et de relevage comporte simplement, pour chaque vanne, un treuil électrique à câble.

Centrale Delcommune sur le Lualaba - Galerie d'amenée.



Chacun des pertuis de la prise d'eau est protégé par une grille fixe verticale de 13,50 m de hauteur et 7 m de largeur; un batardeau permet de mettre les grilles à sec, aux basses eaux, pour visite et réparation.

Un râteau-dégrilleur, mobile sur la plate-forme supérieure, et mû électriquement, assure le nettoyage de la grille; il comporte, au surplus, deux grues pivotantes accouplées pouvant, soit être munies d'un grappin pour le levage des corps flottants, soit servir à la manutention des éléments du batardeau permettant l'inspection de la grille. Il n'a donc pas été prévu de pertuis spécial pour l'évacuation des corps flottants, mais une grille flottante a été établie dans la gorge.

Un télélimnimètre transmet le niveau amont au tableau de commande de la centrale.

Tout cet ensemble est logé dans une tour en béton de 27,50 m de hauteur.

La cote de vidange a été fixée, en principe, à 1.232, mais l'alimentation de la centrale peut encore se faire dans de bonnes conditions sous la cote 1.229. C'est cette dernière qui a servi plus haut à fixer le volume de la retenue turbinable. La prise d'eau est prévue pour assurer un débit de 153 m³/sec. lorsque la retenue atteint la cote maximum 1.246,60 et de 140 m³/sec. lorsque la retenue est abaissée au niveau 1.229.

Galerie d'amenée. — La section de cette galerie, en forme de fer à cheval, a les caractéristiques suivantes :

Section d'écoulement	41,57 m ²
Périmètre mouillé	23,90 m
Rayon hydraulique	1,74 m
Largeur au radier	6,22 m
Hauteur	6,81 m

La longueur, comptée depuis les vannes de la prise d'eau jusqu'à l'axe de la chambre d'équilibre, est de 1.773 m; la pente longitudinale est de 0,002 sur les 521 premiers mètres, et de 0,004 sur le restant de la longueur.

Les terrains traversés par la galerie — quartzites et schistes durs — ont permis de réduire au strict minimum l'épaisseur théorique du revêtement en béton non armé, soit 25 cm sur pointes, avec maximum de 0,40 m.

Une porte de visite et une conduite de vidange sont installées dans la galerie qui a servi de fenêtre intermédiaire pour le creusement du tunnel.

Chambre d'équilibre. — Le radier de la galerie d'amenée, au droit de l'axe de la chambre d'équilibre, est à la cote 1.213,60; elle communique, par un diaphragme circulaire de 3,60 m de diamètre, avec cette chambre dont le fond est à la cote 1.220 et la margelle à la cote 1.253. Le diamètre de la chambre d'équilibre est de 19,50 m entre 1.220 et 1.242, et de 31,50 m entre 1.242 et 1.253. Elle est creusée en plein rocher et est revêtue de béton très légèrement armé.

Le niveau statique maximum dans la chambre est à 1.246, exceptionnellement 1.246,60, et la surélévation maximum dans ce dernier cas, avec arrêt brusque des quatre turbines, atteint 1.252,30. L'abaissement minimum du plan d'eau en cas de mise en marche brusque d'un groupe s'établit à 1.223. Ces résultats ont été obtenus par essais sur modèle réduit, effectués en vue de contrôler les calculs.

L'introduction de corps étrangers dans les conduites forcées et les turbines, par l'ouverture du diaphragme, est empêchée par un champignon en béton armé solidaire, par quatre colonnettes, du fond de la chambre d'équilibre. En cas d'arrêt simultané de quatre groupes, ce champignon est soumis à une poussée verticale de bas en haut de 150 t.

Le comportement de tout l'ouvrage a été étudié sur modèle réduit.

Galeries blindées. — Au pied de la chambre d'équilibre, la galerie d'amenée bifurque en deux galeries circulaires de 4,50 m de diamètre pourvues d'un blindage en tôle d'acier de 12 mm, avec blocage de béton entre la paroi métallique et la roche.

Le blindage est muni de raidisseurs qui servent également à assurer une bonne solidarité entre la tôle et le béton.

Ces galeries blindées, de 45,375 m de longueur, se terminent par des culottes 4,50/2 x 2,95 m enrobées dans les massifs de béton formant bouchon aval de chaque galerie; leur longueur est de 13 m.

L'assemblage sur place des éléments de ces blindages a été exécuté par soudure à l'arc. Après mise en place du blocage en béton, des injections de ciment ont été exécutées dans le but de remplir les vides éventuels et d'assurer une bonne liaison avec la roche.

Conduites forcées. — Les quatre conduites forcées faisant suite aux branches aval des culottes du blindage ont 2,95 m de diamètre, 106,535 m de longueur et l'épaisseur de la tôle d'acier varie de 12 à 17 mm de l'amont à l'aval. Le tronçon principal a une pente de 45°, et les conduites se terminent par un élément horizontal comprenant un convergent

2,95/2,30 m, aboutissant aux vannes sphériques précédant immédiatement les turbines.

L'assemblage sur place des éléments de ces conduites et de leurs raidisseurs a été fait par soudure à l'arc.

L'entrée de chacune des quatre conduites forcées est commandée par une vanne-papillon à fermeture automatique, mue par un servo-moteur à pression d'huile, assurant un temps de fermeture compris entre 20 et 30 sec, et un temps d'ouverture compris entre 7 et 10 min.

Vitesses et pertes de charge. — Le tableau VII donne les vitesses et pertes de charge dans les divers éléments du dispositif d'amenée, pour des débits totaux de 116,7 et 155,6 m³/sec., correspondant respectivement à trois et à quatre groupes en marche à pleine charge.

Pour 95,46 m³/sec., correspondant au disponible annuel moyen, la perte de charge est de 2,35 m; les pertes de charge indiquées au tableau VII ont été calculées avec un certain coefficient de sécurité : base 2,75 m pour un débit de 100 m³/sec.

TABLEAU VII. - Vitesses et pertes de charge

	Dia- mètre m	Sec- tion m ²	Lon- gueur m	3 groupes				4 groupes			
				Q	V	j	J Tot.	Q	V	j	J Tot.
				m ³ /sec.	m/sec.	mm p.m.	m	m ³ /sec.	m/sec.	mm p.m.	m
Grille (Estim.)	—	—	—	116,7	—	—	0,20	155,6	—	—	0,36
Galerie	—	41,57	1773	116,7	2,80	0,80	1,42	155,6	3,74	1,40	2,48
Blindé	4,50	15,90	58	77,8	4,95	1,87	0,11	77,8	4,95	1,87	0,11
Conduite forcée	2,95	6,83	125	38,9	5,70	7,30	0,91	38,9	5,70	7,30	0,91
Coudes, etc.	—	—	—	—	—	—	0,70	—	—	—	1,20
V2/2g résiduel	—	—	—	—	—	—	0,20	—	—	—	0,36
Total							3,54				5,42

CENTRALE

Détermination de la puissance des groupes.

Turbines. — On a vu plus haut que le débit naturel moyen de la rivière est de 103,75 m³/sec. et que le débit régularisé moyen, compte tenu de la perte par évaporation et des déversements occasionnels, est de 95,46 m³/sec.

La spécification préliminaire des groupes a été basée sur un débit turbiné de 100 m³/sec., à répartir entre trois unités capables chacune de 33,3 m³/sec.; ce débit unitaire conduit à des dimensions et des poids compatibles avec les nécessités du transport (gabarit des chemins de fer, transport par route, etc.).

Les turbines présentent en fait les caractéristiques suivantes :

Chute nette m	Débit turbiné m ³ /sec.	Rendement à pleine charge %	Puissance CV	Conditions de marche
83,55	38,3	89,0	38.000	Niv. maximum : 1 groupe en marche
79,50	38,9	88,0	36.300	» » : 3 groupes » »
76,00	38,2	88,0	34.100	» moyen : 3 groupes » »
70,00	36,3	88,0	29.800	» minimum : 1 groupe » »
65,50	35,0	87,7	26.800	» » : 3 groupes » »

Vitesse de rotation : 333 1/3 t m.

Alternateurs. — La puissance de l'alternateur doit correspondre à la puissance maximum de 38.000 CV que peut développer la turbine, soit 38.000 x 0,736 x 0,97 = 27.000 kW, puissance nominale en régime

continu; la puissance apparente a été fixée à 30.000 kVA, en raison d'un facteur de puissance 0,9.

Les alternateurs peuvent d'autre part supporter, sans que les échauffements dépassent de plus de 10°

les échauffements normaux, une surcharge de 7 % en marche continue et de 20 % pendant une heure. Une surcharge de 7 % conduit à 28.900 kW, soit, pour un facteur de puissance 0,9, 32.000 kVA.

Transformateurs 6.600/120.000 V. — Afin de garder une marge de sécurité raisonnable par rapport aux 30.000 kVA de l'alternateur et compte tenu de la température ambiante, les transformateurs, du type à refroidissement naturel, ont été établis pour 33.000 kVA, soit trois pôles monophasés de 11.000 kVA; cette marge contribuera, au surplus, à diminuer la température du point chaud des enroulements et à retarder, de ce fait, leur vieillissement.

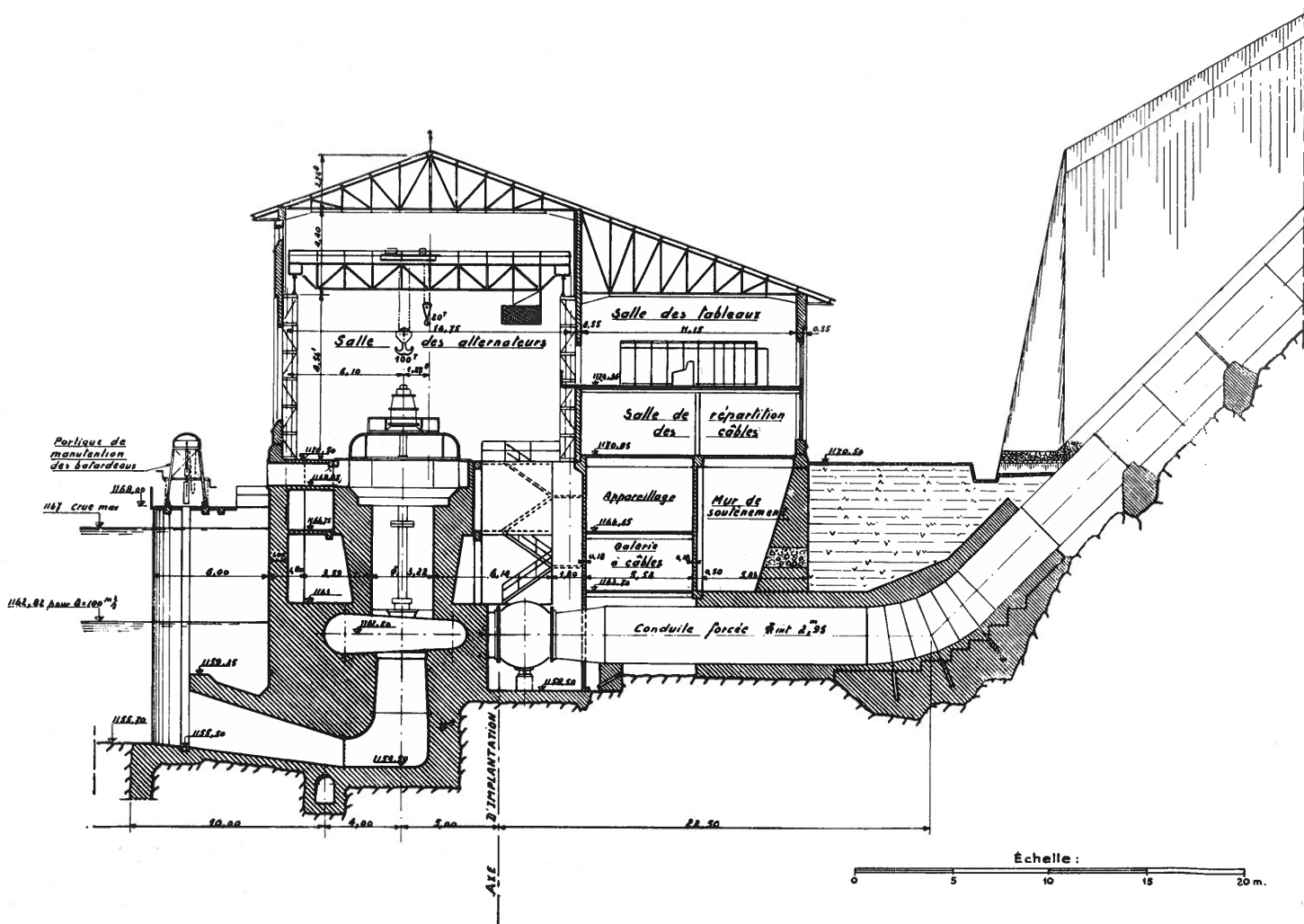
La pleine puissance de la centrale peut donc être développée par trois groupes, tels que définis ci-

avant : un groupe de réserve complet est prévu, y compris le transformateur. Tous les ouvrages hydrauliques sont conditionnés pour pouvoir alimenter les quatre groupes.

Bâtiment des machines.

La centrale se trouve au bord de la rivière, la restitution se faisant à même le lit, sans canal de fuite.

Les quatre groupes sont espacés de 12,50 m d'axe en axe; le bâtiment comprend douze travées de 6,25 m, soit une longueur totale de 75 m, sur une largeur de 15,10 m entre axes des colonnes. Les quatre dernières travées servent d'atelier de



Centrale Delcommune - Bâtiment des machines et d'appareillage. Coupe transversale.

montage et de réparation, ainsi que de poste de décufrage des transformateurs.

Le hall des machines est desservi par un pont roulant de 100/20 t de 13,95 m de portée entre chemins de roulement; ce pont sert également au montage des vannes sphériques par des trappes ménagées dans le plancher de la salle des machines.

Les colonnes, le chemin de roulement et la charpente de la toiture sont métalliques; le remplissage est en maçonnerie de moellons de quartzite.

A la salle des machines est accolé, côté amont, un appentis comportant un étage et des sous-sols; dans cette annexe sont logés le caniveau à câbles, l'appareillage 6.600 V, le tableau de commande, les services auxiliaires, les magasins, bureaux, infirmerie, etc. De l'étage des pupitres de commande, on a vue sur toute l'étendue de la salle des machines.

Turbines.

Les turbines sont du type Francis simple, à axe vertical. La bâche spirale est en tôle et acier moulé;

les aubes directrices sont en acier moulé, coulées d'une seule pièce avec leurs tourillons et usinées; la roue est en acier moulé inoxydable.

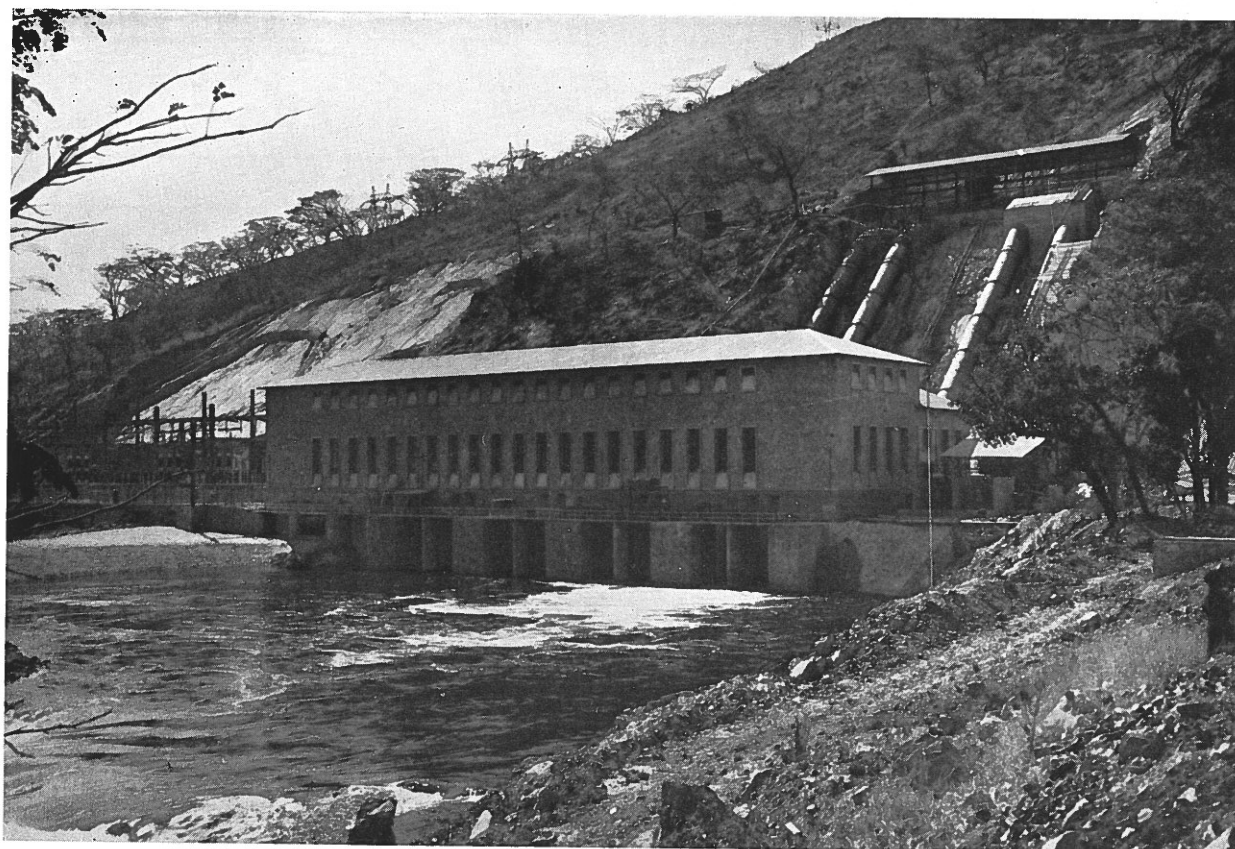
La partie bétonnée de l'aspirateur, jusqu'à la région où la vitesse de l'eau est ramenée à 5 m/sec, est protégée par un blindage en tôle soudée.

Le démontage de la roue se fait à travers le stator de l'alternateur.

Le pivot, monté sur le croisillon supérieur de l'alternateur et prévu pour supporter une charge de 200 t poussée hydraulique comprise, comporte un dispositif de refroidissement de l'huile, avec réfrigérant extérieur; une pompe électrique et une pompe entraînée par la turbine elle-même assurent la circulation de l'huile du pivot.

Le régulateur est du type accéléro-tachymétrique; l'huile sous pression nécessaire à son fonctionnement est fournie par deux pompes à engrenages: l'une, entraînée par la turbine, assure le service normal; l'autre, électrique, sert au démarrage et entre automatiquement en jeu en cas de défaillance de la première.

Centrale Delcommune sur le Lualaba - Conduites forcées et bâtiment des machines.



Le régleur est à commande électrique, avec moteur alimenté par un alternateur-pilote monté en bout d'arbre de l'alternateur principal.

Pour chaque machine, un ensemble d'appareils permet, soit la commande manuelle sur place, soit la commande à distance depuis le pupitre de contrôle.

L'admission à la turbine est commandée par une vanne sphérique actionnée par un mécanisme à pression d'eau et à pression d'huile, qui permet d'ouvrir l'obturateur en eaux mortes, après équilibrage des pressions amont et aval au moyen d'un by-pass actionné par le cylindre à pression d'huile, et de fermer automatiquement la vanne en cas de nécessité par l'action du cylindre à pression d'eau.

En cas de décharge instantanée, de la pleine charge à zéro, le régulateur limite l'augmentation momentanée de la vitesse à 40 % et assure la fermeture complète du vannage en 4,7 sec.

Voici quelques cotes de niveau relatives à l'implantation de la turbine :

Plancher de la salle des alternateurs . .	1170,50
Hautes eaux maximum	1167,00
Niveau aval pour 3 groupes en marche .	1162,82
Plan médian de la roue de la turbine .	1161,50
Fond de l'aspirateur	1154,50
Seuil de la restitution	1155,70

La restitution à la rivière s'opère à chaque turbine par deux pertuis de 3,25 m d'ouverture chacun, que l'on peut obturer au moyen d'éléments de batardeau métalliques mis en place au moyen d'un portique roulant à commande électrique.

Alternateurs.

— *Puissance nominale en régime continu*: 27.000 kW, cos phi 0,9, soit une puissance apparente de 30.000 kVA, pour les conditions d'échauffement dont il sera question ci-après; cette puissance doit pouvoir être débitée en permanence pour des tensions de plus ou moins 7,5 % par rapport à la tension nominale de service.

— *Surcharges* : 7 % en marche continue et 20 % pendant une heure sans que les échauffements donnés plus loin soient dépassés de plus de 10°.

— *Nature du courant* : triphasé 50 périodes, 6.600 V.

— *Vitesse normale* : 333 1/3 t m.

— *Vitesse d'emballage* : 660 t m.

— *Moment de giration minimum (P.D²)*: 650 t/m².

— *Couplage* : étoile, neutre sorti.

— *Bornes de sortie* : deux par phase.

— *Excitation* : une excitatrice principale en bout d'arbre, puissance en régime continu 80 kW, maximum en surcharge 157 kW, tension en régime continu 200 V, maximum en surcharge 280 V.

Une excitatrice-pilote en bout d'arbre 3,5 kW 220 V, à excitation compound.

— *Ventilation* : en circuit fermé, l'air étant refroidi par une batterie de réfrigérants à eau, constituée de quatre éléments; les circuits de ventilation sont également conçus pour une marche en circuit ouvert.

— *Echauffements* : ne doivent pas dépasser les valeurs suivantes, au-dessus d'une température ambiante de 40° C :

	6.600 V - 7,5 %	6.600 V	6.600 V + 7,5 %
Enroulements statoriques	74°	65°	58°
Enroulements rotoriques	62°	65°	70°

— *Rendements* : Pour la tension normale de 6.600 V :

Charge en kW	Cos phi = 1	Cos phi = 0,9
26.500	97,5 %	97,2 %
19.875	97,1 %	96,85 %
13.250	96,1 %	95,9 %
6.625	92,9 %	92,75 %

— *Dimensions* :

Diamètre extérieur de la carcasse . . .	5,50 m
» jante rotor	3,40 m
» extérieur rotor monté	4,00 m
Poids net de l'alternateur	176 t
» du stator	53 t
» du rotor et de la partie tournante de la turbine .	96 t

Le stator est partagé en deux demi-stators de 26,5 t; le poids de la pièce la plus lourde, emballée, est ainsi de 28 t.

— *Régulation de la tension* : par régulateur automatique à action rapide à grande puissance, inséré dans le circuit d'excitation de l'excitatrice principale.

— *Protections* : Chacun des alternateurs est pourvu des protections suivantes :

— Protection statorique de terre qui réagit en cas d'apparition d'une terre : d'une part, sur le stator, l'enroulement primaire du transformateur élévateur et leurs circuits de liaison, d'autre part, sur le jeu de barres des services auxiliaires et les équipements qui sont en liaison galvanique avec celui-ci. Une action instantanée provoque, en premier lieu, le déclenchement du disjoncteur d'alimentation du jeu de barres des services auxiliaires et, ensuite seulement, au cas où la terre concerne l'alternateur ou son circuit principal, la mise hors service du groupe.

— Protection rotorique de terre signalant les terres susceptibles de se produire dans le circuit rotorique.

— Protection à maximum d'intensité et thermique.

— Equipement de protection différentielle du bloc alternateur-transformateur.

— Appareillage de désexcitation rapide.

— Dispositif de synchronisation rapide côté 120.000 V.

Les relais de protection sont montés sur un tableau dans la salle de contrôle de la centrale. Chaque relais de protection est équipé d'un voyant qui devient apparent en cas de fonctionnement.

Sous-station élévatrice 6.600/120.000 V.

Cette sous-station, installée à côté de la centrale, est du type extérieur étalé et comprend quatre groupes de trois transformateurs monophasés de 11.000 kVA, du type extérieur cuirassé, construction «Form Fit», suivant licence Westinghouse :

Tension primaire	6.600 V \pm 7,5 %
Tension secondaire	120.000 V
Couplage	triangle du côté primaire étoile du côté secondaire

La puissance nominale peut être obtenue en marche continue en ventilation naturelle, sans que soient dépassées les limites d'échauffement ci-après, au-dessus d'une température ambiante moyenne de 35°, maximum 45° :

Echauffement moyen du cuivre	50° C
» du point chaud	60° C
» de l'huile	40° C

Une surcharge de 10% appliquée pendant une heure et consécutive à une marche continue à charge normale ne peut donner un supplément d'échauffement, par rapport aux chiffres ci-dessus, de plus de 4° pour le point chaud et de plus de 1° pour l'huile.

Cinq prises de réglage manœuvrables hors tension permettent de réaliser les rapports de transformation, à vide, de 6.600, respectivement à 126.000, 120.000, 115.000, 110.000 et 105.000 V.

Les rendements sont les suivants :

Charge	4/4	3/4	2/4	1/4
Pour cos phi = 1	99,22	99,34	99,33	99,04
» » phi = 0,9	99,20	99,28	99,28	98,93
Pertes dans le fer	23 kW			
» » cuivre	55 kW			

Schéma électrique.

Le schéma de base a été simplifié dans toute la mesure du possible : l'alternateur et le transformateur forment un groupe monobloc, donc sans disjoncteur sur la basse tension.

La marche en parallèle des alternateurs, côté 6.600 V, n'est, en conséquence, pas réalisée, sauf éventuellement pendant les très courts instants où l'alimentation du jeu de barres des auxiliaires est repassée d'un alternateur à un autre.

Un jeu de barres de transfert permet de connecter un alternateur donné au transformateur d'un autre groupe, le transfert se faisant hors charge par de simples sectionneurs.

Chacun des groupes alimente un double jeu de barres servant aux auxiliaires : en principe, ce jeu de barres est alimenté par un seul des alternateurs ; y sont connectés deux transformateurs de 600 kVA, réglage en charge, comportant trois enroulements : primaire 6.600 V, secondaire 6.600 V alimentant des départs vers les installations hydromécaniques (barrage, etc.) et les habitations du siège, tertiaire 550 V alimentant tous les auxiliaires de la centrale proprement dite.

Le poste extérieur, à double jeu de barres H.T. comprend quatre travées de transformateurs, une travée de parallèle-barres, une travée de transformateurs de potentiel, deux travées de départ des lignes 120.000 V vers Kolwezi et une travée d'arrivée de la ligne 120.000 V venant de Le Marinel.

Chacun des alternateurs est relié au transformateur correspondant par dix câbles armés de 3 x 310 mm² de section.

CHAPITRE III

EXECUTION DES TRAVAUX

Travaux préliminaires.

Les travaux préliminaires ont été commencés vers mi-1948 :

- Reconnaissance géologique et travaux topographiques;
- Route de 25 km pour trafic très lourd de Kolwezi à Zilo;
- Ligne de 20 km à 50.000 V de Ruwe à Zilo, avec sous-station 50.000/6.600 V et ligne téléphonique protégée;
- Centrale de compresseurs d'une puissance totale de 2.000 CV;
- Réseau très étendu de distribution de force motrice, d'eau industrielle, d'eau potable, d'air comprimé, de téléphones;
- Routes d'accès pour trafic lourd, taillées en plein rocher dans les flancs de la vallée, vers le barrage et la centrale, ainsi que vers les diverses installations de chantier;
- Ateliers divers et magasins, complètement équipés et approvisionnés;
- Ouverture de carrières à pierre à béton et à sable, avec installations de concassage, broyage et classification;
- Logements pour le personnel blanc et indigène, ainsi qu'une salle de mess et de récréation, dispensaire, etc.;
- Poste de déchargement et de manutention du matériel, au rail à Kolwezi;
- Equipement des chantiers en matériel de perforation, d'excavation, de chargement, de transport, de bétonnage, etc.;
- Laboratoire d'essai des matériaux.

Barrage.

Une galerie de dérivation de 7 m x 7 m environ (50 m² de section) et de 225 m de longueur, avec plafond allant de la cote 1.182,50 à la cote 1.182, a été creusée rive droite, en vue de mettre à sec l'emplacement du barrage. Cette galerie, attaquée en avril 1949, a été mise en service en novembre, pendant la période des basses eaux. Elle est munie, à son orifice amont, d'un ouvrage en béton com-

portant deux pertuis de 3,785 m d'ouverture qui, lors de la mise en eau du barrage, ont été obturés au moyen de batardeaux constitués de poutres en béton à l'abri desquels un bouchon en béton d'une dizaine de mètres de longueur a été construit dans la galerie; ce bouchon est muni d'un orifice de vidange avec obturation destructible par des charges d'explosif, en vue d'une vidange de la réserve pour toute raison imprévisible.

La fouille du barrage était protégée à l'amont par un batardeau en béton et à l'aval par un contre-batardeau en enrochement avec noyau en béton.

Le batardeau amont, arasé à la cote 1.195, permettait de créer sur l'entrée de la galerie une charge correspondant à un débit de 350 m³/sec.

En mars 1952, une crue violente et subite occasionna un déversement par dessus la crête du batardeau; ce déversement put être évacué par la vidange de fond du barrage, dont le blindage était déjà en place. Cet incident ne causa aucun arrêt des travaux.

Le dérochement du lit de la rivière et des appuis a été terminé en février 1951; le voile d'injection, exécuté dans l'axe du parafoille et à l'amont de celui-ci, fut mené de pair avec les excavations. Les forages, espacés d'environ 5 m dans le thalweg et disposés en éventail le long des flancs de la vallée, ont été poussés jusqu'à des profondeurs telles que l'absorption d'eau sous pression devienne négligeable. Les injections ont absorbé 365 t de ciment.

Le bétonnage du barrage fut entamé mi-mars 1951 et, en juin 1952, les 60.000 m³ de béton étaient en place.

Le béton était préparé dans une installation mécanique entièrement automatique, et mis en place par une grue-câble de 5 t et de 300 m de portée dont la capacité était de 1,5 m³ de béton mis en place par opération; le meilleur rendement de ces engins fut de 315 m³ en deux postes de huit heures.

Les coffrages étaient métalliques du type Blaw-Knox.

Le laboratoire contrôlait régulièrement la qualité du ciment, du béton sortant de la bétonnière et de carottes prélevées dans le corps même du barrage.

La mise en eau, réalisée au cours du deuxième semestre 1952, révéla une étanchéité parfaite des appuis et du barrage lui-même.

Galerie d'aménée.

La galerie d'aménée, de 1.773 m de longueur, a été attaquée par l'amont et par l'aval, ainsi qu'intermédiairement sur deux autres fronts, par une galerie auxiliaire de 200 m de longueur. Le creusement, commencé en mars 1949, a été terminé en août 1951; il a comporté près de 100.000 m³ entièrement abattus à l'explosif, au moyen d'un jumbo métallique sur rails, portant quatorze perforatrices équipées de fleurets au carbure de tungstène. L'évacuation s'est faite au moyen de bennes automobiles spéciales chargées par des pelles mécaniques.

Le béton du revêtement était préparé dans une tour fixe située à l'entrée de la fenêtre, amené à pied d'œuvre dans des bennes automobiles et déversé dans la trémie d'alimentation d'une pompe à béton Rex. Le coffrage Blaw-Knox, de 36 m de longueur, roulait sur une voie posée sur le radier, dont le bétonnage était en avance sur celui des piédroits et de la voûte. Le béton fut soigneusement vibré, et le clavage de la voûte fut opéré par la pression de la pompe à béton.

Des injections de ciment ont été exécutées à travers le revêtement, pour assurer l'obturation des fissures de la roche et une bonne liaison roche-béton.

Un seul endroit, d'environ 5 mètres de longueur, nécessita un soutènement de la roche au moyen de cadres constitués de poutrelles Grey qui restèrent enrobés dans le revêtement et concourent à la résistance de la voûte.

Chambre d'équilibre, galeries blindées et conduites forcées.

Le creusement de la chambre d'équilibre et son revêtement ne présentèrent aucune difficulté, le bétonnage suivant de près le creusement, afin d'éviter le glissement des couches inclinées à 45°.

Les soudures des conduites forcées furent contrôlées par gammagraphie, et les essais de pression furent entièrement satisfaisants.

Centrale.

L'aménagement de la plate-forme générale 1.170,50 de la centrale et de la sous-station ex-

térieure, a comporté 200.000 m³ de terrassements en roche.

La centrale est située au bord même de la rivière, rive gauche, et les excavations ont dû être poussées jusqu'à la cote 1.153, alors que le plan d'eau de la rivière, à l'étiage, est à la cote 1.162 environ; comme, au surplus, le lit de la rivière, au droit du site de la centrale, présente une fosse dont le fond est à la cote 1.148, il eût été pratiquement impossible de mettre la fouille à sec au moyen d'un batardeau parallèle à l'axe de la rivière, ouvrage qui eût atteint 125 m de longueur et 16 m de hauteur.

La rivière a donc été dérivée par un chenal à ciel ouvert de 125 m de longueur, creusé dans la rive droite, la rivière étant barrée par deux batardeaux transversaux en enrochement de peu de hauteur, leur axe restant en dehors des grandes profondeurs créées par la fosse dont question plus haut.

Le lit de la rivière ayant été mis à sec par pompage, le mur aval de la centrale, comprenant la sortie des aspirateurs et leurs rainures de batardeaux, a été construit en tout premier lieu; les pertuis des aspirateurs pouvaient être obturés temporairement, de façon que l'ensemble constituât un batardeau arasé à la cote 1.168 dépassant celles des plus hautes eaux, protection à l'abri de laquelle les travaux pouvaient être poursuivis, même si une crue dépassant la normale avait envahi le lit de la rivière en passant par-dessus le batardeau amont, éventualité qui s'est en fait produite au cours de la crue signalée plus haut.

Achèvement et mise en service.

Les travaux s'exécutèrent conformément au planning qu'on s'était imposé: le premier groupe fut mis en service en décembre 1952, le second en mai 1953, le troisième en mars et le quatrième en août 1954.

Fait intéressant à signaler, grâce à la régularisation du Lualaba créée par la centrale Delcommune, la navigation sur le bief Bukama-Kabalo n'a pas dû être interrompue au cours de l'étiage 1953, ce qui ne s'était plus produit depuis longtemps.

La première commande de matériel, celle des turbines, fut passée le 15 septembre 1948; on peut donc dire qu'une réalisation d'une telle envergure demande un délai de cinq ans, à partir du moment où les grandes lignes du projet ont été définies.

Les travaux ont comporté, notamment, des excavations en roche totalisant 1 million de m³, et environ 120.000 m³ de béton.

N.B. — L'établissement des plans et des spécifications du matériel a été confié à la Société de Traction et d'Electricité à Bruxelles.

La fourniture des principaux équipements a été confiée aux firmes suivantes :

Ateliers des Charmilles, à Genève : turbines et vannes sphériques ;

Ateliers de Constructions Electriques de Charleroi (A.C.E.C.) : alternateurs, transformateurs, disjoncteurs 120.000 V, etc. ;

Brown Boveri, Baden (Suisse) : protections des alternateurs ;

Neyrpic, à Grenoble : conduite et vannes de la vidange, vannes de la prise d'eau, vannes à secteur de l'évacuateur de crue ; une bonne partie de ces fabrications a été réalisée en Belgique ;

Etablissements Jonneret, à Genève : râteau-dé-grilleur ;

Sulzer, à Winterthur : blindages, culottes et con-

duites forcées, dont une grande partie a été fabriquée en Belgique, aux Ateliers Métallurgiques de Nivelles ;

Ateliers Métallurgiques de Nivelles : bâtiment de la centrale ;

Le Titan Anversois : pont roulant de la centrale ;

Ateliers de Jambes-Namur : batardeaux des aspirateurs des turbines.

Les travaux ont été exécutés par le Département des Etudes et Constructions de l'Union Minière.

Certains travaux ont été confiés à des entreprises belges :

Société Anonyme Belge Foraky : forages et injections, galerie de dérivation du barrage, galerie d'amenée y compris revêtement, creusement des galeries blindées ;

Association Trabeka - Compagnie Belge de Chemins de Fer et d'Entreprises : construction du barrage.

Cinquième Partie : LA CENTRALE LE MARINEL, SUR LE LUALABA

CHAPITRE PREMIER DONNEES DU PROBLEME

Emplacement du barrage.

Au km 46 du cours du Lualaba (depuis l'entrée des gorges de Zilo), la rivière présente une chute franche de 30 m (Lukuka), suivie de rapides portant la dénivellation à 50 m. Deux sites de barrage situés, l'un à l'amont immédiat et l'autre à 2 km de la chute, après avoir été examinés en détail, durent être abandonnés par suite de la mauvaise qualité des appuis du point de vue résistance et étanchéité.

On adopta pour finir un site situé au km 35,7, c'est-à-dire à 10 km en amont de la chute de Lukuka.

Le niveau de la retenue fut fixé à la cote 1065, le lit de la rivière étant à 1000 environ ; cette cote 1065 fut d'ailleurs imposée par le fait qu'une vallée latérale rive gauche (Lubinda) communique à son origine amont, à la cote 1067, avec le bassin d'un affluent de la Lufupa qui rejoint le Lualaba en aval du site du barrage ; on s'est donc tenu un peu en deçà du niveau de ce col pour éviter d'avoir à y construire une digue de retenue auxiliaire.

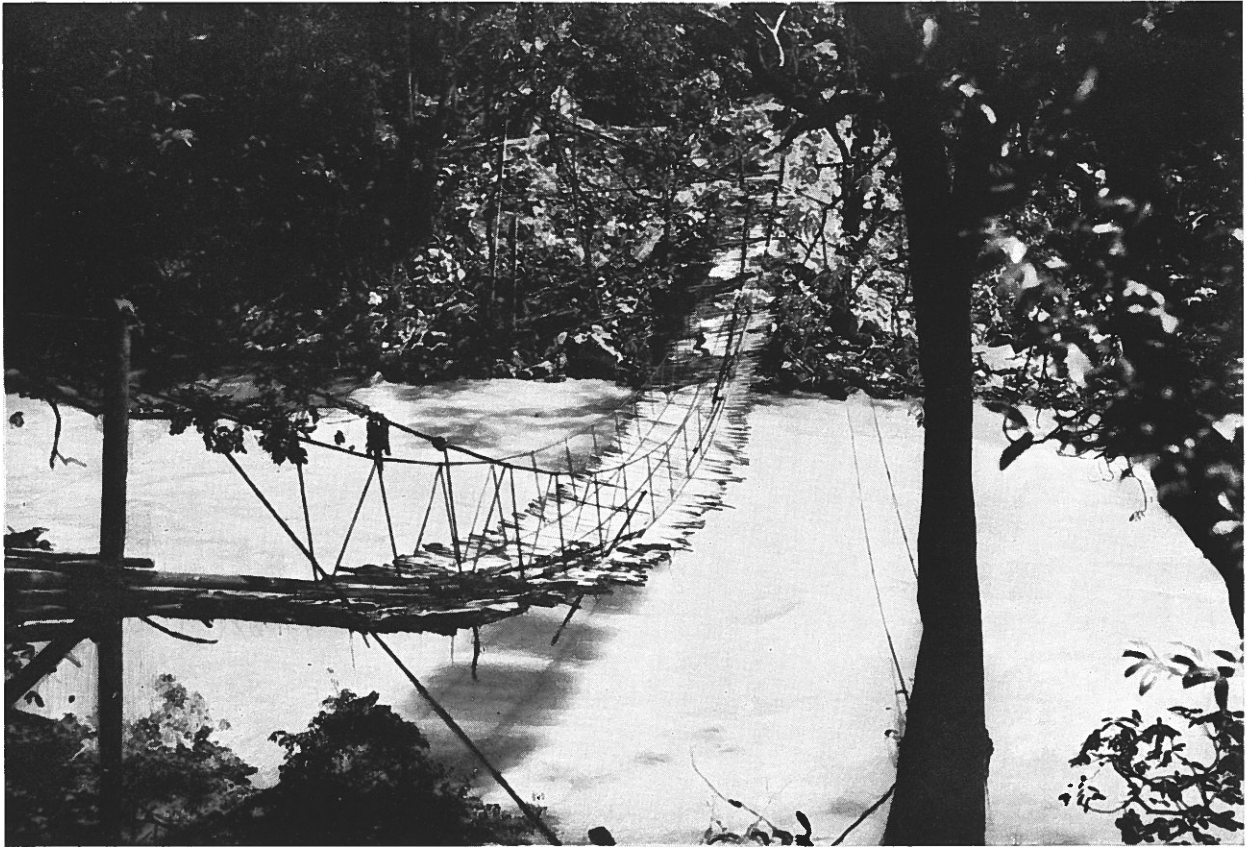
La surface de la retenue à la cote 1065 est de 3,35 km² ; la vidange maximum a été fixée à la cote

1060, mais en fait les ouvrages d'adduction seront encore convenablement alimentés, tout au moins pour trois groupes, à la cote 1057,50. La réserve turbinable entre les cotes 1065 et 1057,50, soit 21,2 millions m³, permettra une certaine indépendance journalière de la marche de Le Marinel par rapport à celle de Delcommune, notamment aux heures de pointe. Au surplus, en cas d'arrêt total de Delcommune, pour une cause quelconque, Le Marinel pourrait encore marcher à trois groupes pendant cinquante heures en utilisant sa propre réserve.

Restitution et hauteur de chute.

La centrale aurait pu se situer au pied de la chute Lukuka, à la cote 910, ce qui eût donné une chute brute de 155 m, moyennant une galerie d'amenée d'au moins 7500 m.

Une autre solution, qui présente de multiples avantages, a pu être adoptée grâce à la configuration de la région. Le haut plateau régnant sur la rive gauche des gorges du Lualaba s'affaisse brusque-



Centrale Le Marinel - Le Lualaba à l'emplacement du barrage.

ment suivant une ligne d'orientation sensiblement sud-nord et parallèle à l'allure générale du Lualaba; au pied de cet escarpement s'amorce une plaine d'altitude inférieure au cours de la rivière : c'est la plaine où coule la Seke, ruisseau sous-affluent du Lualaba.

Cette brusque dénivellation transversale trouve son explication dans une transition entre des terrains du système Kibara (quartzites et phyllades) et une zone de granites dont la partie supérieure, altérée, a en partie disparu par érosion.

La restitution a été fixée dans la vallée de la Seke, à l'altitude 882, ce qui donne une chute brute de 183 m; la longueur de la galerie d'amenée est ramenée à 2.438 m. Avantage accessoire de cette solution, la centrale pourra se construire entièrement à sec, sans aucune dérivation de rivière.

Débit turbinable.

La régularisation du Lualaba étant réalisée par la centrale Delcommune, le débit qui doit pouvoir

être turbiné à Le Marinel est égal au turbiné maximum de Delcommune, plus le débit du bassin versant complémentaire (990 km²), moins l'évaporation se produisant sur le lac Le Marinel (3,35 km²):

Quatre groupes à Delcommune

$$38,9 \times 4 = 155,60 \text{ m}^3/\text{sec.}$$

Débit bassin versant complémentaire

$$108,75 \times \frac{990}{16300} = 6,60$$

Evaporation lac Le Marinel

$$\frac{3.350.000 \times 1,40}{8760 \times 3600} = -0,15$$

$$162,05$$

Ce débit a été réparti entre quatre groupes qui devront donc turbiner chacun 40,5 m³/sec.; trois groupes peuvent turbiner 121,5 m³/sec., ce qui couvre largement le débit moyen disponible à Le Marinel.

Puissance disponible.

En partant du tableau IV, qui donne le régime de la centrale Delcommune pendant la période connue de 1921 à 1938, on peut établir quel sera le régime de la centrale Le Marinel; certains éléments de ce calcul seront donnés plus loin (niveau aval, pertes de charge, chute nette, rendement des groupes).

Pour un débit Q m³/sec. et une chute nette de H m, la puissance aux bornes des alternateurs s'exprime par

$$\frac{1000 QH}{75} \times 0,902 \times 0,978 \times 0,736 = 8,657 QH \text{ kW}$$

	Moyenne générale 18 ans	Moyenne des 15 années moyennes	Moyenne des 3 années minimum	Année maximum
Turbiné à Delcommune m ³ /sec.	95,46	97,38	85,85	98,21
Apport bassin complémentaire »	6,30	6,60	4,80	11,19
Evaporation Le Marinel »	— 0,15	— 0,15	— 0,15	— 0,15
Turbinable à Le Marinel »	101,61	103,83	90,50	109,25
Chute nette m	179,12	178,93	180,03	178,45
Puissance kW	157.560	160.830	141.050	168.770
Energie annuelle M. kWh	1.380	1.410	1.236	1.478

La centrale Le Marinel sera donc capable de produire, en année moyenne, 1.415 millions de kWh.

CHAPITRE II

DESCRIPTION DE L'AMENAGEMENT HYDROELECTRIQUE

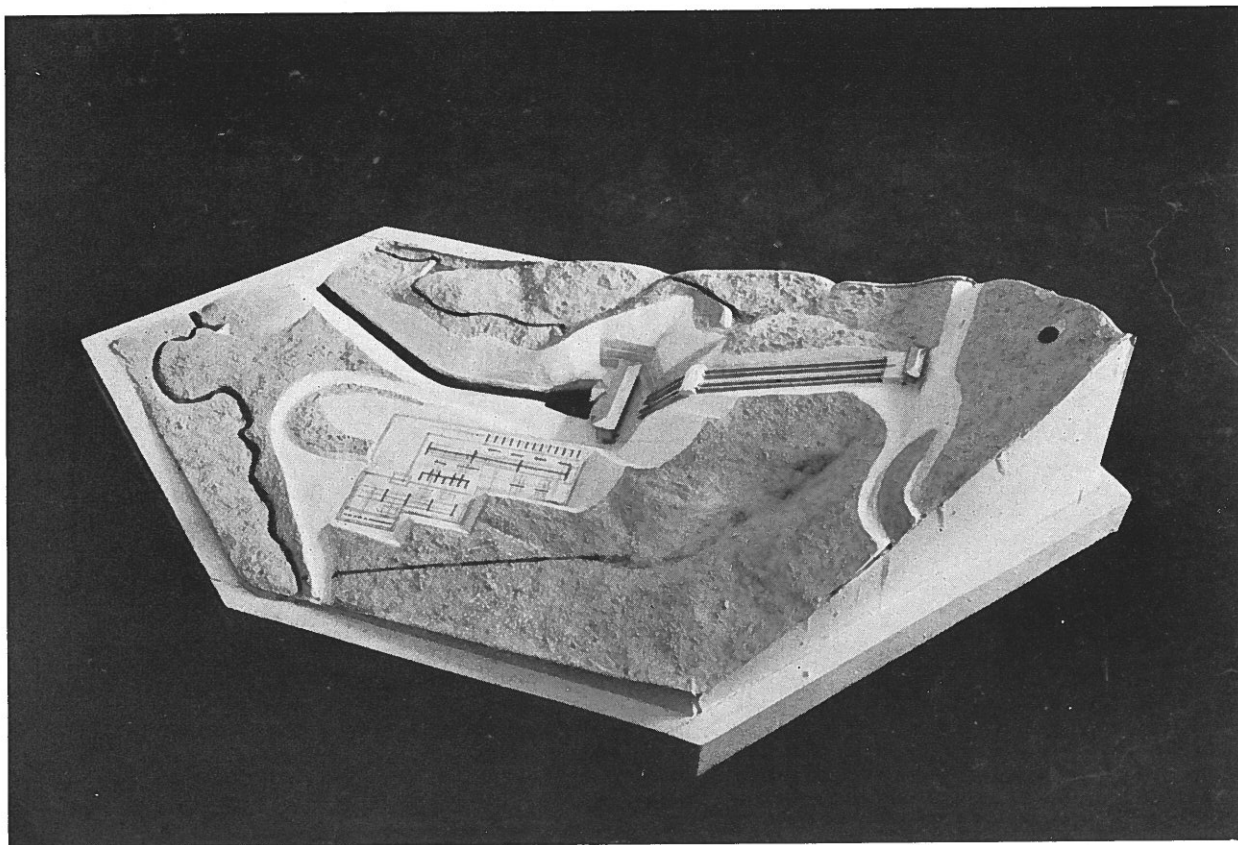
Vue d'ensemble.

Dans ses grandes lignes, le projet est analogue à celui de Delcommune; il comprend, d'amont en aval :

- Un barrage en enrochement, avec écran d'étanchéité amont (sloping core) en granite décomposé; la fondation est à la cote 1.000 environ et la crête à la cote 1.068,30; la longueur en crête est de 180 m. Une galerie de vidange munie d'une vanne de garde et d'une vanne de réglage contourne le barrage; le dispositif d'évacuation des crues comporte deux vannes à secteur de 11 m d'ouverture chacune, avec seuil de déversement à la cote 1.058.
- Un dispositif d'aménée comprenant :
 - a) une prise d'eau avec seuil à la cote 1.048, à deux pertuis de 3,50 m d'ouverture et 6,50 m de hauteur, avec vannes-batardeaux, grilles et râteau-dégrilleur;

- b) une galerie revêtue de béton non armé, de 44 m² de section utile et de 2.438 m de longueur;
- c) une chambre d'équilibre verticale, avec margelle à la cote 1.081;
- d) deux galeries blindées circulaires, de 4,60 m de diamètre et de 110 m de longueur, se terminant chacune par une culotte de 4,60/2 x 2,95 m de diamètre;
- e) quatre conduites forcées de 357 m de longueur; chacune de ces conduites est munie à l'amont d'une vanne-papillon automatique et à l'aval d'une vanne sphérique.

- Une salle des machines comportant quatre groupes turbo-alternateurs à axe vertical, 333¹/₃ t m. La turbine développe 87.200 CV sous une chute nette de 179,50 m, et l'alternateur à 10.500 V est prévu pour une puissance normale en régime continu de 62.100 kW avec facteur de puissance 0,9 (69.000 kVA).



Centrale Le Marinel - Maquette des ouvrages aval.

- Un canal de fuite rejoignant la rivière Seke, de 5,25 m de largeur au plafond et de 7,00 m de profondeur; longueur 1.150 m.
- Un poste de transformation du type extérieur étalé, comprenant :
 - a) quatre transformateurs 10.500/120.000 V, 69.000 kVA, composés chacun de trois pôles monophasés de 23.000 kVA;
 - b) deux transformateurs 120.000/220.000 V, 72.000 kVA (3 pôles monophasés de 24.000 kVA).
- Une ligne de transport de force 120.000 V 3 x 253 mm² cuivre de 29 km de longueur reliant Le Marinel à Delcommune, et une ligne à 220.000 V à conducteurs jumelés 2 x 151 mm² cuivre passant par Jadotville (220 km) et aboutissant à Kitwe, en Rhodésie du Nord (500 km).

Barrage.

Ni la qualité des appuis, ni le profil en travers de la vallée ne se prêtent à l'établissement d'un barrage en arc; un barrage-poids en béton eût d'autre part été exagérément coûteux. On a donc adopté un barrage en enrochement, avec écran imperméable amont en granite décomposé compacté, les matériaux, quartzites pour l'enrochement et granite décomposé pour l'écran, étant disponibles en quantités suffisantes dans le voisinage plus ou moins proche du chantier.

D'aval en amont, l'ouvrage se compose des éléments suivants :

- a) *un massif trapézoïdal d'enrochement tout-venant*, dont le poids constitue l'élément résistant de l'ensemble; son parement aval est au fruit 1,3/1 avec deux berms de 6 m, le talus amont étant incliné à 45°.

Les matériaux, simplement débarrassés de leurs fines de carrière, sont amenés par bennes diesel de 20 t et soigneusement lavés par un abondant arrosage sous pression, opération qui, en remuant les blocs, contribue au surplus à accroître le poids spécifique du massif par remplissage aussi complet que possible des vides. Le poids spécifique absolu du quartzite est de 2,8 et l'on espère arriver à un poids spécifique de 1,68, soit un vide de 40 %.

La mise en place se fera par levées de 15 à 20 m, en partant d'une seule rive; un enrochement exécuté à partir des deux rives présenterait en effet un point faible et une plus grande aptitude au tassement ultérieur dans la zone de rencontre des deux remblais, constatation effectivement faite au barrage en enrochement de la centrale Bia.

Les carrières d'où proviendra la totalité des matériaux se trouvent d'ailleurs sur la rive droite.

- b) *un filtre aval* composé des trois couches suivantes, d'aval en amont :
- pierraille de 400 mm maximum, épaisseur horizontale 2,00 m;
 - concassé 4/80, épaisseur horizontale 3,00 m sur la moitié inférieure et 2,00 m sur la moitié supérieure;
 - sable, épaisseur horizontale 2,00 m sur la moitié inférieure et 1,50 m sur la moitié supérieure.
- c) *un écran d'étanchéité* en granite décomposé et compacté, d'une épaisseur horizontale décroissant de 24 m à la base à 10,00 m au niveau 1.057 puis à 3,00 m au couronnement.

C'est la constitution de cet écran imperméable qui a constitué le gros problème. Plusieurs

types d'argile ainsi que le granite décomposé provenant des fouilles générales de la centrale ont été étudiés dans divers laboratoires géotechniques, du point de vue imperméabilité, coefficient de frottement, résistance au cisaillement, inaltérabilité dans le temps, etc. C'est le granite décomposé qui a donné, de loin, les meilleurs résultats.

Des essais de compactage en grand ont été exécutés sur place, dans le but de confirmer l'humidité optimum à la mise en œuvre et l'énergie de compactage nécessaire; un laboratoire installé dans le voisinage immédiat du barrage assure un contrôle rigoureux et continu de l'exécution.

Le compactage de l'écran est exécuté au moyen de rouleaux à pieds de mouton, celui des filtres étant fait par des engins à pneumatiques.

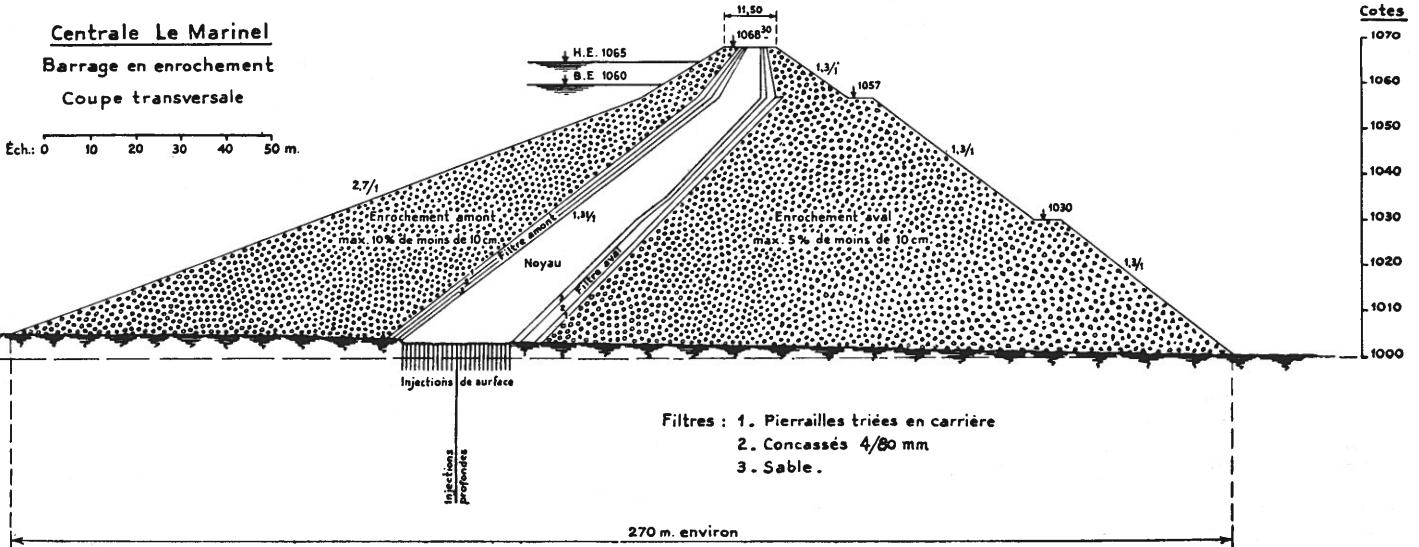
- d) *un filtre amont* composé de trois couches de 1,50 m d'épaisseur horizontale, constituées des mêmes éléments que le filtre aval mais disposées en sens inverse d'aval vers l'amont.
- e) *un enrochement amont* en moellons tout-venants, avec fruit amont 2,7/1. Le rôle de cet enrochement est de charger l'écran imperméable et d'éviter qu'il s'y produise des désordres lors d'une décompression résultant d'une vidange assez rapide.

En résumé, le barrage a un empiètement total de 270 m, une largeur en crête de 11,50 m et une longueur en crête de 180 m, ouvrage d'évacuation des crues non compris. A partir du niveau 1.057, l'écran imperméable et les deux filtres qui l'encadrent se relèvent presque à la verticale, uniquement dans le but de réduire le volume de l'enrochement aval.

Les cubes à mettre en œuvre sont les suivants :

Matériaux	Enrochement aval	Filtre aval	Ecran imperméable	Filtre amont	Enrochement amont	Total m ³
Enrochement	342.700	—	—	—	213.150	555.850
Pierraille max. 400 mm	—	9.420	—	9030	—	18.450
Concassé 4/80	—	13.270	—	9030	—	22.300
Sable	—	9.880	—	9030	—	18.910
Granite décomposé	—	—	85.300	—	—	85.300
						700.810

Centrale Le Marinel
Barrage en enrochement
Coupe transversale



Le barrage n'est pas rectiligne, mais présente une courbure horizontale d'un rayon de 400 m; lors de la mise en charge, il est donc le siège d'une pression intérieure supplémentaire concourant notamment à augmenter l'imperméabilité de l'écran.

La préparation de l'assise, au droit des enrochements, est limitée à l'enlèvement de la terre, des éluvions superficielles, et de toutes les roches décomposées ou branlantes.

Au droit de l'assise de l'écran, le décapage est poussé davantage, en principe jusqu'à la roche saine, et la paroi est revêtue d'un gunitage de 25 mm d'épaisseur, après nettoyage et obturation au mortier de ciment des fissures apparentes.

Injections.

L'assise du noyau, tant dans le lit de la rivière que sur les appuis latéraux, est imperméabilisée et

consolidée par des injections superficielles de 5 à 6 m de profondeur, espacées de 1 m dans tous les sens; ces injections d'un lait épais de ciment se font sous la pression de 2 à 5 kg, sans lavage préliminaire des trous.

Au surplus, un rideau d'injections profondes supprimera ou tout au moins limitera la percolation à travers la masse des appuis.

Sur la rive droite, ce rideau comportera deux rangées de forages distantes de 2 m, l'intervalle étant de 2 à 4 m dans chaque rangée; le rideau aval sera poussé à 35 m, le rideau amont à 25 m.

Dans le fond de la rivière et sur la rive gauche, où le terrain est de meilleure qualité, on se contentera d'un seul rideau avec intervalle de 3 à 5 m et profondeur de 20 à 35 m. La pression d'injection sera de 7 kg jusqu'à 10 m et de 15 kg au-delà de 10 m.

Le rideau d'injections profondes sera établi dans

l'axe de l'emprise du noyau d'étanchéité ou à cheval sur cet axe quand le rideau est double.

Evacuation des crues.

Le débit maximum à évacuer à Le Marinel a été fixé comme suit :

Débit maximum des vannes de surface de Delcommune	650 m ³ /sec
Débit maximum de la vidange de fond de Delcommune	200 »
Débit turbiné maximum à Delcommune	160 »
Apport maximum du bassin intermédiaire	100 »
	1.110 m ³ /sec

Ce débit sera évacué à raison de 860 m³/sec. par un évacuateur de surface et de 250 m³/sec. par une vidange de fond; il n'est pas tenu compte de ce qui pourrait être évacué par les turbines, la centrale pouvant, pour une raison quelconque, être à l'arrêt au moment d'une crue.

Bien que la retenue de Delcommune puisse servir à accumuler et étaler les crues, la plus grande prudence s'imposait pour le dimensionnement des évacuateurs de Le Marinel, eu égard à l'imprécision qui existe quant à la crue maximum catastrophique qui peut être amenée par le bassin versant intermédiaire de 990 km²; ce bassin a certainement un coefficient de ruissellement très élevé, par suite de sa topographie très accidentée et de la faible capacité de rétention de ses terrains. Enfin, le volume d'accumulation très réduit du lac Le Marinel ne pouvait guère entrer en ligne de compte.

Evacuateur de surface.

Situé sur la rive gauche, il comportera deux vannes à secteur de 11 m d'ouverture chacune et de 7 m de lame déversante maximum; leur seuil sera arasé à la cote 1.058, et elles permettront une retenue maximum à la cote 1.065,50.

La manœuvre de chaque vanne sera assurée par deux treuils électriques agissant sur deux crémaillères, ainsi que par une commande de secours à main.

Un coursier à forte pente, faisant suite aux seuils déversants, rejettera la nappe au milieu du lit de la rivière; le comportement de cet ouvrage sera étudié sur modèle réduit.

Vidange de fond.

Etablie sur la rive droite, elle comportera une galerie circulaire bétonnée de 345 m de longueur et d'un diamètre variant de 5 m à 4 m.

Une vanne de garde située à 150 m de l'orifice amont, est logée dans un puits vertical de 62 m de profondeur, tandis qu'une vanne de réglage à secteur est établie à l'orifice aval de la galerie.

La vanne de garde de 2,75 x 5,80 m est du type wagon, à roulement à galets, en plusieurs éléments reliés entre eux uniquement par le bordé amont, de manière à permettre une légère déformation qui assure un bon contact avec les chemins de roulement; l'étanchéité est assurée par des caoutchoucs moulés. Le servo-moteur à huile, capable d'un effort de 240 t, est installé en tête du puits; le relevage est assuré par une chaîne de brimales démontables de proche en proche.

La vanne de réglage à secteur, de 3,50 m d'ouverture et de 3 m de hauteur, est commandée par deux mécanismes à vis jumelées actionnées par un réducteur de vitesse et un moteur électrique. L'étanchéité latérale et au seuil est assurée par des caoutchoucs moulés.

La galerie, simplement bétonnée, est toutefois blindée sur 5 m à l'amont et 8 m à l'aval de la vanne de garde, et sur 52 m à l'amont de la vanne de réglage.

A l'aval de la vanne de réglage, un déflecteur en béton revêtu d'acier, étudié sur modèle réduit, assure une dispersion du jet de vidange afin de prévenir tout affouillement.

Dispositif d'amenée aux turbines.

Ce dispositif est conditionné pour assurer l'écoulement d'un débit de 162 m³/sec. sous la charge correspondant au niveau amont normal 1.065.

Prise d'eau.

Elle est établie sur la rive gauche à 1.200 m en amont du barrage, point qui donne la longueur minimum pour la galerie d'amenée.

Son seuil, est à la cote 1.048; elle est munie de deux vannes de 3,50 m d'ouverture et de 6,50 m de hauteur, conçues en plusieurs éléments simplement solidaires par la tôle du bordé amont, de manière à permettre une certaine élasticité de l'ensemble et un bon contact entre les galets et les pièces fixes. L'étanchéité est réalisée, tant au seuil que latéralement et frontalement, par des pièces en caoutchouc.

Les treuils de relevage, à câble, sont installés sur un portique; la prise d'eau est protégée par une grille verticale de 216 m², dont le nettoyage est assuré par un râteau-dégrilleur pouvant agir comme grappin et saisir des troncs d'arbre d'une certaine dimension.

Galerie d'amenée.

La longueur est de 2.438 m jusqu'à l'axe de la chambre d'équilibre; la pente longitudinale est de 0,002 sur les 1.044 premiers mètres et ensuite de 0,0175.

La galerie traverse des formations de kibara (alternance de quartzites et de phyllades) qui ont été reconnues par sondages et se sont révélées d'excellente qualité; on espère donc ne pas devoir recourir à du soutènement, sauf probablement sur les quelque 200 m aval.

La galerie est revêtue de béton non armé, de 30 cm d'épaisseur moyenne, suivant un profil en

fer à cheval donnant une section d'écoulement nette de 44 m²; le radier est profilé suivant un arc de cercle de 20 m de rayon, afin de résister aux sous-pressions éventuelles qui, toutefois, ne semblent pas à craindre, le creusement en cours ayant montré que les terrains sont très secs.

Sur environ 800 m de la partie amont, où la roche est d'exceptionnelle qualité, il est envisagé de remplacer le revêtement en béton par un simple gunitage de 50 mm d'épaisseur, muni d'une légère armature.

Chambre d'équilibre.

Cet ouvrage, étudié sur modèle réduit, comporte un puits vertical de 15,50 m de diamètre pour la partie inférieure et de 21 m pour la chambre d'expansion, avec margelle arasée à la cote 1.081; sa hauteur totale est de 53 m et il communique avec la galerie d'amenée par un étranglement.

Le niveau dynamique pour trois groupes en marche s'établit à 1.063; la surélévation maximum,

Centrale Le Marinel - Creusement de la galerie d'amenée.



en cas d'arrêt brusque des quatre turbines, atteint la cote 1.080.

En vue de la mise hors service, pour visite, de l'une ou l'autre des deux galeries blindées qui partent du bas de la chambre, on a prévu les pièces fixes nécessaires pour la descente d'une vanne wagon.

Galeries blindées.

A l'aplomb de la chambre d'équilibre, la galerie d'aménée principale bifurque en deux galeries de 4,60 m de diamètre, pourvues d'un blindage de 13 à 15 mm. Comme les terrains traversés sont en partie des éboulis de kibara et du granite décomposé, ces galeries seront bétonnées sur une épaisseur de 90 cm, avec armatures capables de reprendre la poussée d'un massif de 20 m de hauteur supposé peser sur le revêtement.

Des injections, exécutées à travers le blindage et le béton, assureront un collage parfait entre le béton et la roche et consolideront cette dernière.

Les blindés se terminent par des culottes 4,60/2 x 2,95 m enrobées dans des massifs en béton.

L'assemblage de ces blindages est exécuté par soudure à l'arc.

Vannes de garde.

Le départ de chacune des quatre conduites forcées est commandé par une vanne-papillon automatique mue par un servo-moteur à pression d'huile, assu-

rant un temps de fermeture de deux minutes. Ces vannes sont abritées par un bâtiment métallique pourvu d'un pont roulant électrique de 20 t.

Conduites forcées.

Elles ont 357 m de longueur depuis la sortie des vannes-papillon jusqu'à l'entrée des vannes sphériques de la centrale. Le tronçon amont, de 297 m de longueur, a une pente de 39 %, le tronçon aval de 60 m de longueur étant incliné à 45°.

Le diamètre est de 2,95 m sur les 151 m amont et de 2,85 m sur les 206 m aval; l'épaisseur de la tôle varie de 12 à 24 mm.

Au point de changement de pente, les conduites sont ancrées dans d'importants massifs en béton.

Pertes de charge, chute nette et puissance.

Le tableau X donne une estimation des pertes de charge dans le dispositif d'aménée, pour un débit total de 121,5 m³/sec. correspondant à trois groupes en service à pleine charge; pour le débit de 103,8 m³/sec. correspondant au disponible annuel moyen, la perte de charge est de 4,22 m.

Le tableau XI donne le calcul de la chute nette pour les divers régimes envisagés, ainsi que les puissances et l'énergie correspondantes.

Il en résulte que Le Marinel, en année moyenne, pourra développer environ 161.000 kW, ce qui correspond à une énergie annuelle de 1.410 millions kWh.

TABLEAU X — VITESSES ET PERTES DE CHARGE

	Diam. m	Section m ²	Longueur m	3 groupes			
				Q m ³ /sec	V m/sec	Pertes de charge	
						2 gr m	1 gr m
Grille et prise d'eau	—	—	—	121,5	—	0,10	0,10
Galerie	—	44	2438	121,5	2,76	1,50	1,50
Blindé 2 groupes	4,60	16,62	110	81	4,88	0,28	—
1 groupe	4,60	16,62	110	40,5	2,44	—	0,07
Conduite forcée moy.	2,89	6,56	357	40,5	6,17	2,56	2,56
Coudes et divers 2 gr.	—	—	—	—	—	1,33	—
1 gr.	—	—	—	—	—	—	0,98
V2	—	—	—	—	—	—	—
résiduel	—	—	—	—	2,00	0,20	0,20
2g	—	—	—	—	—	—	—
					Total	5,97	5,41
					Moyenne pour les 3 groupes		<u>5,78</u>

TABLEAU XI — CHUTE NETTE ET PUISSANCE

	3 groupes à pleine charge	moyenne générale 18 ans	moyennes des 15 années moyennes	moyennes des 3 années minimum	année maximum
Débit m ³ /sec	121,5	101,61	103,83	90,50	109,25
Niveau amont	1065	1065	1065	1065	1065
Niveau aval	881,95	881,84	881,85	881,76	881,88
Chute brute	183,05	183,16	183,15	183,24	183,12
Perte de charge	5,78	4,04	4,22	3,21	4,67
Chute nette	177,27	179,12	178,93	180,03	178,45
Puissance kW	186.460	157.560	<u>160.830</u>	141.050	168.770
Energie annuelle M. kWh	1633	1380	<u>1410</u>	1236	1478

CENTRALE

Détermination de la puissance des groupes.

conditionnées pour turbiner 40,5 m³/sec.; elles répondent en fait aux garanties suivantes :

Turbines. — Il a été dit plus haut qu'elles sont

Chute nette m	Surouverture			Ouverture 10/10°		
	Débit m ³ /sec	Puissance CV	Rendement %	Débit m ³ /sec	Puissance CV	Rendement %
179,50	41,75	89.500	89,5	40,5	87.200	90,2
174,—	41,30	86.000	89,5	40,5	84.500	90,1
169,—				40,5	82.000	89,8

Alternateurs et transformateurs. — Une puissance de 87.200 CV sur l'arbre de la turbine correspond à $87.200 \times 0,736 \times 0,978 = 62.767$ kW aux bornes de l'alternateur, ou à 69.741 kVA sous facteur de puissance 0,9. Les alternateurs sont conditionnés pour 69.000 kVA, mais on verra plus loin qu'ils sont capables d'une surcharge permanente.

La puissance des transformateurs correspond exactement à celle des alternateurs, soit 69.000 kVA.

Trois groupes turbo-alternateurs de cette puissance peuvent donc absorber le débit disponible à

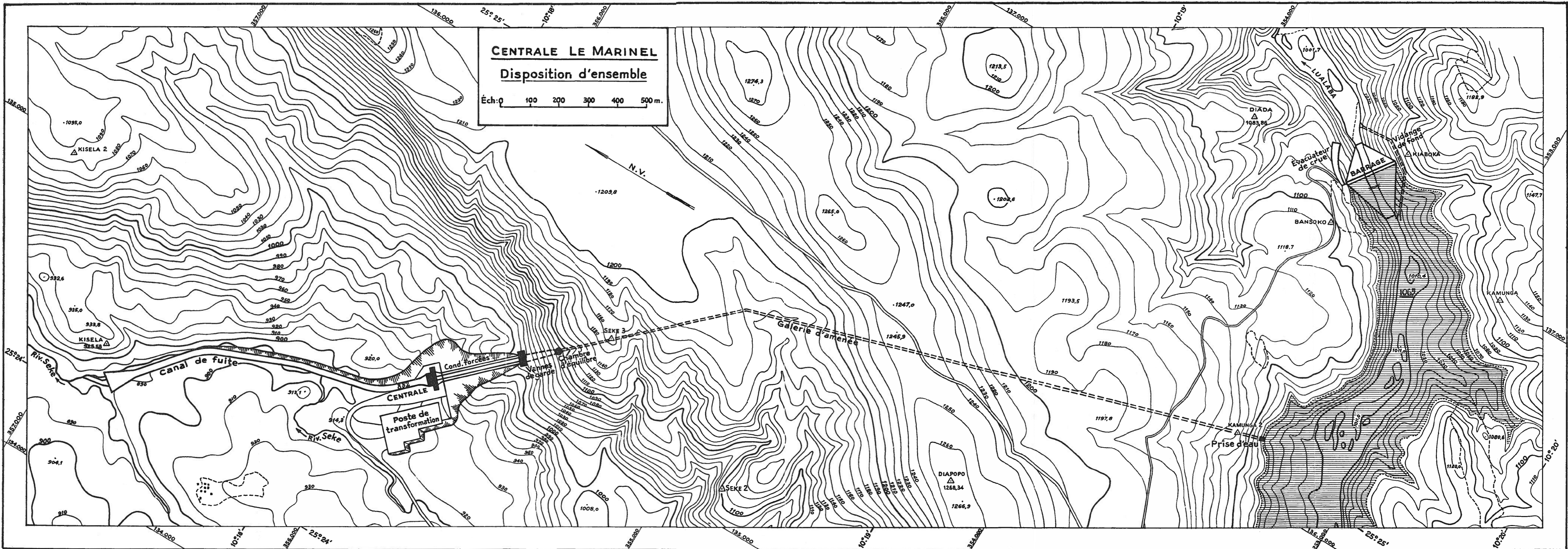
Le Marinel; un quatrième groupe, de réserve, est prévu avec son transformateur.

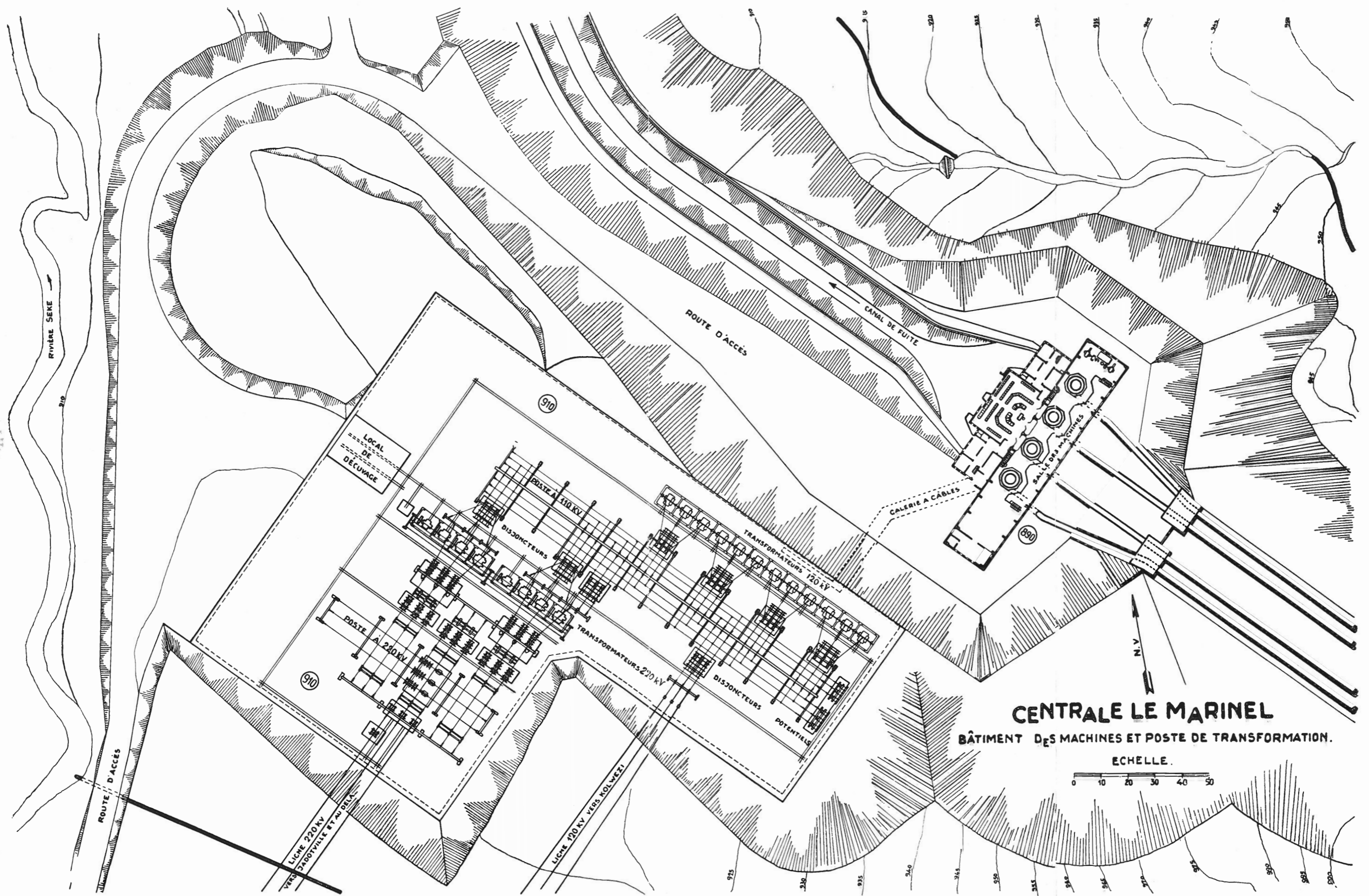
Au cours de la mise au point des spécifications du matériel, il a été constaté que les dimensions et le poids de certains éléments atteignent les limites admissibles par les chemins de fer africains; il a d'ailleurs été nécessaire de renforcer le matériel roulant existant par deux wagons surbaissés de 75 t de charge utile. Il semble donc que l'équipement de Le Marinel constitue la limite de ce qui peut être projeté dans cet ordre d'idées.

CENTRALE LE MARINEL

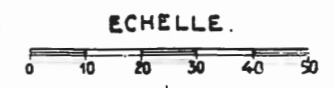
Disposition d'ensemble

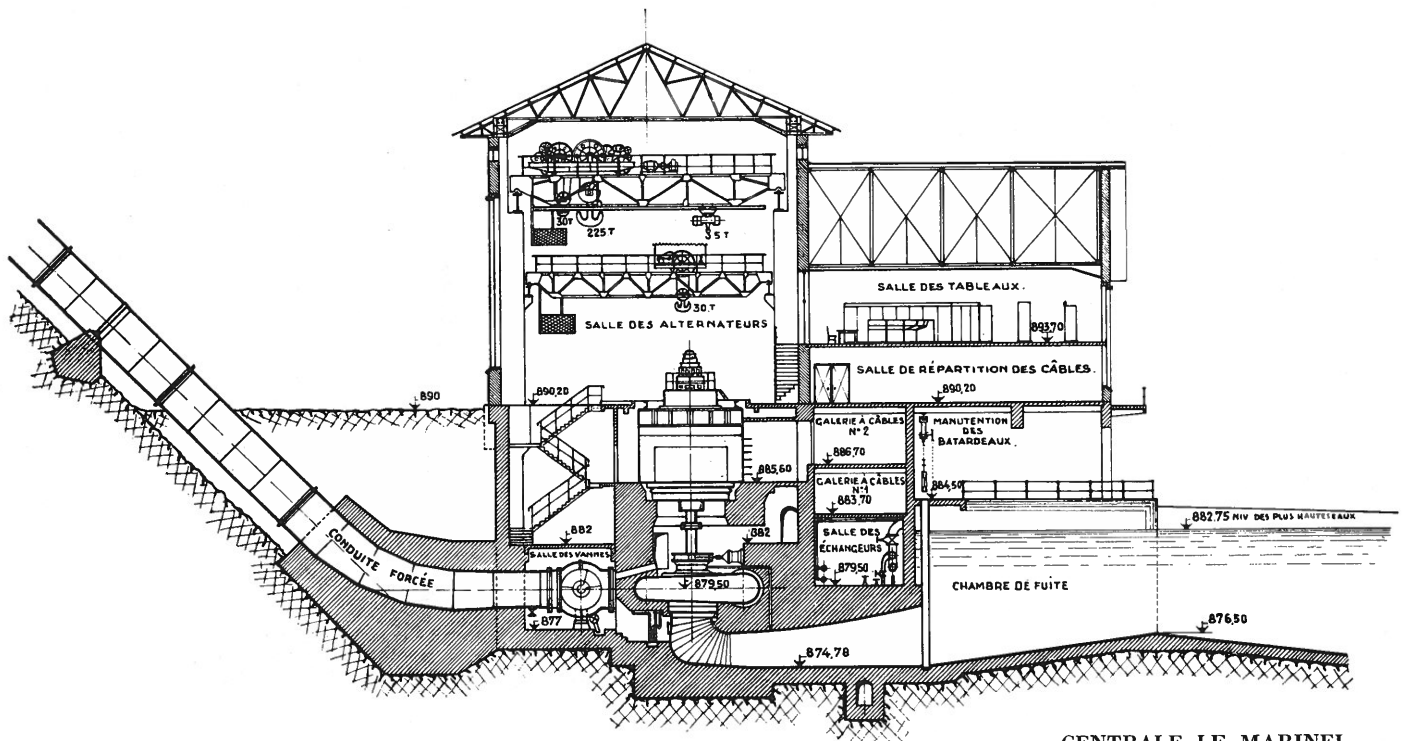
Éch: 0 100 200 300 400 500 m.





CENTRALE LE MARINEL
 BÂTIMENT DES MACHINES ET POSTE DE TRANSFORMATION.





CENTRALE LE MARINEL

*Bâtiment des machines et d'appareillage.
Coupe transversale.*

ÉCHELLE.



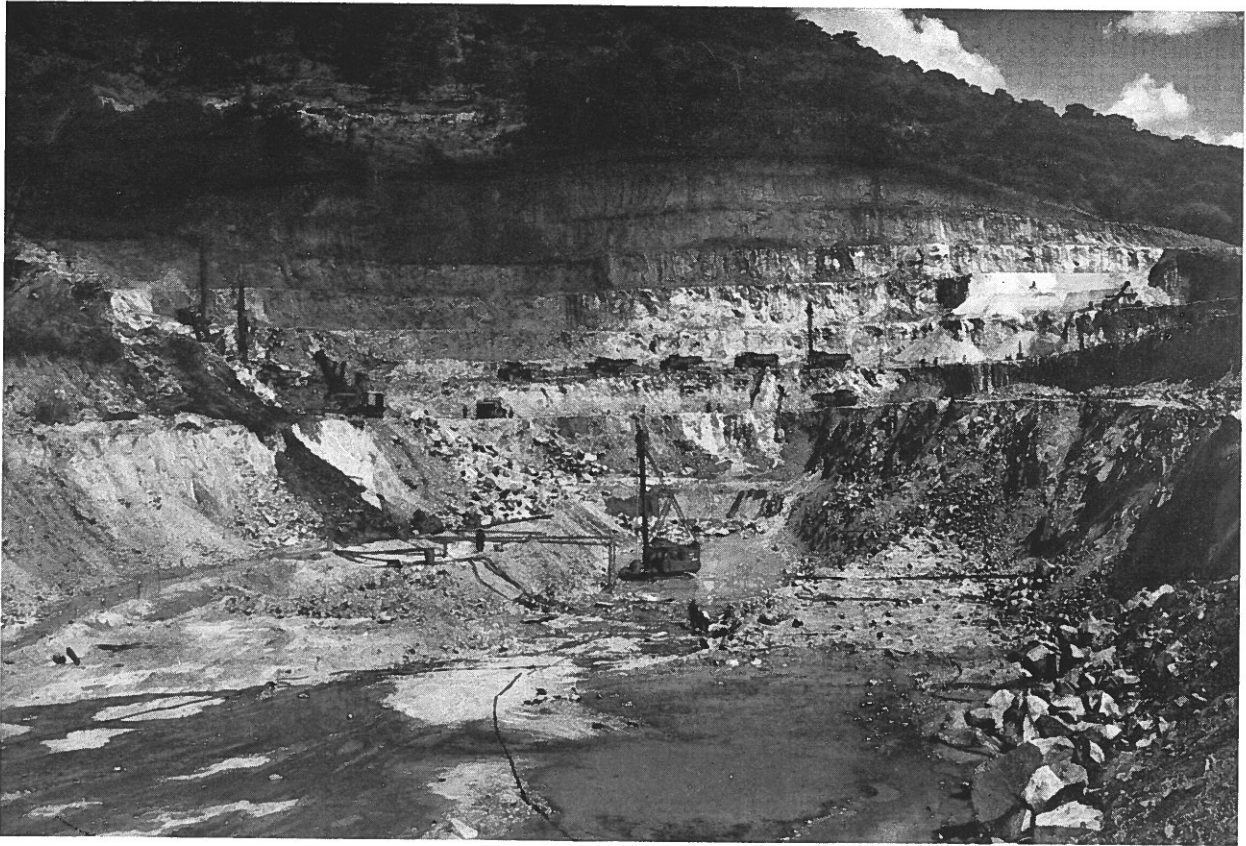
On observera, en passant, que Le Marinel aura une puissance du même ordre que celle de Génissiat, sur le Rhône, actuellement la plus puissante centrale d'Europe occidentale.

Bâtiment des machines. - La centrale se trouve au pied d'un escarpement, non loin du lit de la Seke, sous-affluent du Lualaba; le terrain de fondation, recouvert d'une épaisse couche de granite décom-

posé, a été reconnu par sondages jusqu'à délimitation, au niveau voulu, d'une aire suffisante de granite massif.

Le bâtiment a une longueur de 91 m (13 travées de 7 m), et une largeur de 17 m; les trois dernières travées servent d'atelier de montage et de réparation.

Le hall est desservi par un pont roulant de 225/30/5 t, de 15,05 m de portée, et par un pont



Centrale Le Marinel - Terrassements au site de la centrale.

auxiliaire de 30 t circulant sous le pont principal. Ce pont auxiliaire, servant surtout pendant la période de montage, pourra être récupéré en fin de travail.

Le bâtiment est à ossature métallique depuis le niveau du plancher des machines; les murs sont en maçonnerie de moellons de granite.

L'appareillage, le tableau de commande, les caniveaux à câbles, les services auxiliaires, bureaux, magasins, infirmerie, etc. sont logés dans une annexe à la salle des machines avec étage, construite au-dessus des aspirateurs des turbines; du pupitre de commande, on a vue parfaite sur l'ensemble de la salle des machines, où l'on a accès direct par deux escaliers.

La salle des pupitres et les bureaux sont pourvus d'un conditionnement d'air (filtration, température, degré hygrométrique), que le climat très chaud du site de la centrale exige pour le confort du personnel et la bonne conservation du petit appareillage.

Turbines. - Elles sont du type Francis, à axe vertical, vitesse normale $333 \frac{1}{3}$ t m, vitesse d'emballlement 610 t m.

La bêche spirale est en acier coulé, en quatre parties assemblées par brides usinées et boulons; les aubes directrices, en acier inoxydable, sont coulées d'une seule pièce avec leurs tourillons; sont également en acier inoxydable le labyrinthe et les plaques d'usure, en vue de réduire les corrosions et d'espacer au maximum les démontages pour entretien.

La roue est en acier inoxydable résistant parfaitement aux effets de la cavitation; elle se démonte à travers le stator de l'alternateur.

La pivoterie, qui supporte le poids des parties tournantes ainsi que les poussées axiales de l'eau, au total 450 t, et sert de palier-guide supérieur à l'alternateur, est située sur le croisillon supérieur de ce dernier. Le palier-guide inférieur est du type à graissage naturel, avec refroidissement par cir-

culution d'eau propre dans le métal et dispositif de sécurité qui arrête le groupe avant que la réserve d'huile ait pu s'échauffer dangereusement.

La réfrigération de l'huile des paliers et de l'huile de régulation se fait par serpentins, le fluide refroidisseur étant de l'eau pure circulant en circuit fermé; cette eau pure est elle-même refroidie dans un dispositif propre à chaque groupe et comprenant deux échangeurs de chaleur où circule de l'eau brute prélevée sur les conduites forcées avec coupe-pression intermédiaire.

Chaque turbine est protégée par une vanne sphérique, commandée par un servo-moteur à eau sous pression pour la fermeture, et à pression d'huile pour l'ouverture; cette vanne peut se fermer en toute sécurité sous la pleine charge et sous le plein débit en cas de rupture se produisant en aval de la vanne. L'ouverture se fait par égalisation préalable des pressions au moyen d'un by-pass, ce dernier comportant deux robinets, l'un de garde à commande manuelle, l'autre de service, à pointeau et à commande à huile.

La turbine est munie d'un régulateur automatique; le service d'huile sous pression du régulateur est propre à chaque unité.

La régulation, établie en fonction d'un moment de giration (PD^2) de l'alternateur de 2.000 $t\ m^2$, est conditionnée de telle sorte que, pour un passage instantané de la pleine charge à zéro, la survitesse ne dépasse pas 44 % de la vitesse normale; les temps d'ouverture et de fermeture des aubes directrices sont de l'ordre de 10 secondes; au surplus, la surpression maximum n'excède pas 25 % de la pression normale.

Afin que les divers circuits d'huile et d'eau de refroidissement fonctionnent à coup sûr, même en cas de manque de courant, les trois pompes qui, à chaque groupe, assurent ces services, sont commandées par deux petites roues Pelton logées dans un même bâti :

une de 18 CV 1500 t m à axe horizontal qui commande la pompe du circuit d'eau pure et la pompe à huile du circuit de refroidissement du pivot,

une de 18 CV 750 t m à axe vertical qui commande la pompe à huile de régulation.

Ces roues Pelton sont alimentées par une prise d'eau sur les conduites desservant les groupes turbo-alternateurs Pelton des services auxiliaires, dont il sera question plus loin.

Au surplus, chacune de ces pompes est doublée d'une moto-pompe électrique entrant en service automatiquement en cas de défaillance des pompes du service normal.

Canal de fuite. — La sortie de l'aspirateur de chaque turbine se fait par un seul pertuis de 5,38 m d'ouverture et de 3,60 m de hauteur, obturable au moyen d'éléments de batardeau métalliques mis en place par un palan circulant sur un monorail logé dans le sous-sol du bâtiment d'appareillage.

A la chambre de fuite fait suite un canal dans lequel le niveau libre s'établit à la cote 881,95 pour trois groupes en marche; le radier, à la cote 875 au départ, a une largeur de 5,25 m au plafond, les talus étant inclinés à 45°.

Le canal a 1.150 m de long; sur les 100 derniers mètres, son profil s'évase et son radier se relève à la cote 880,90 pour former seuil de déversement; le relèvement du radier a pour but de maintenir un niveau minimum dans le canal, après un arrêt complet de la centrale, et permettre un démarrage avec niveau aval suffisant. L'établissement de ce canal aura nécessité un terrassement de 1 million de m^3 .

Le canal, presque partout en granite dur, ne sera pas revêtu; aux endroits où la roche est fissurée, elle sera revêtue d'un gunitage.

En aval du canal de fuite, l'eau s'écoulera dans la vallée de la Seke, où des précautions seront prises contre des affouillements excessifs.

Alternateurs. - A axe vertical, accouplés directement à la turbine, 333 1/3 t m.

Puissance nominale en régime continu : 62.100 kW cos phi 0,9 soit 69.000 kVA; cette puissance peut être débitée en permanence pour des tensions de $\pm 7,5$ % par rapport à la tension nominale.

Nature du courant : alternatif triphasé 50 périodes, 10.500 V entre phases.

Couplage : étoile.

Bornes de sortie : deux par phase.

Vitesse d'emballement : 610 t m.

Moment de giration minimum : 2.000 t m^2 .

Excitation : — excitatrice principale en porte à faux, 210 V, 220 kW — excitatrice pilote, en porte à faux, 220 V 7 amp, excitation shunt.

Alternateur-pilote : l'extrémité de l'excitatrice pilote est prévue pour l'adjonction d'un alternateur-pilote, 333 1/3 t m, 127 V entre phases, triphasé, 27,77 périodes, puissance apparente 500 VA; cet alternateur-pilote fournit le courant au moteur du régulateur du groupe.

Ventilation : en circuit fermé seulement, l'air étant refroidi par 4 batteries de réfrigérants à eau consti-

tuées chacune de trois éléments horizontaux superposés, nettoyables en marche.

Echauffements : ne doivent pas dépasser les valeurs suivantes, au-dessus d'une température ambiante de 40° C.

	10.500 V - 7,5 %	10.500 V	10.500 V + 7,5 %
Enroulement stator	74°	65°	58°
Enroulement rotor	62°	65°	70°

Les alternateurs peuvent, consécutivement à une marche en régime continu à charge nominale, supporter une surcharge continue de 7 % et pendant une heure de 20 %, sans que les échauffements ci-dessus soient augmentés de plus de 10°.

Rendements : pour la tension nominale de 10.500 V aux bornes de la machine :

charge	Cos phi = 1	Cos phi = 0,9
62.100 kW (4/4)	98,0 %	97,8 %
46.575 (3/4)	97,7	97,5
31.050 (2/4)	96,9	96,7
15.525 (1/4)	94,3	94,2

Dimensions et poids :

Diamètre extérieur de la carcasse . . .	6,00 m
Diamètre de l'alésage du stator . . .	4,30 m
Poids net de la machine en ordre de marche	366 t
Poids net du stator (4 pièces) . . .	95 t
Poids net de la partie tournante . . .	200 t
Poids de la pièce la plus lourde pour le transport . . .	43 t

Protections :

Les protections de l'alternateur sont analogues à celles qui ont été décrites à la centrale Delcommune, savoir :

- protection statorique de terre,
- protection rotorique de terre,
- protection différentielle,
- relais à maximum d'intensité,
- relais thermiques,
- protection contre les marches dissymétriques,

- protection contre les marches asynchrones, ou de surveillance des circuits d'excitation,
- protection contre les surtensions,
- protection par relais de fréquence,
- régulateur automatique de tension à action rapide à grande puissance,
- appareil de désexcitation rapide,
- dispositif de synchronisation rapide.

Sous-station élévatrice. - Le poste élévateur, du type extérieur étalé, à double jeu de barres, est installé à côté de la centrale, sur une plate-forme située 20 m plus haut que le plancher de la salle des machines; il est muni d'un poste de décufrage avec pont roulant de 10 t et treuil roulant de 60 t.

Transformateurs 10.500/120.000 V. - Chaque groupe est connecté à un banc de trois pôles monophasés du type « shell form fit », de 23.000 kVA (69.000 kVA) à refroidissement forcé par air soufflé assuré par 17 ventilateurs par pôle; en refroidissement naturel, la puissance est limitée à 80 % soit 18.400 kVA.

Les rapports de transformation 10,5/110-115-120-125-130 kV sont réalisés par un commutateur manœuvrable hors tension, dont les changements de prise agissent sur l'enroulement haute tension; la tension primaire peut dépasser de 7,5 % la tension normale de 10.500 V.

Couplage triangle côté primaire, étoile côté secondaire.

Les transformateurs peuvent supporter une surcharge permanente de 15 % sans que leur durée de vie soit affectée.

Echauffements au-dessus d'une température ambiante de 30°C :

	Pleine charge normale	En surcharge
Huile	40°	50°
Cuivre moyen	48°	
Cuivre point le plus chaud	58°	

Rendements :

	cos phi 1	cos phi 0,9	cos phi 0,8
4/4 charge	99,34	99,27	99,18
3/4 »	99,43	99,37	99,29
2/4 »	99,47	99,41	99,34
1/4 »	99,33	99,26	99,17

Poids par pôle : 37.000 kg sans huile, 49.500 kg avec huile.

Transformateurs 120/220 kV. — En vue d'alimenter une artère à 220.000 V devant desservir Jadotville, Elisabethville, et être prolongée jusqu'en Rhodésie du Nord, la sous-station comprend deux bancs de trois pôles monophasés de 24.000 kVA (72.000 kVA par banc) 120/220 kV, avec un pôle monophasé de réserve.

Ces transformateurs, également du type « shell form fit » à refroidissement par air soufflé (24 ventilateurs par pôle), comportent trois enroulements : primaire 120 kV (27.600 kVA), secondaire 220 kV (24.000 kVA) et tertiaire 6,6 kV (17.000 kVA) ; en refroidissement naturel, ces puissances sont réduites de 20 %.

L'enroulement 120 kV est muni d'un commutateur de changement de prises, manœuvrable hors tension, à 7 positions (100, 105, 110, 115, 120, 125 et 130 kV).

Couplage :

Primaire 120 kV : étoile, avec point neutre mis directement et en permanence à la terre.

Secondaire 220 kV : étoile, la fermeture du point neutre s'effectuant par l'intermédiaire de l'enroulement secondaire en étoile du booster de réglage, dont le point neutre est mis directement et en permanence à la terre.

Tertiaire 6,6 kV : triangle.

Chacun des deux bancs de transformateur comporte, outre les trois pôles monophasés, un transformateur triphasé à rapport de transformation modifiable sous charge (booster) dont la tension 220 kV peut donc être réglée à volonté.

Ce booster comporte deux enroulements, l'un de réglage, couplage étoile, destiné à être inséré dans le point neutre de l'enroulement 220 kV du transformateur principal, l'autre d'excitation, couplage triangle, destiné à être alimenté à partir de l'enroulement tertiaire 6,6 kV du transformateur principal ; les échelons de réglage sont de $\pm 12 \times 2620$ V.

Cette combinaison permet un réglage de la tension 220 kV, de ± 15 %.

Les échauffements sont analogues à ceux des transformateurs 10,5/120 kV.

Poids des pôles principaux :

sans huile 54 t
avec huile 74 t
de décuvaqe 8 t

Rendement du transformateur principal, à 4/4 charge :

pour cos phi 1 99,38 %
0,8 99,23 %

La sous-station élévatrice comprend les travées suivantes :

Côté 120 kV : quatre travées de transformateurs ; trois départs 120 kV vers la centrale Delcommune, dont un seul sera monté pour le moment ; une travée de parallèle-barres ; deux départs vers les transformateurs 120/220 kV. Les transformateurs de potentiel sont installés en bout des jeux de barres.

Côté 220 kV : deux travées de transformateurs ; deux départs 220 kV dont un seul sera équipé pour le moment.

L'alternateur est relié à son transformateur par 14 câbles de puissance de 3 x 310 mm² triplomb.

Schéma électrique - Services auxiliaires.

Le schéma de base réalisé à la centrale Delcommune a encore été simplifié à Le Marinel : l'alternateur et son transformateur forment un groupe monobloc, sans jeu de barres pour l'alimentation des services auxiliaires, et sans jeu de barres de transfert permettant de connecter un alternateur donné au transformateur d'un autre groupe, possibilité à laquelle il a été renoncé parce qu'à Le Marinel, à l'inverse de ce qui fut fait à Delcommune, le groupe turbo-alternateur-transformateur de réserve fut commandé d'emblée.

La marche en parallèle des alternateurs n'est donc réalisée que sur le 120 kV.

Les services auxiliaires sont alimentés par deux groupes turbo-alternateurs, dont un de réserve :

Turbine : Pelton à axe horizontal à une roue et un jet, 750 t m, fournissant 500 CV sous une chute nette de 171 m, débit 254 l/sec. La turbine est alimentée par piquages sur les conduites forcées principales.

Alternateur : à axe horizontal, 750 t m, triphasé 550 V 50 périodes, 420 kVA.

Au surplus, afin de disposer d'une source d'énergie en cas de vidange de toutes les conduites forcées (visite du barrage ou de la galerie d'amenée), un groupe diesel-alternateur est prévu :

moteur 350 CV, 600 t m accouplé directement à un alternateur de 235 kVA, triphasé 50 périodes 550 V.

Les groupes Pelton et le groupe diesel sont disposés au bout du plancher de la salle des machines.

En résumé, tout en recherchant la plus grande simplicité dans le schéma électrique, toutes les précautions ont été prises en vue d'assurer une grande sécurité d'exploitation.

CHAPITRE III

EXECUTION DES TRAVAUX

Travaux préliminaires.

C'est en septembre 1951 que fut prise la décision de principe de construire la centrale Le Marinel constituant l'étage III de l'aménagement intégral du Lualaba; ce n'est qu'en août 1952, après une campagne d'un an de prospections géologiques et de sondages que l'on put fixer définitivement l'emplacement du barrage. Enfin, ce n'est qu'en mai 1953, après une autre campagne de sondages, que l'on put déterminer un emplacement convenant pour le bâtiment des machines, sur la rivière Seke.

Dans l'entretemps, l'équipement des chantiers avait été activement poussé : routes d'accès, dont une nouvelle route pour trafic lourd de Kanzenze à Le Marinel (35 km), transport de force provisoire à 50.000 V de Delcommune à Le Marinel, habitations pour européens et indigènes, dispensaires, ateliers

et magasins, air comprimé (2.000 CV) et sa distribution, constitution d'un important équipement de matériel d'excavation à ciel ouvert ou souterrain, avec moyens de transport, installation d'un poste de déchargement de matériel lourd au rail Tenke-Dilolo.

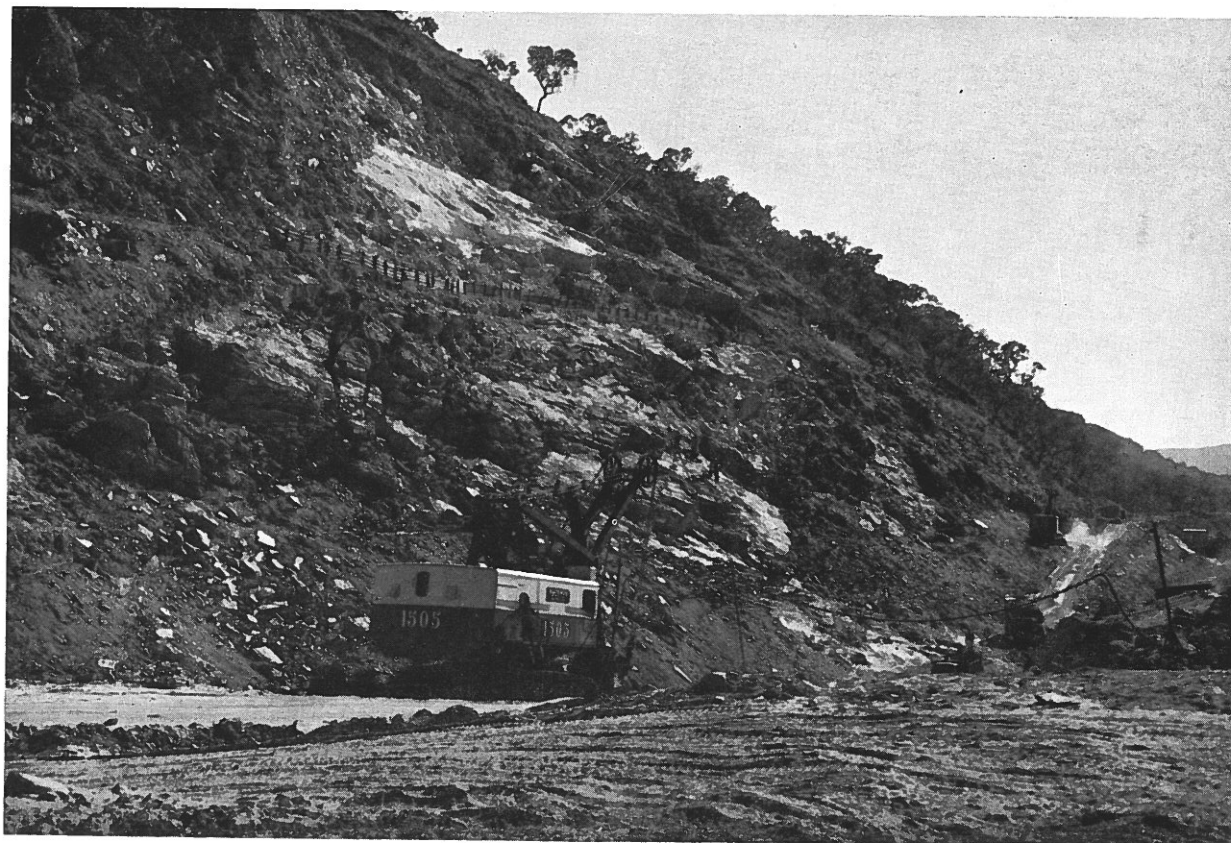
Les travaux de génie civil proprement dit débutèrent en mai 1953, par le creusement de la galerie de dérivation.

Barrage.

Le premier travail consista à dériver le Lualaba pour mettre à sec l'emprise du barrage.

La galerie de dérivation, de 50 m² de section d'écoulement, est creusée dans l'appui rive gauche, en plein rocher non revêtu, sauf sur une vingtaine de mètres à l'amont; elle a 380 m de long.

Le Marinel - Préparation de l'assise du barrage.



L'orifice d'entrée est pourvu d'un dispositif de fermeture à l'abri duquel, après achèvement du barrage et mise en service de la galerie de vidange définitive, on exécutera le bouchon en béton destiné à obturer définitivement la dérivation provisoire.

Ce dispositif de fermeture est établi de telle façon qu'on pourra y utiliser les vannes-wagon de l'ouvrage de prise d'eau.

Le batardeau amont est un simple enrochement, avec écran central et vertical en béton armé. Il est établi à une cote telle que la charge qu'il crée sur l'entrée de la galerie de dérivation permet l'écoulement d'un débit de 250 m³/sec., largement suffisant eu égard à la régularisation assurée par la centrale Delcommune. Le batardeau aval sera réduit à peu de chose par suite de l'existence d'une barre rocheuse traversant la rivière.

La galerie de dérivation a été creusée en sept mois et mise en service en février 1954.

Dès avant cette date, le dérochement de l'appui du barrage, rive droite, avait été entamé.

Mi-1954, l'appui rive droite et le lit de la rivière sont préparés et l'appui rive gauche est en cours de dérochement; les injections de consolidation au droit de l'écran imperméable sont en cours.

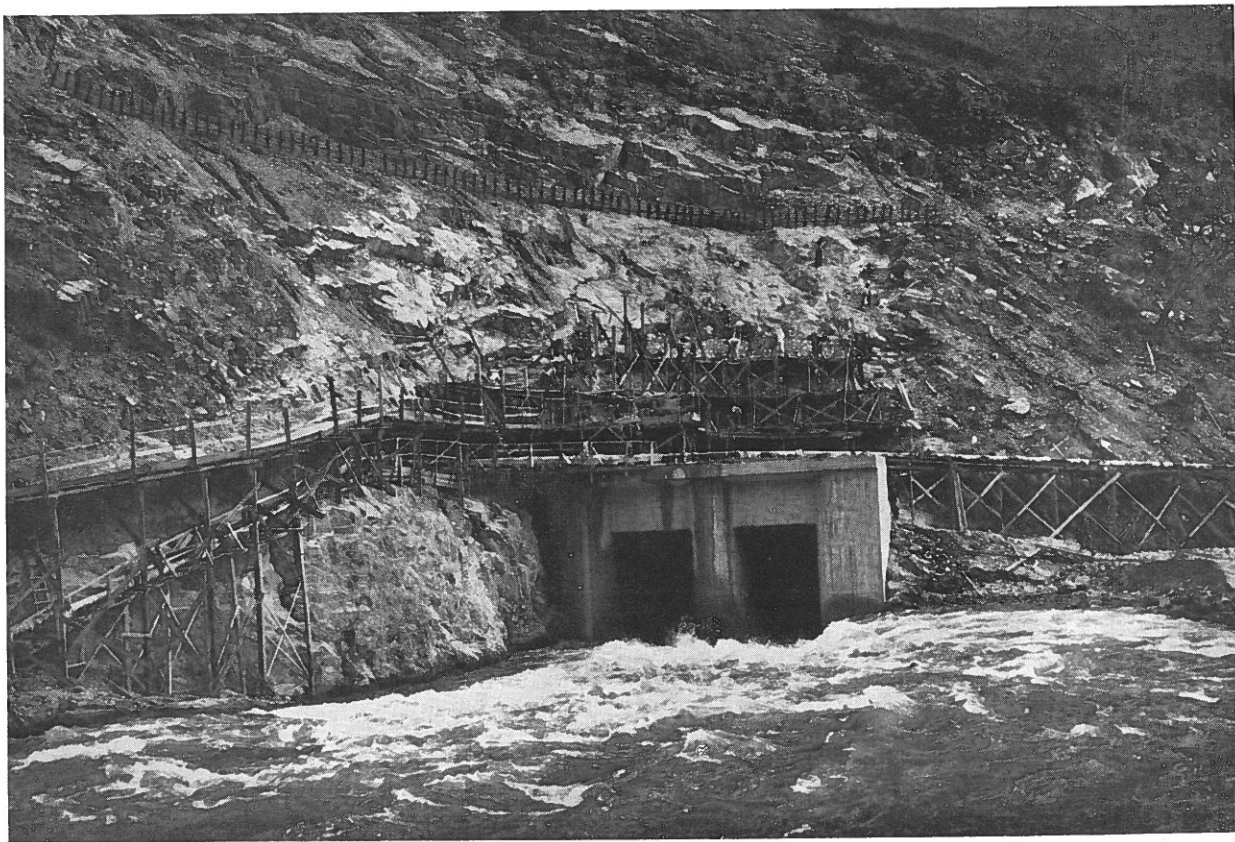
Les carrières d'où doivent provenir les moellons de l'enrochement sont ouvertes, et la construction de l'écran imperméable a débuté respectivement en juillet et août 1954.

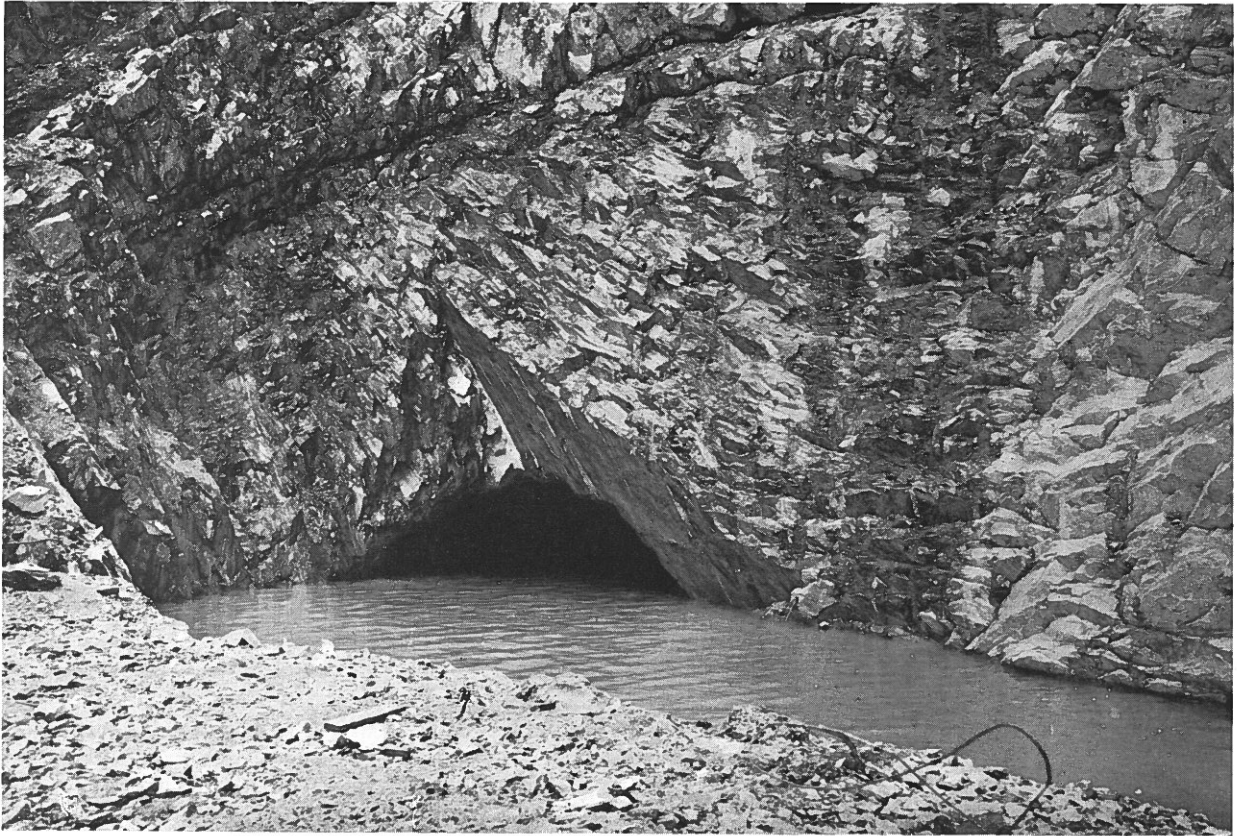
Galerie d'aménée.

Elle a été attaquée par l'amont en août 1953 et, à fin juillet 1954, près de 1.000 m sont creusés à partir de ce point; les terrains se révèlent d'excellente tenue et secs.

Une fenêtre provisoire de 200 m a été creusée pour la constitution d'un front aval, à partir duquel le creusement progresse à la fois vers l'amont et vers l'aval.

Centrale Le Marinel - Entrée de la galerie de dérivation.





Centrale Le Marinel - Sortie de la galerie de dérivation.

On estime que 1.400 m seront exécutés à partir de l'amont et 1.000 m à partir de l'aval.

Le matériel utilisé à ce creusement est identique à celui qui a servi à Delcommune : jumbo pour la perforation, engins mécaniques pour le chargement et le transport des produits abattus.

Des précautions spéciales sont prises pour éviter tout danger de silicose : ventilation énergique et aérosolation au chlorure de sodium de l'air envoyé dans les fronts.

Centrale.

Les terrassements préliminaires ont nécessité l'enlèvement de 1.000.000 de m³ de déblais ; les fouilles en granite massif du bâtiment des machines sont en cours, et les bétonnages commenceront en septembre 1954.

Les fouilles du canal de fuite (1.000.000 m³) sont également en cours. Ces terrassements s'exécutent

au moyen de grosses pelles électriques et de bennes diesel de 20 t.

Prévisions d'achèvement.

Le planning est basé sur une coordination très serrée des études, des fabrications en usine, des travaux de génie civil et des montages ; il prévoit la mise en marche des deux premiers groupes en août et octobre 1956 et des deux derniers en février et avril 1957. Compte tenu des aléas toujours possibles dans une réalisation d'une telle envergure, il est permis d'augurer que le premier groupe sera en marche au plus tard le 1^{er} janvier 1957, soit trois ans et demi environ après le démarrage effectif des travaux et génie civil.

N.B. — Les études et l'établissement des plans et des spécifications du matériel ont été confiés à la Société de Traction et d'Electricité à Bruxelles, qui fut déjà l'ingénieur-conseil pour les centrales Francqui, Bia et Delcommune.

Les équipements principaux ont été commandés aux firmes suivantes :

— Turbines, vannes-papillons (avec les Ateliers de la MEUSE), vannes sphériques, vannes de la prise d'eau et de la vidange, turbines Pelton des groupes auxiliaires : Etablissement NEYRPIG à Grenoble.

— Vannes de crue : BOUCHAYER & VIALLET à Grenoble (avec la MEUSE).

— Dégrilleur de la prise d'eau : JONNERET à Genève (avec la MEUSE).

— Alternateurs, transformateurs, disjoncteurs haute tension, tableaux, câbles de puissance, etc. : ATELIERS DE CONSTRUCTIONS ÉLECTRIQUES DE CHARLEROI (A.C.E.C.).

— Appareillage électrique divers : Firme BAL-TEAU.

— Conduites forcées et blindés : SULZER à Winterthur, une grande partie étant fabriquée aux ATELIERS METALLURGIQUES DE NIVELLES.

— Bâtiments métalliques de la centrale : ATELIERS METALLURGIQUES DE NIVELLES.

— Pont roulant de 225 t : MAISON BEER à Jemeppe-sur-Meuse.

— Pylônes de la ligne à 220 kV : ATELIERS METALLURGIQUES DE NIVELLES et CONSTRUCTIONS METALLIQUES AU KATANGA à Jadotville.

— Tréfilage et câblage des conducteurs de la ligne à 220 kV : LAMINOIRS ET TREFILERIES DU KATANGA, à Elisabethville.

Les travaux en Afrique sont exécutés par le Département des Etudes et Constructions de l'UNION MINIERE, avec la collaboration de la Société Anonyme Belge FORAKY pour le creusement et le revêtement des galeries et pour les injections.

Les recherches géologiques ont été faites par le Département Géologique de l'UNION MINIERE.

Sixième Partie : LE RESEAU A HAUTE TENSION

Lignes.

Le réseau subira prochainement quelques transformations et extensions, et la description qui en

est donnée au tableau XII répond à sa configuration définitive; la longueur totale des lignes à haute tension dépasse 1.000 km.

TABLEAU XII — LIGNES A HAUTE TENSION

Lignes	Section conducteurs	220 kV	120 kV	50 kV
	mm ²	km	km	km
Le Marinel - Jadotville	2 × 151	220		
Jadotville - Kasumbalesa (frontière rhodésienne)	2 × 151	200		
Le Marinel - Delcommune	253		29	
Delcommune - Répartiteur Kolwezi	161		2 × 20	
Répartiteur Kolwezi - Kolwezi	161		8	
Répartiteur Kolwezi - Jadotville	95		175	
Bia - Francqui	95		6	
Francqui - Jadotville	95		73	
Francqui - Elisabethville	95		111	
Jadotville - Chilatembo	95		76	
Jadotville - Kambove	35			25
Kambove - Kakanda	35			32
Kakantwe - Shinkolobwe	35			15
Lubumbashi - Kipushi	35			2 × 27
		420	518	126

Les lignes sont montées sur pylônes métalliques galvanisés, dont les pieds, soigneusement asphaltés, sont simplement enterrés dans le sol.

La portée moyenne est de 300 m environ, quelques portées atteignant exceptionnellement 500 m, suivant le profil en long du terrain ou à la traversée de certaines rivières.

Celles de ces lignes qui ont été construites au cours des vingt dernières années sont toutes du type élastique, les pylônes d'arrêt étant espacés, suivant l'allure du terrain ou la localisation des angles, de dix à quinze portées.

Les fils de garde sont en câbles d'acier galvanisé; leur mise à la terre se fait, par l'intermédiaire du pylône, à deux fils de cuivre continus de 4 mm de diamètre (contrepois) courant le long de la ligne et enterrés à 50 cm de profondeur.

Ce mode de mise à la terre a remplacé, sur toutes les lignes, le système de la plaque de cuivre à chaque pylône, et il a donné d'excellents résultats.

Les coups de foudre provoquent rarement un déclenchement, et ils n'occasionnent jamais d'avaries au matériel des sous-stations, d'ailleurs protégées par des parafoudres. Malgré le caractère très orageux de la saison des pluies, qui dure six mois, la stabilité des transports de force est remarquable.

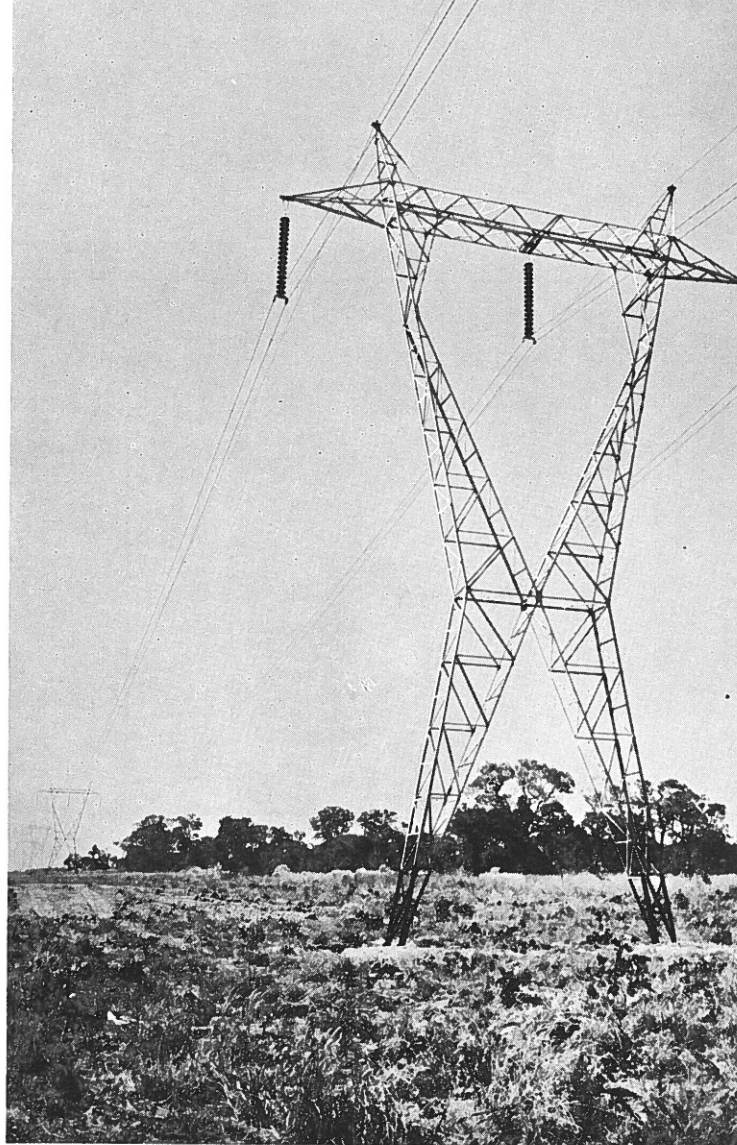
La conception de l'artère de 500 km à 220 kV reliant Le Marinel à Jadotville, Elisabethville et la Rhodésie du Nord a posé quelques problèmes délicats. L'effet couronne devait être limité à une valeur acceptable du point de vue pertes en ligne et influence sur les télécommunications à haute fréquence par ondes portées; on avait le choix entre le câble aluminium-acier de gros diamètre, le câble creux en cuivre et la ligne jumelée en câble de cuivre.

Le câble aluminium-acier aussi bien que le câble creux en cuivre auraient dû être importés; le câble creux en cuivre aurait même dû être fabriqué hors de Belgique.

Après des essais très poussés sur la table à calcul de Tablelec à Bruxelles et d'autres essais exécutés par les maisons spécialisées en télécommunications, la ligne en câbles de cuivre jumelés fut finalement adoptée, et une firme d'Elisabethville a été chargée de la fabrication des câbles.

Les deux câbles de chaque phase ont chacun 151 mm² de section, et ils sont réunis par quatre entretoises articulées dans chaque portée de 300 m.

Cette ligne est pour le moment en montage; le tronçon Kolwezi-Jadotville sera terminé pour novembre 1954 et il sera mis en service sous la tension temporaire de 120 kV pour soulager la ligne actuelle dont la capacité est insuffisante; on passera à la tension de 220 kV dès la mise en route de Le Marinel et achèvement de la sous-station 220/120 kV de Jadotville et de la sous-station 220/66 kV de Kitwe en Rhodésie.



Ligne 220 kV Le Marinel à Jadotville - Pylône d'alignement.

Sous-stations de transformation.

A l'exception des sous-stations de la centrale Francqui et de Jadotville, qui sont encore construites en hauteur, elles sont toutes du type extérieur étalé, en général à double jeu de barres.

La puissance apparente des transformateurs est donnée au tableau XIII qui tient compte des remaniements et renforcements qui seront apportés au réseau dans un proche avenir.

Le total est de 1.125.900 kVA installés, dont la propriété se partage entre l'Union Minière, Sogefor, Sogelec et le Chemin de Fer du B.C.K.

Il existe en outre d'autres transports de force locaux à tension moindre (15.000 et 6.600 V) dont il n'est pas fait mention ici.

TABLEAU XIII — SOUS-STATIONS TRANSFORMATRICES (kVA installés)

kV	120/220	120/6,6	120/50/6,6	120/25	50/6,6
Centrale Francqui	—	3 × 12000	—	—	—
	—	3 × 13200	—	—	—
Centrale Bia	—	3 × 15600	—	—	—
Centrale Delcommune	—	4 × 33000	—	—	—
Centrale Le Marinel	2 × 72000	4 × 69000	—	—	—
Kolwezi Mine	—	33000	—	—	—
Usine à zinc	—	33000	—	2 × 6000	—
Ruwe	—	3000	—	—	—
Kisanfu	—	—	—	3 × 6000	—
Fungurume	—	—	—	3 × 6000	—
Kambove	—	—	—	—	1000
Shinkolobwe	—	—	—	—	3 × 3000
Kakontwe	—	—	—	—	3000
	—	—	—	—	2 × 1000
Jadotville	72000	3 × 20000	9000	3 × 6000	2 × 2000
Sofumwango	—	—	—	3 × 6000	—
Elisabethville	—	2 × 17000	2 × 17000	2 × 6000	3000
	—	—	15000	—	—
Kipushi	—	—	—	—	3 × 13500
	216.000	693.400	58.000	96.000	62.500

Télécommunications et Dispatching.

L'exploitation d'un réseau très étendu, sur lequel débitent en parallèle quatre centrales hydroélectriques au surplus couplées deux par deux du point de vue hydraulique, et desservant plusieurs grosses sous-stations transformatrices, exige des communications claires, rapides et sûres.

Depuis la mise en service de la centrale Francqui en 1930, un système de téléphonie à haute fréquence sur ligne relie la centrale Francqui aux principaux centres d'utilisation; ces liaisons ont rendu de grands services, quoique ne permettant qu'une seule communication à la fois, sur chaque artère.

L'entrée en jeu de nouvelles centrales, l'accroissement considérable des puissances transportées et l'importance primordiale, pour tout le Katanga, d'une sécurité et d'une continuité absolues de l'exploitation ont nécessité un remaniement complet de toutes les télécommunications.

Le dispositif comprendra :

- Des liaisons téléphoniques haute fréquence permettant quatre conversations en duplex entre Jadotville et Elisabethville, quatre entre Jadotville et Kolwezi et une entre Jadotville et la centrale Francqui; la communication directe Elisabethville-Kolwezi est également possible.

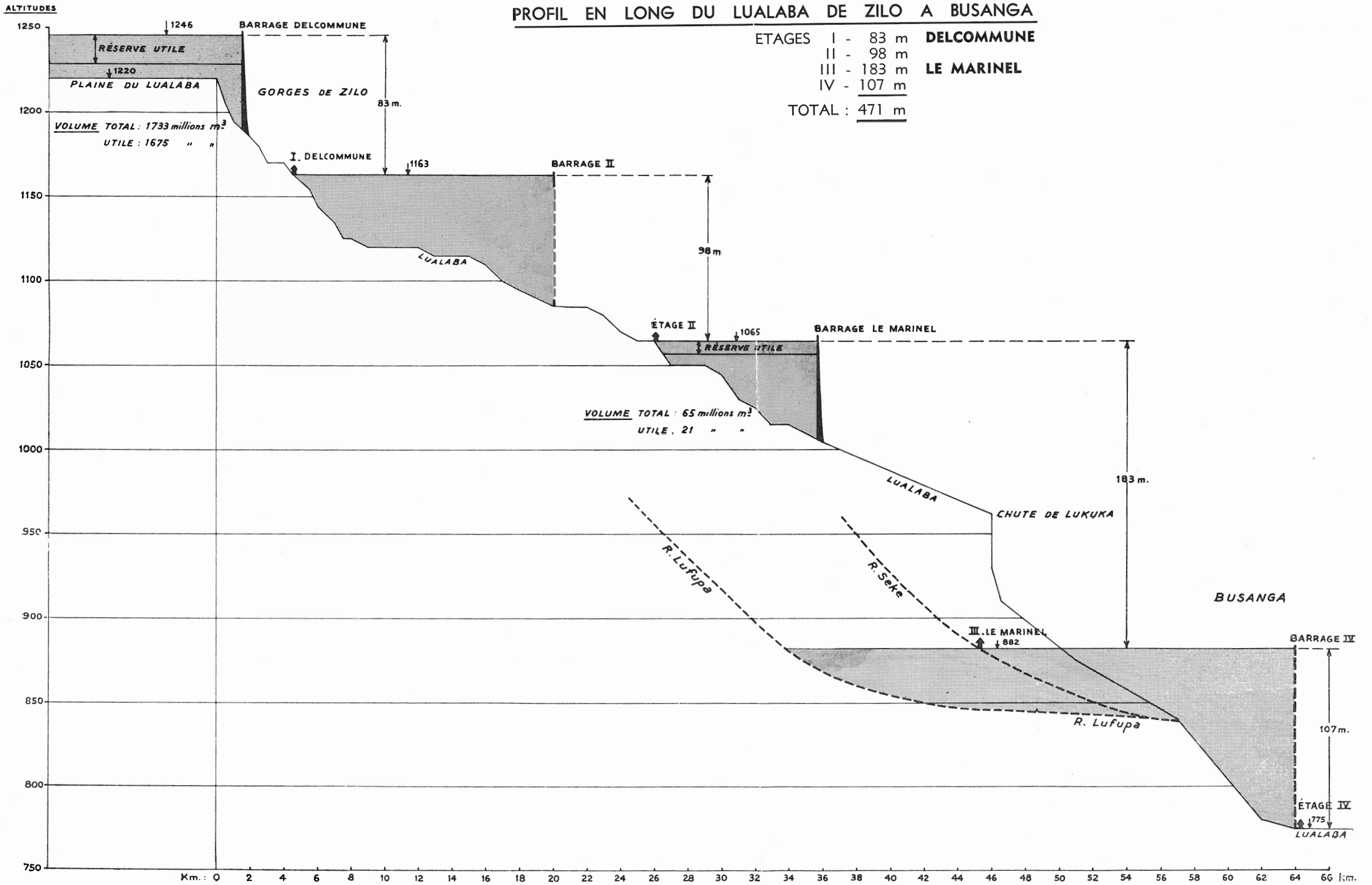
La liaison Kolwezi-Centrale Delcommune-Centrale Le Marinel est assurée par un câble souterrain à paires multiples; il en est de même entre les centrales Francqui et Bia.

- Un système de dispatching qui assurera la centralisation et l'enregistrement à Jadotville d'une série d'indications utiles, notamment position des principaux disjoncteurs à haute tension, télémessure des grandeurs électriques essentielles telles que tension aux barres et puissances actives et réactives produites par les centrales, puissance transportée dans chaque ligne d'interconnexion, puissance consommée par chaque centre utilisateur.

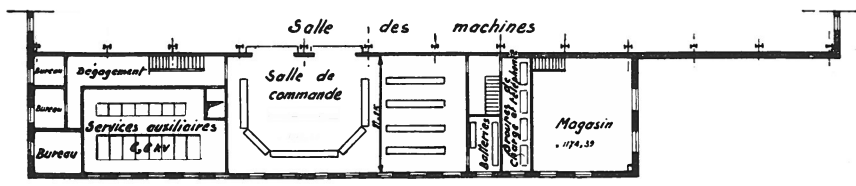
Toutes ces indications seront reproduites au poste central de dispatching de Jadotville, sur un schéma figuratif de tout le réseau à haute tension qui donnera donc à tout moment, au dispatcher, une image vivante des conditions de marche du réseau.

Accessoirement, il est indispensable que tous les centres reliés aient une heure unique; depuis longtemps, l'heure est donnée par des horloges synchrones, souvent à réserve de marche. La centrale Francqui règle l'heure, chaque jour, par comparaison avec l'heure donnée par la radio, en faisant varier la fréquence d'une fraction de période. Tout le Katanga dispose donc, à domicile, de l'heure officielle.

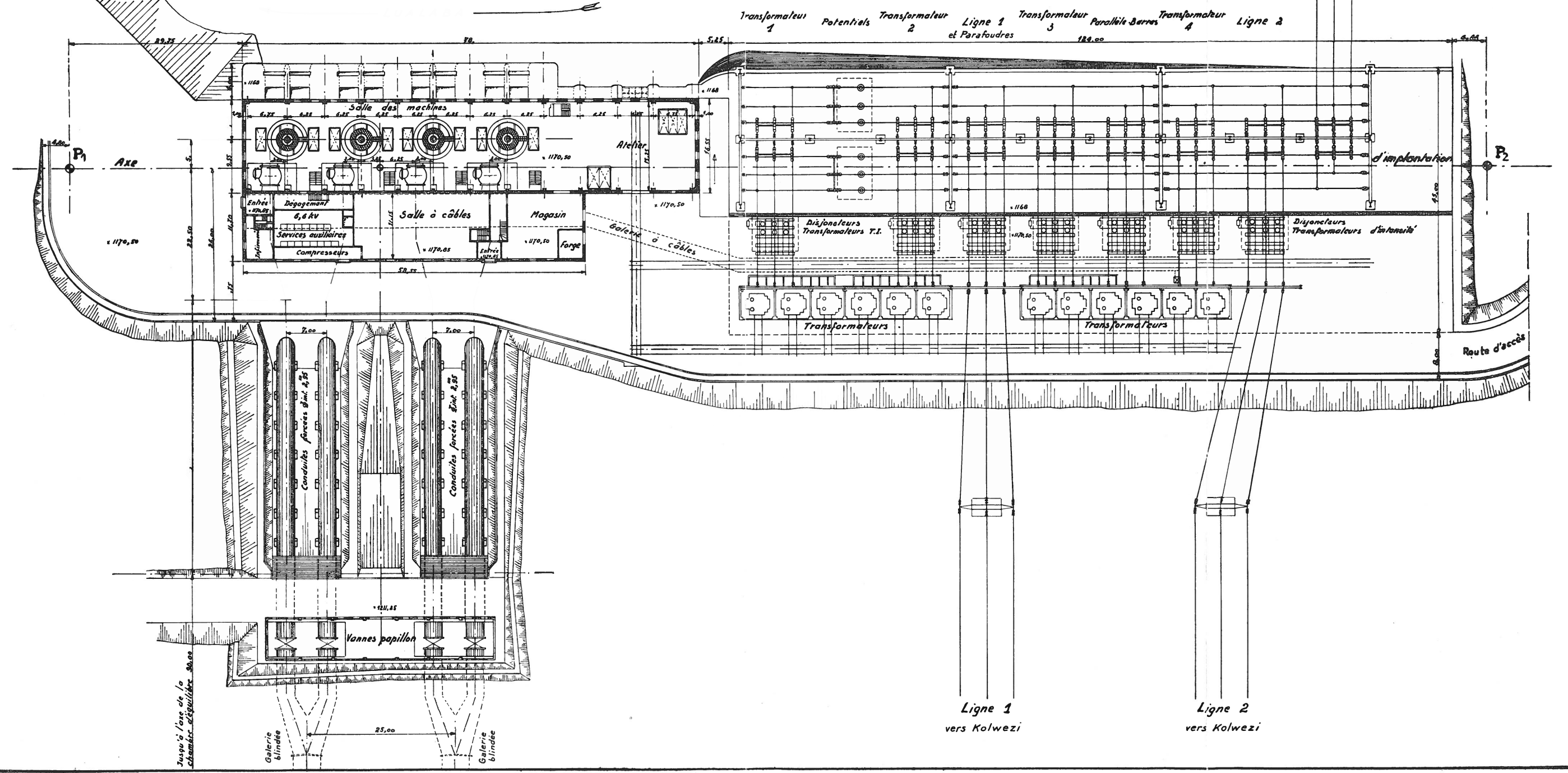
PROFIL EN LONG DU LUALABA DE ZILO A BUSANGA



ment d'appareillage
e en plan de l'étage



CENTRALE DELCOMMUNE
CENTRALE ET POSTE DE TRANSFORMATION
VUE EN PLAN



Jusqu'à l'axe de la chambre d'équilibre 30,00

Galerie blindée

25,00

Galerie blindée

Ligne 1
vers Kolwezi

Ligne 2
vers Kolwezi

