

Institut Royal Colonial Belge

SECTION
DES SCIENCES TECHNIQUES

Mémoires. — Collection in-8°.
Tome III, fasc. 2.

Koninklijk Belgisch Koloniaal Instituut

AFDEELING
DER TECHNISCHE WETENSCHAPPEN

Verhandelingen. — Verzameling
in-8°. — T. III, afl. 2.

AMÉNAGEMENT HYDRO-ÉLECTRIQUE

COMPLET

DE LA LUFIRA A "CHUTES CORNET,,

PAR RÉGULARISATION DE LA RIVIÈRE

PAR

R. BETTE

INGÉNIEUR (A.I.A. — A.I.Ms),
VICE-DIRECTEUR DE LA SECTION DES SCIENCES TECHNIQUES.



BRUXELLES

Librairie Falk fils,
GEORGES VAN CAMPENHOUT, Successeur,
22, rue des Paroissiens, 22.

BRUSSEL

Boekhandel Falk zoon,
GEORGES VAN CAMPENHOUT, Opvolger,
22, Parochianenstraat, 22.

1941

LISTE DES MÉMOIRES PUBLIÉS

COLLECTION IN-8°

SECTION DES SCIENCES MORALES ET POLITIQUES

Tome I.

PAIS, le R. P., *Au Ruanda, sur les bords du lac Kivu (Congo Belge). Un royaume hamite au centre de l'Afrique* (703 pages, 29 planches, 1 carte, 1933) . . . fr. 125 »

Tome II.

LAMAN, K.-E., *Dictionnaire kikongo-français* (xciv-1183 pages, 1 carte, 1936) . . . fr. 300 »

Tome III.

1. PLANQUAERT, le R. P. M., *Les Jaga et les Bayaka du Kwango* (184 pages, 18 planches, 1 carte, 1932) . . . fr. 45 »
2. LOUWERS, O., *Le problème financier et le problème économique au Congo Belge en 1932* (69 pages, 1933) . . . 12 »
3. MOTTOULLE, le D^r L., *Contribution à l'étude du déterminisme fonctionnel de l'industrie dans l'éducation de l'indigène congolais* (48 pages, 16 planches, 1934) . . . 30 »

Tome IV.

MERENS, le R. P. J., *Les Ba dzing de la Kamtsha :*

1. Première partie : *Ethnographie* (381 pages, 3 cartes, 42 figures, 10 planches, 1935) . . . fr. 60 »
2. Deuxième partie : *Grammaire de l'Idzing de la Kamtsha* (xxxv-388 pages, 1938) . . . 115 »
3. Troisième partie : *Dictionnaire Idzing-Français suivi d'un aide-mémoire Français-Idzing* (240 pages, 1 carte, 1939) . . . 70 »

Tome V.

1. VAN REETH, de E. P., *De Rol van den moedertijken oom in de inlandsche familie* (Verhandeling bekroond in den jaarlijkschen Wedstrijd voor 1935) (35 bl., 1935) . . . 5 »
2. LOUWERS, O., *Le problème colonial du point de vue international* (130 pages, 1936) . . . 20 »
3. BITREMIEUX, le R. P. L., *La Société secrète des Bakhimba au Mayombe* (327 pages, 1 carte, 8 planches, 1936) . . . 55 »

Tome VI.

ISOELER, A., *Les grandes lignes des migrations des Bantous de la Province Orientale du Congo belge* (578 pages, 2 cartes, 6 planches, 1936) . . . fr. 100 »



AMÉNAGEMENT HYDRO-ÉLECTRIQUE
COMPLET

DE LA LUFIRA A "CHUTES CORNET,,

PAR RÉGULARISATION DE LA RIVIÈRE

PAR

R. BETTE

INGÉNIEUR (A.I.A. — A.I.Ms),
VICE-DIRECTEUR DE LA SECTION DES SCIENCES TECHNIQUES.

Présenté à la séance du 26 avril 1940.

AMÉNAGEMENT HYDRO - ÉLECTRIQUE COMPLET

DE LA LUFIRA A « CHUTES CORNET »

PAR RÉGULARISATION DE LA RIVIÈRE

Ainsi que j'ai eu l'occasion de l'exposer précédemment (voir *Bulletin de l'Institut Royal Colonial*, année 1931, t. II, n° 3), l'aménagement initial hydro-électrique des chutes de la Lufira à « Chutes Cornet », anciennement dénommées « Chutes de Mwadingusha », comprenait en ordre principal :

a) Un barrage déversoir de dérivation de 550 m. de longueur sur 10 m. de hauteur maximum, fondations comprises;

b) Un canal d'amenée à ciel ouvert, de 660 m. de longueur, permettant d'écouler un débit de 65 m³ par seconde;

c) Une chambre de mise en charge assurant la liaison entre le canal et les conduites forcées;

d) Deux conduites forcées de diamètre intérieur variant de 2^m50 à 2^m20 et d'environ 315 m. de longueur chacune;

e) Trois groupes turbo-alternateurs de 15.000 HP chacun avec leurs transformateurs élévateurs.

Le barrage arasé à la cote (206,00), sur la plus grande partie de sa longueur, permettait une capacité d'accumulation brute de 40 millions de m³. Cette capacité fut portée par après à 82 millions de m³ par surélévation provisoire de la crête de l'ouvrage à la cote (206,75).

L'énergie générée à 6.600 volts est transportée sous 120.000 volts aux divers sièges industriels de l'Union Minière du Haut-Katanga.

Ces installations permettaient de livrer, en année moyenne, environ 225 millions de kWh aux centres de consommation.

L'aménagement complet de la chute brute de 113 m. disponible à Mwadingusha prévoyait, dès l'origine et comme second stade, l'installation de deux groupes turbo-alternateurs supplémentaires et d'une troisième conduite forcée.

Dans ces conditions, l'accumulation d'une quantité d'eau suffisante devait être réalisée. Il avait été projeté dans ce but de créer dans la région de Tenké, à 75 km. à vol d'oiseau en amont de « Chutes Cornet », un réservoir d'accumulation permettant de régulariser le débit de la Lufira au régime d'environ 45 m³ par seconde, volume nécessaire pour assurer le fonctionnement simultané de quatre turbines.

Ce projet, fortement modifié en ce qui concerne les dispositifs d'accumulation d'eau, a été réalisé complètement fin 1939.

Le détail des études et de l'exécution des travaux fait l'objet de l'exposé ci-après.

L'ensemble des installations réalisées est représenté à la planche I, qui servira de guide général pour le dit exposé.

I. — ACCUMULATION.

A. — Emplacement du barrage et capacité du réservoir.

Le projet initial prévoyait la construction d'une digue de retenue en terre au lieu-dit Bia-Tenke, à 75 km. à vol d'oiseau en amont de « Chutes Cornet » (voir pl. II, plan de situation).

Après étude détaillée, nous nous sommes arrêté à une solution complètement différente, consistant à surélever, en le renforçant, le barrage existant à « Chutes Cornet ».

Cette solution avait contre elle l'importance beaucoup plus grande des pertes par évaporation, vu la profondeur moyenne relativement faible du bassin d'accumulation ainsi créé et par conséquent sa surface beaucoup plus étendue pour une même capacité.

Par contre, elle nécessitait une immobilisation de capitaux moindre et offrait le grand avantage de concentrer en un même endroit tous les ouvrages, facilitant ainsi la surveillance et l'entretien. De plus, elle permettait de faire participer à la régularisation du débit de la rivière les venues d'eaux pluviales dans la région étendue séparant Tenke de Mwadingusha, qui à elle seule représente 60 % du bassin versant total disponible.

La détermination de la capacité à donner au réservoir d'accumulation a été établie par la méthode des débits cumulés (pl. III), sur base de jaugeages de la Lufira exécutés sans discontinuité de 1921 à 1936, soit pendant seize ans.

Durant cette période, le débit total écoulé à « Chutes Cornet » a atteint 29,15 milliards de m³ d'eau, représentant un débit moyen annuel de 1,82 milliard de m³, soit un débit moyen instantané de 57,8 m³ par seconde.

Si ce débit eût pu être ainsi entièrement accumulé sans pertes par évaporation ou autres, il eût permis de fournir aux centres de consommation et à raison de

4,1 m³ d'eau par kWh rendu, une énergie moyenne annuelle de plus de 440 millions de kWh.

En réalité, ce résultat ne peut être atteint, étant données les pertes par évaporation qui sont considérables et atteignent, selon nos mesures (voir plus loin), pour le lac réservoir créé à Mwadingusha, le montant énorme de 449 millions de m³ d'eau environ par an.

Par contre, compte tenu de l'évaporation dans le réservoir préexistant à Mwadingusha, ces pertes n'auraient atteint que 96,6 millions de m³ environ par an si le réservoir avait été aménagé à Bia-Tenke.

La perte par évaporation dans le réservoir nouveau de « Chutes Cornet » représente au résumé 14,3 m³ par seconde, soit environ 110 millions de kWh par an.

La perte totale par évaporation dans le cas du barrage de Bia-Tenke n'eût représenté qu'environ 3,1 m³ par seconde, soit 23,6 millions de kWh par an.

Par contre, le volume d'eau disponible pour une année moyenne atteint 1.820 millions de m³ pour le réservoir d'accumulation à « Chutes Cornet », contre 1.650 seulement dans le cas d'accumulation à Bia-Tenke, compte tenu d'ailleurs de la réserve déjà existante à Mwadingusha.

L'accumulation de 82 millions de m³ bruts (réduits par évaporation à environ 75 millions) réalisée précédemment à « Chutes Cornet » par le barrage existant avant les travaux nouveaux n'est pas suffisante pour régulariser entièrement le débit d'apport de la partie du bassin versant compris entre « Chutes Cornet » et Bia-Tenke. Dès lors, pour être placé dans des conditions hydrauliques comparables, le projet de barrage à Bia-Tenke aurait dû comporter, en plus de la très importante digue de retenue à construire à cet endroit, une surélévation réduite du barrage de « Chutes Cornet » permettant d'obtenir la régularisation complète du débit d'apport de la partie du bassin versant compris entre les deux ouvrages.

Au résumé, compte tenu de l'évaporation, l'étude des courbes de débits cumulés montre que les deux solutions envisagées permettaient une production du même ordre de grandeur, soit en année moyenne : a) environ 327 millions de kWh pour une accumulation de 830 millions de m³ à « Chutes Cornet » et b) 336 millions de kWh pour une accumulation de 540 millions de m³ envisagée à Bia-Tenke.

Les diagrammes des débits cumulés relatifs aux deux variantes étudiées montrent particulièrement que pendant la période de seize ans envisagée, les pertes totales, par évaporation et par évacuation des excédents, peuvent être fixées respectivement comme l'indique le tableau ci-dessous :

Pertes par	Réservoir de 830 M. de m ³ à « Chutes Cornet ».	Réservoir de 540 M. de m ³ à Tenke, et réserve de 82 M. de m ³ existant à « Chutes Cornet ».
Evacuation	410 millions de m ³	5.440 millions de m ³ (1)
Evaporation . . .	7.190 millions de m ³	1.545 millions de m ³
Total . . .	7.600 millions de m ³	6.985 millions de m ³

Il en résulte que le volume d'eau perdu en plus dans le cas de l'accumulation à « Chutes Cornet », est de 615 millions de m³, à réduire de 30 millions de m³, comme l'indique le diagramme, pour tenir compte de la différence des volumes d'eau restant emmagasinés dans les réservoirs après la période de seize ans considérée.

Le supplément résiduel de 585 millions ne correspond par année moyenne qu'à une différence de 9 millions

(1) A noter que pour limiter les évacuations considérables à prévoir à Tenke, il eût fallu augmenter considérablement les dimensions de l'ouvrage prévu à cet endroit et qui, déjà pour le résultat envisagé ci-dessus, devait présenter une hauteur maximum de 35 m. sur une longueur en crête de 1 km. environ.

de kWh entre les productions, dans l'une et l'autre des solutions envisagées. A ce point de vue elles étaient donc sensiblement équivalentes. Les devis étaient par contre largement au désavantage du barrage à Bia-Tenke.

Aussi, compte tenu des facilités de surveillance et de service qu'offrait le projet de surhaussement du barrage de « Chutes Cornet », c'est en définitive cette solution qui fut choisie et exécutée.

*
**

L'examen des courbes des débits cumulés permet de prévoir que, pour la retenue envisagée à (209,00) :

a) La régularisation au régime de 45,5 m³ par seconde sera complète pendant dix années sur seize, répondant pendant cette période à un débit d'eau équivalent annuellement à 350 millions de kWh aux centres de consommation, et presque complète pour les six années restantes de la période envisagée. La moyenne totale annuelle pour les seize années équivaut à 327 millions de kWh.

b) Pendant une période de seize années, le réservoir sera entièrement rempli à quatre reprises, pendant un mois environ chaque fois;

c) Sur seize années le réservoir sera vidé complètement à cinq reprises pendant en moyenne quatre mois chaque fois;

d) A marche constante à pleine charge de l'usine, il ne serait nécessaire d'ouvrir les vannes d'évacuation qu'en moyenne quatre fois sur seize ans, les pertes d'eau oscillant à chaque décharge entre 25 et 180 millions de m³.

Pour supprimer entièrement ces pertes, il eût fallu, compte tenu de l'évaporation supplémentaire, surélever le barrage et ses annexes, y compris la longue digue, d'environ 60 cm., travaux coûteux que la faible fré-

quence du phénomène, le souci de ne pas dépasser la zone d'inondation réservée et le désir de limiter les dépenses ne nous ont pas amenés à exécuter. On ne perdra, en effet, pas de vue que déjà pour assurer la fourniture effective de 350 millions de kWh par an aux centres d'utilisation, il eût fallu installer une sixième unité, la marche à pleine charge des machines, sans arrêt pendant toute l'année, étant impossible à considérer.

B. — Évaporation.

L'influence considérable de l'évaporation signalée ci-dessus vaut que nous nous arrêtions spécialement à ce sujet.

La superficie maximum du lac atteint environ 425 km², soit près des trois quarts de la superficie du lac Léman. Les planches II et III en montrent l'étendue.

Dès 1937, des mesures d'évaporation furent effectuées à « Chutes Cornet », au moyen d'une station aménagée spécialement à cet effet et comprenant deux bassins expérimentaux, dont un grand bassin de 90 m² de superficie et un petit bassin de 1 m² seulement. Pour atténuer autant que possible l'effet des parois, le grand bassin fut limité par un mur à double cloison. On procéda chaque jour à des observations météorologiques comportant des mesures du degré hygrométrique de l'air, des températures de l'air et de l'eau, du nombre d'heures d'insolation, ainsi que la détermination de la fréquence des vents dominants. Il va de soi que les hauteurs d'eau tombée étaient relevées journallement au pluviomètre.

La hauteur annuelle d'évaporation fut ainsi trouvée atteindre le chiffre considérable de 1.583 mm., d'après les indications fournies par le grand bassin.

Dans les mêmes conditions, le petit bassin renseignait 1.720 mm., soit respectivement 4,7 mm. contre 4,4 mm., d'évaporation moyenne par jour. On notera en passant

que le petit bassin fut construit afin d'être conservé par la suite, après que le coefficient de correction à appliquer aux résultats qu'il fournit eût pu être déterminé avec précision par comparaison des résultats qu'il accusait avec les indications fournies par le grand réservoir. L'étendue, la profondeur plus grande (2 m. environ) et le mode de construction de ce dernier assuraient, en effet, aux résultats qu'il permettait de mettre en évidence une précision de loin supérieure à celle des chiffres donnés par le petit bassin : non seulement, en effet, l'influence des parois n'était pas combattue dans ce dernier, dont la faible profondeur (1 m.) devait élever anormalement la température de l'eau, mais les dimensions beaucoup plus importantes du grand réservoir devaient maintenir au-dessus de sa surface un état hygrométrique de toute façon plus rapproché de la valeur moyenne du degré hygrométrique à la surface du lac que celui existant au-dessus du petit bassin.

Il est à remarquer, par ailleurs, qu'en réalité sur le lac lui-même, une partie du produit de l'évaporation est restituée au bassin versant par condensation, rosée, etc. (restitution dont il est impossible d'apprécier l'importance), et que, d'autre part, la modification entraînée par l'évaporation dans l'état hygrométrique de l'atmosphère couvrant cette grande surface doit en définitive avoir pour conséquence de ralentir l'évaporation.

Nous avons donc admis que la hauteur d'évaporation annuelle mesurée au grand bassin constitue la valeur la meilleure, et avons, dans la suite des études, tablé, en chiffre rond, sur une évaporation annuelle de 1.600 mm.

A titre de comparaison, le tableau ci-après donne les hauteurs d'eau évaporée mesurées pour diverses retenues situées en Rhodésie du Nord. Elles sont supérieures aux chiffres retenus à « Chutes Cornet ». On notera que, si la température moyenne est plus forte chez nous, le degré hygrométrique est, par contre, sensiblement moindre en

Rhodésie et que les altitudes des installations dans ces régions sont supérieures à celles de Mwadingusha.

Stations.	Évaporation annuelle en mm.	Degré hygrométrique moyen de l'air de 6 à 18 heures.	Température moyenne de l'air de 6 à 18 heures.
Livingstone . .	2229	60 %	22°9
Broken Hill . .	2067	64,75 %	21°3
M'Kushi . . .	1770	74 %	20°6
Chutes Cornet.	1583	82,66 %	25°5

La planche IV montre l'allure des évaporations diverses enregistrées et donne, de plus, indépendamment de la température, les hauteurs d'évaporation annuelle pour les quatre stations envisagées, en fonction du degré hygrométrique moyen de l'air.

A noter que, à titre comparatif, nous avons mesuré également régulièrement l'évaporation au moyen de deux évaporomètres Piche, appareils de manœuvre aisée. Ces derniers instruments ont donné des renseignements peu précis et généralement de moitié inférieurs aux mesures directes effectuées sur les bassins.

II. — RENFORCEMENT ET SURÉLÉVATION DU BARRAGE.

A. — Dispositions générales.

Pour arriver à accumuler 830 millions de m³ d'eau, l'étude complète de la topographie du terrain (voir courbes pl. III A) montra qu'il était nécessaire de porter au minimum à (209,00) la cote de retenue, contre (206,00) qu'elle était précédemment. En réalité, le barrage fut arasé à (209,25), la digue dont question ci-après étant, par mesure de sécurité, arasée à (209,60). La crête du

barrage fut, en vue de faciliter l'accès aux vannes d'évacuation, portée à la cote (209,50), depuis la rive gauche jusqu'aux vannes susdites.

Le barrage initial du type gravité était constitué par un mur en béton présentant un profil triangulaire, parement amont à fruit nul, le parement aval étant incliné sur la verticale d'un angle de tangente égale à 0,8.

Ce profil satisfaisait entièrement à la condition Maurice Lévy, pour la retenue à la cote (206,00). Ce barrage était prévu pour fonctionner comme déversoir en cas de nécessité. En admettant, en cas de déversement, que le niveau de la nappe atteignît la cote (206,50), la dite condition restait satisfaite à environ 80 %.

La surélévation de la retenue à la cote (209,00) a nécessité non seulement le relèvement du mur ancien, mais évidemment son renforcement. Le profil renforcé ne se présente plus sous la forme d'un triangle, mais sous celle d'un trapèze dont le parement amont est toujours vertical, le parement aval étant maintenant incliné sur la verticale d'un angle de tangente égale à 0,70.

En crête, le profil réalisé présente une largeur théorique de 90 cm., la largeur du mur à la base atteignant 7^m90 pour une hauteur moyenne hors sol de 10 m. La condition Maurice Lévy reste ainsi satisfaite à concurrence de 87,5 % pour une cote de retenue de (209,00).

Quant à la stabilité de l'ouvrage au renversement, elle est largement assurée, même en tenant compte de l'existence de sous-pressions éventuelles, admises réparties suivant une loi triangulaire, depuis le maximum possible en amont jusqu'à zéro en aval. Il en est de même du glissement, compte tenu des redans pratiqués en fondation et de la nature du rocher.

La liaison du massif de renforcement et de surélévation à l'ancien béton a été obtenue tout d'abord par un repiquage complet et particulièrement soigné du parement aval et de la crête de l'ouvrage ancien.

Le nouveau profil trapézoïdal calculé comme un bloc monolithe devant se comporter comme tel, nous avons prévu de nombreux tenons en béton armé qui font corps avec le nouveau massif en s'encastant dans des logements en queue d'aronde pratiqués dans la masse de l'ancien barrage. Ces tenons, au nombre de 24 par panneau de bétonnage de 24 m. de longueur, sur environ 10 m. de hauteur, ont pour but spécialement d'absorber les efforts de cisaillement dans le joint de reprise entre l'ancien et le nouveau béton.

L'étude des tensions internes du béton a été effectuée par la méthode des cercles de Mohr (voir pl. V), qui permettent une prospection complète des tensions intérieures et qui, en particulier, mettent en évidence les directions dans lesquelles le cisaillement effectif se manifeste. Par cisaillement effectif, nous entendons les valeurs positives du cisaillement simple, diminuées de l'effort absorbé par les frottements internes du béton.

La planche V montre le profil transversal du barrage ainsi que la constitution des tenons. Nous y voyons en plus, successivement, le profil triangulaire (barrage déversoir) arasé à la cote (206,00) réalisé à l'origine, un profil triangulaire provisoire, non déversant, réalisé de 1934 à 1939 par simple surélévation du profil initial sur 75 cm. de hauteur et 50 cm. de largeur, et enfin le nouveau profil trapézoïdal réalisé actuellement. Il est à remarquer que, lors de la modification actuelle, la surélévation de 75 cm. réalisée en 1934 fut enlevée entièrement au marteau-pic, afin d'obtenir une meilleure assise pour le massif définitif.

On observera qu'il eût été plus simple de réaliser la surélévation et le renforcement du barrage par une masse de béton reportée vers le parement amont du barrage, au lieu, comme réalisé, d'épauler celui-ci sur un massif de béton accroché au parement aval. La liaison entre les deux massifs ancien et nouveau se serait ainsi effectuée

automatiquement par simple mise en pression du nouveau béton sur l'ancien. Ce mode de renforcement n'a cependant pu être envisagé, car il eût nécessité la vidange complète du réservoir et l'arrêt de la Centrale pendant une période assez longue, la coulée du béton vers l'amont demandant évidemment l'extension de la fondation du parement correspondant.

B. — Injection et drainage.

Le mode de renforcement du barrage adopté rendait évidemment nécessaire d'éviter, dans toute la mesure du possible, toute sous-pression à l'intérieur de l'ouvrage et particulièrement dans les joints de reprise entre ancien et nouveau béton. Dans ce but, nous avons au préalable cherché à assurer, autant que possible, l'imperméabilisation du béton de l'ancien mur par injections de ciment sous pression. Ceci s'indiquait d'autant plus qu'en de nombreux endroits des suintements, peu importants il est vrai, apparaissaient au parement aval. Environ 400 trous d'injection furent forés, en général obliquement, partant du *parement aval* et aboutissant, soit dans le rocher d'assise, soit à proximité du parement amont. La quantité totale de ciment Portland artificiel normal injectée atteignit 55 tonnes, à la pression moyenne de 5 kg./cm². Les résultats furent excellents.

D'autre part, des dispositifs de drainage furent prévus pour recueillir et évacuer le plus rapidement possible les eaux qui, malgré toutes les précautions prises, parviendraient à s'infiltrer tant par les joints de reprise du béton neuf que, éventuellement, au travers de la masse même du béton. La constitution de ces drains est figurée planche V. Ils comprennent essentiellement un dispositif de drainage horizontal continu par tuyaux de béton semi-circulaires de 15 cm. de diamètre, reliés périodiquement à un exutoire en tuyaux de béton débouchant sur le pare-

ment aval. Ces drains recueillent directement les eaux qui parviendraient à s'infiltrer par le nouveau joint de reprise horizontal situé tout le long de l'ouvrage au niveau (205,50) environ.

Du côté du parement amont, l'accès des eaux à ce joint est empêché dans la mesure du possible par un ruban continu de cuivre avec bouchon d'asphalte et protection au mortier de ciment.

D'autre part, les joints de dilatation prévus dans l'ouvrage à intervalles réguliers (voir ci-après) ont été également protégés contre les infiltrations par des feuilles de cuivre verticales avec pli de dilatation (voir pl. V).

Un drainage vertical en tuyaux de béton a de plus été prévu systématiquement tous les 6 m.

Quant aux quelques infiltrations qui continuent à se produire directement au travers de la masse de l'ancien ouvrage malgré les injections précitées, elles sont récoltées, là où elles se présentent, par une série de petits drains en tubes d'acier implantés dans le parement aval de l'ancien barrage et collectées dans des tuyaux de béton. La disposition de ces drains est également donnée planche V.

Nous ajouterons que quelques venues d'eau, faibles d'ailleurs, ayant été constatées dans la roche de fondation, nous avons facilité leur élimination en noyant à ces endroits dans le béton, des tubes d'acier débouchant au dehors.

Signalons aussi que pour obtenir la plus grande compacité du massif de l'ouvrage, le béton fut mis en œuvre en utilisant des aiguilles pneumatiques à vibrations.

Moyennant toutes ces précautions, le *débit total de fuite* du barrage, après la première mise sous eau qui a atteint la cote (208,50), fut très réduit et n'atteignait que 650 lit./h., soit 0,18 lit./sec.

Après quelques retouches, spécialement à l'asphaltage

des joints amont, ce *débit* fut réduit sensiblement et n'atteignait plus à fin mars 1940 que 450 litres par heure, soit 0,125 litre par seconde pour un plan d'eau à la cote (209,00), lac rempli.

Le contrôle des débits de fuite fait par ailleurs l'objet d'un examen attentif et est effectué régulièrement mensuellement.

C. — Influence du retrait.

Des mesures spéciales ont été prises en vue de parer à l'influence du retrait qui affecte évidemment toute masse neuve importante de béton. Dans ce but :

1° Des joints de contraction ont été prévus dans le nouveau massif et ce dans le prolongement des joints pratiqués jadis dans l'ancien ouvrage, soit environ tous les 24 m.

Le détail de confection de ces joints est donné à la planche V. Ils sont constitués en principe par une clavette armée en béton, dont le bétonnage ne fut effectué qu'en fin de construction, quand on pouvait estimer terminé en bonne partie le retrait du massif bétonné. Comme dit ci-dessus, le joint fut protégé contre les infiltrations par des feuilles de cuivre, avec pli de dilatation.

2° La mise en œuvre du béton du mur a été imposée par blocs-panneaux de 24 m. de long environ chacun. Nous avons de plus fait exécuter le bétonnage par tranches successives de 2 m. d'épaisseur maximum, avec interruption d'au moins huit jours entre le bétonnage de deux tranches superposées, le panneau immédiatement voisin d'un autre déjà bétonné ne pouvant être exécuté qu'après quinze jours d'intervalle.

3° En vue de réduire au minimum les quantités d'eau de gâchage et d'assurer le maximum de compacité du béton, on a utilisé pour la mise en œuvre la vibration mécanique de celui-ci par aiguilles pneumatiques.

4° Des arrosages abondants des grandes masses bétonnées ont été pratiqués d'une façon continue et une protection adéquate des bétons frais contre les rayons du soleil a été réalisée, afin d'éviter leur dessiccation trop rapide.

5° Je signale que pour limiter les conséquences du retrait, le dosage en ciment avait été fixé primitivement à 225 kg./m³. Cette teneur fut cependant portée en définitive à 250 kg. pour tenir compte de l'utilisation forcée de sable relativement tendre provenant, en partie, du broyage de grès décomposé.

A noter que, malgré toutes les précautions prises, de légères fissures de retrait ont apparu dans le couronnement de l'ouvrage, à intervalles sensiblement réguliers, à mi-distance des joints de dilatation prévus. Sans doute, le ciment utilisé, cependant de même origine, présentait-il un coefficient de retrait un peu supérieur à celui employé en 1928.

D. — Composition du béton.

Les agrégats rocheux entrant dans la composition du béton ont été obtenus en majeure partie sur chantier, par concassage et broyage de grès durs locaux.

La composition granulométrique normale du béton non armé constituant les massifs de renforcement et de surélévation du barrage fut la suivante, pour 250 kg. de ciment Portland normal, par m³ de béton en place :

Sable	...	...	0 à 3 mm.	500 litres
Gravillon	...	...	20 à 40 mm.	450 litres
Gravier	...	...	40 à 60 mm.	350 litres

Total : 1.300 litres pour 1 m³ de béton vibré.

Le mélange idéal résultant des études eût cependant dû être le suivant :

Sable	...	...	0 à 10 mm.	525 litres
Gravillon	...	...	20 à 40 mm.	387 litres
Gravier	...	...	40 à 60 mm.	388 litres

Total : 1.300 litres pour 1 m³ de béton vibré.

Ce mélange désirable se montra, malheureusement, difficilement « travaillable » en particulier par suite de l'utilisation des matériaux très anguleux auxquels donnait lieu le concassage des grès très durs utilisés. Il fut donc nécessaire d'augmenter la teneur en petits éléments.

La résistance du béton à la compression dans ces conditions était d'ailleurs encore largement suffisante, dépassant 100 kg./cm^2 à 7 jours et 150 kg./cm^2 à 28 jours pour 250 kg. de ciment par m^3 . On notera que le broyage de grès durs, accusant 1.720 kg./cm^2 de résistance à l'écrasement, s'étant montré extrêmement laborieux, il fut fait usage pour les bétons non armés et non en contact direct avec l'eau (en particulier pour les massifs situés au-dessous de la crête de l'ancien barrage), de sables provenant du broyage de grès tendres.

De plus, pour faciliter l'approvisionnement du chantier en pierraille concassée, on a utilisé parfois pour ces bétons des graviers issus des roches calcaires de Kakontwe. Pour tous les bétons armés et pour la partie du mur en contact avec l'eau, il n'a été, par contre, fait usage que de sable et de pierraille provenant de grès durs.

A noter que l'utilisation de sable provenant de grès tendres et de pierrailles calcaires ne présentait aucun inconvénient au point de vue résistance, le taux de travail du béton du barrage n'atteignant au maximum que $2,5 \text{ kg./cm}^2$, et la résistance à l'écrasement de ces bétons ne s'étant guère montrée inférieure à celle des bétons à base de grès et de sable durs. Tous les bétons armés ont, par ailleurs, été dosés à 350 kg. de ciment au m^3 , avec, naturellement, limitation à 30 mm. de la grandeur des gros éléments de gravier.

E. — Exécution des travaux.

a) L'enracinement du massif nouveau a exigé la démolition préalable de l'empattement correspondant du mur ancien. L'enlèvement de cette partie s'est fait par blocs

discontinus de 6 m. de longueur maximum, de façon à maintenir en tout temps la plus grande butée possible à la poussée du mur, le niveau de la retenue étant évidemment abaissé au minimum pendant la durée des travaux.

La réduction de valeur des tensions dans le mur ancien obtenue ainsi évitait, par ailleurs, de créer, après le remplissage du réservoir, des sollicitations plus importantes pour le béton ancien que pour le béton nouveau.

b) D'autre part, il ne pouvait être question d'arrêter la Centrale pendant les travaux. Aussi avons-nous dû nous décider à passer par la création d'un canal de dérivation auxiliaire, alimentant le canal d'amenée et permettant au moment voulu de mettre à sec, par batardeau, la prise d'eau existante (voir pl. VI). A certains moments même, le niveau de la retenue dut être abaissé jusqu'à la cote (203,00), celle-ci permettant encore à la Centrale de fournir par l'intermédiaire du canal auxiliaire, durant les mois de septembre, octobre et novembre 1938, le minimum indispensable de 20.000 Kws.

Vu l'importance du débit turbiné qu'il fallait maintenir pour cette puissance, soit environ 24 m³ par seconde, et vu la faible hauteur de charge disponible ainsi dans le canal, il a fallu donner au canal de dérivation une section transversale importante (pl. VI), soit 10 m. de largeur au plafond. En égard à la nature douteuse des terrains traversés, les parois ont été revêtues en maçonnerie de moellons complète dans leur partie inférieure, le moellonage n'étant que partiel et par ailleurs de pente réduite dans la partie supérieure de la tranchée. Le plafond fut entièrement bétonné.

La longueur du canal atteint environ 185 m. Il a exigé un cube total de terrassement d'environ 20.000 m³, dont partie en grès très dur.

Si nous nous sommes décidés à revêtir les parois de cet ouvrage, c'est aussi que sa présence, augmentant con-

sidérablement la sécurité du service, il fut décidé de le conserver même après exécution des travaux (en ne perdant pas de vue qu'en hautes eaux la partie amont du canal est entièrement sous eau). Nous l'avons en conséquence muni d'un ouvrage d'obturation en béton, comportant deux vannes de fond de 4^m50 sur 2 m. de hauteur, commandées par treuils à main. Ces vannes, du type roulant, ont été dimensionnées pour permettre, en période d'exploitation, de mettre hors service la prise d'eau normale pour revision et d'alimenter le canal d'amenée sans avoir à réduire la charge de la Centrale, pour autant, bien entendu, que cette opération soit effectuée quand le plan d'eau amont est à une hauteur suffisante.

c) Pour l'exécution du bétonnage du barrage, il fut fait usage d'une importante passerelle continue (fig. 8) de plus de 300 m. de longueur, montée sur des supports en béton armé qui restèrent noyés dans le massif de béton après repiquage des surfaces en contact. Le reste de ce gros ouvrage provisoire fut réalisé par ailleurs, en bonne partie, au moyen de bois locaux.

d) Sogefor ayant la charge de la fourniture des matériaux, nous eûmes à ouvrir à flanc de coteau trois carrières dont le produit brut était amené aux concasseurs, puis aux bétonnières, par trains-locomotives à voie de 1^m06, trains Decauville, trains à tracteurs et camions automobiles.

Les travaux du génie civil ont été confiés à la Société Trabéka (ingénieur en charge, M. Bernizet) et exécutés sous le contrôle de notre directeur général local, M. Neirynek, à l'intervention particulièrement agissante de MM. les ingénieurs Mélignon et Bucher.

Pour l'étude de certaines parties de ces importants travaux, nous avons pris les conseils de M. Stucky, professeur à l'École d'Ingénieurs de l'Université de Lausanne, au concours de qui nous nous plaisons ici à rendre hommage.

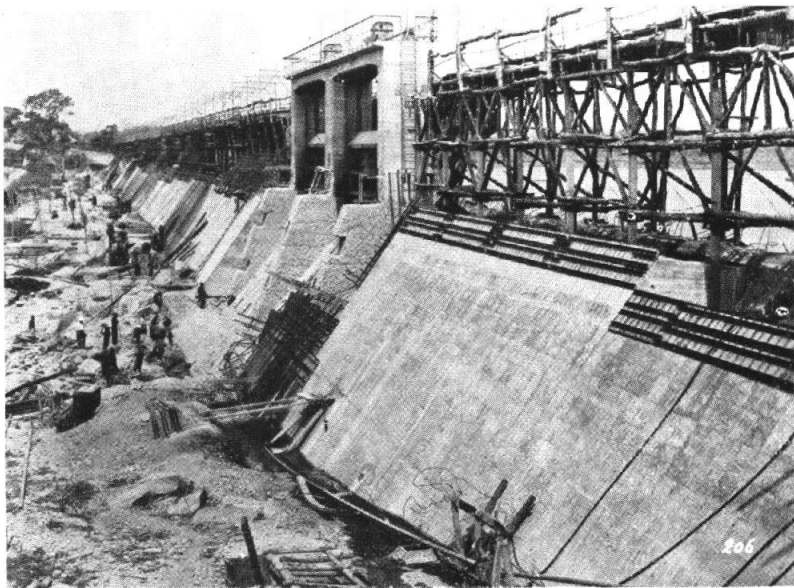


FIG. 8. — Barrage. Vue d'ensemble montrant la passerelle de service pour le bétonnage.

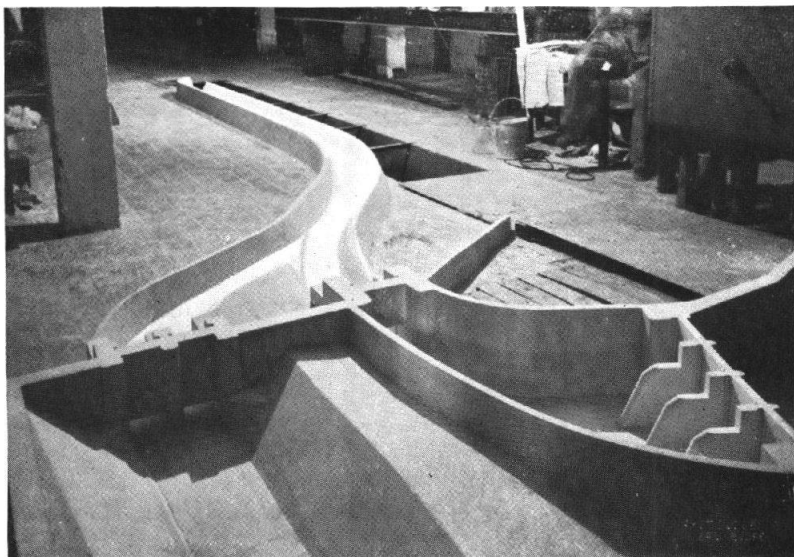


FIG. 9. -- Modèle d'essais hydrauliques.
Echelle : 1/40^e. Déversoir de sécurité du canal d'aménée.



III. — DIGUE RIVE DROITE.

La surélévation du niveau de la retenue et la situation topographique ont rendu nécessaire de prolonger le barrage sur la rive droite de la rivière, par une digue de retenue de faible hauteur, mais d'environ 550 m. de longueur.

Les essais géotechniques faits au laboratoire spécialisé de l'École d'Ingénieurs de Lausanne, ayant montré combien peu les matériaux locaux de surface convenaient pour ce travail (granulométrie et dimensions des grains mauvaises), la digue, dont la planche V donne une coupe transversale, fut constituée en ordre principal par un écran en béton légèrement armé, descendant jusqu'au rocher sous-jacent et muni de joints de dilatation avec clefs d'étanchéité. L'écran est appuyé sur un remblai pierreux incliné à 1^m75 pour 1 m. de hauteur.

Le parement amont de la partie de l'écran émergant du terrain naturel est recouvert d'un enduit imperméable à base de bitume qui parfait l'étanchéité de l'ouvrage. Cet enduit est protégé tant contre l'effet éventuel des vagues de surface que contre le soleil quand le lac est partiellement vide, par un enrochement posé, dont le parement est incliné à 1^m50 pour 1 m. de hauteur. Achevée, la digue présente en crête 1^m60 de largeur.

Pour éviter tout débordement éventuel, la digue fut arasée à la cote (209,60).

Des voies de drainage, constituées par des rigoles remplies de cailloutis, creusées dans le sol de fondation de la digue, transversalement à son axe, ont été prévues pour réaliser si besoin en était un drainage efficace de l'ouvrage.

Toutes les eaux d'infiltration éventuelles sont recueillies à l'aval dans des rigoles et les débits de fuite peuvent être contrôlés ainsi régulièrement.

IV. — MODIFICATION ET RENFORCEMENT DES OUVRAGES D'ÉVACUATION ET DE PRISE D'EAU.

Le barrage, après modification de 1934, était muni de deux vannes d'évacuation de crues, chacune de 10 m. de longueur sur 3^m50 de hauteur. Il était d'ailleurs, dès l'origine, équipé de quatre vannes de prise d'eau ayant chacune 6 m. de longueur sur 3 m. de hauteur; deux vannes de chasse de 2 m. de longueur sur 2^m50 de hauteur chacune assuraient de plus le nettoyage du seuil de prise.

Pour éviter de devoir actuellement renforcer les anciennes vannes d'évacuation disposées en crête, nous avons (pl. V) surélevé le seuil de celles-ci de manière à ne pas modifier leurs conditions de sollicitation. On a naturellement été amené à renforcer et à surélever l'ossature en béton de ces deux vannes, soit deux culées, une pile centrale et diverses passerelles de manœuvre.

Les quatre vannes de prise d'eau fonctionnent, elles, en vannes de fond. Elles ont dû (pl. VI), en conséquence, être renforcées et furent munies des dispositifs de commande et de contrôle à distance, dont il est parlé plus loin.

Les deux vannes de chasse du seuil de prise fonctionnent également comme vannes de fond; il n'a donc pu être question de les déplacer. On a donc dû les renforcer. L'ossature en béton armé de ces vannes a naturellement été également renforcée et les passerelles de manœuvre surélevées.

La liaison des bétons de renforcement et de surhaussement des piles et culées de ces diverses vannes aux piles et culées existantes a été effectuée, comme pour le barrage proprement dit, après repiquage soigné des surfaces de reprise et installations de tenons en béton armé.

Toutes ces vannes ont été très soigneusement schoopi-

nisées. Malgré le soin apporté à ce travail, le zingage tient mal. La raison exacte de ces détériorations n'a pu être déterminée jusqu'ici. Le pH de l'eau n'est cependant pas inférieur à 6,9, mais la teneur en CO_2 libre atteint 2,6 milligrammes par litre.

V. — OUVRAGES SPECIAUX.

A. — Vanne de réglage automatique du canal d'aménée.

La surélévation du niveau de la retenue au barrage qui atteint 3 m. par rapport au niveau normal du canal d'aménée à ciel ouvert ancien posait un problème délicat à résoudre.

Il était en effet nécessaire, soit de surélever d'autant les rives bétonnées du canal d'aménée, sur une longueur de 660 m., ainsi que la chambre de mise en charge, soit d'intercaler entre le bassin d'accumulation et l'origine du canal une vanne de réglage maintenant automatiquement au niveau ancien (206,00) le plan d'eau du canal, quelles que soient les variations brusques du débit turbiné et la variation lente du niveau de la retenue.

Ce dernier dispositif, plus économique que le premier, avait, d'autre part, l'avantage d'augmenter la sécurité de nos installations en cas de déficience des vannes de prise. Cette solution fut donc choisie (pl. VI). La vanne de réglage automatique installée est une vanne du type Stoney, à vantail métallique unique de 6^m50 de longueur sur 4^m75 de haut. Elle est commandée par l'intermédiaire d'un servo-moteur à pression d'huile, par un dispositif de réglage analogue au régulateur d'une turbine hydraulique à chambre ouverte. Les fluctuations du niveau d'eau dans le canal (enregistrées en un point situé à environ 200 m. de l'origine, afin d'éviter dans la mesure du possible l'effet des remous) sont transmises par dispositif pneumatique au régulateur hydraulique de la vanne qui commande les mouvements d'ouverture et de fermeture du vantail.

Le débit maximum de la vanne peut atteindre 65 m³/sec., débit correspondant au fonctionnement simultané de cinq groupes turbo-alternateurs à pleine charge. L'évacuation d'un pareil débit sous une différence de niveau qui peut atteindre 3 m. se produit à la vitesse moyenne considérable de près de 8 m./sec. Il était donc indispensable, afin de limiter les remous violents dans le canal, qui eussent d'ailleurs troublé le fonctionnement du régulateur de la vanne, de prévoir à l'aval immédiat de celle-ci un dispositif destiné à briser la force vive de l'eau.

L'étude de cet appareillage a été effectuée par nous sur modèle réduit à l'échelle de 1/40^e, aux Laboratoires d'Hydraulique de l'Université de Bruxelles, à l'obligeante intervention de M. le Professeur Bogaert, avec le concours de M. le Professeur Van Eepoel et de MM. Boulanger et Meunier, assistants.

Après essai de plusieurs dispositifs, nous nous sommes arrêtés à un seuil incliné, avec redan, disposé sous le niveau du plafond du canal, immédiatement à l'aval du seuil de la vanne (pl. VI).

Même le réservoir étant au niveau (209,00), on arrive ainsi à tranquilliser suffisamment l'écoulement de l'eau tout en évitant le décollement même partiel de la veine liquide par rapport à la vanne et les vibrations qui en seraient la conséquence.

D'autre part, ce dispositif ne crée guère d'obstacle à l'écoulement de l'eau lorsque, la réserve du lac ayant été consommée, le niveau de la retenue descend à une cote égale ou inférieure à la retenue normale (206,00); la vanne de réglage est d'ailleurs à ce moment hors service.

Étant donné par ailleurs le danger d'érosion que pouvait présenter pour les bajoyers la vitesse considérable de l'eau, nous avons envisagé de revêtir de plaques métalliques les parois de ceux-ci au droit du seuil de cette vanne.

Des difficultés de réalisation nous empêchèrent de donner suite à ce projet et il fut envisagé de réaliser les murs latéraux en moellonnage particulièrement soigné, de lourds blocs équarris, en grès local très dur. Nous dûmes également renoncer à ce dispositif, étant donnée l'impossibilité de nous procurer sur place un nombre suffisant de spécialistes aptes à la taille convenable de ce grès résistant.

Nous avons ainsi dû nous contenter de réaliser la maçonnerie des murs dont question, en béton dosé à 500 kg. de ciment Portland à haute résistance, renforcé sur la hauteur des parements mouillés par un treillis métallique entièrement noyé dans la masse.

En ce qui concerne la réalisation du redan, qui à lui seul doit absorber une bonne partie de la force vive de l'eau, il fut constitué en volumineux blocs de grès, ancrés très fortement à chacune de leurs extrémités par de lourdes attaches en fer, noyées dans la maçonnerie.

Jusqu'à présent, ce dispositif donne toute satisfaction.

B. — Dispositifs de sécurité.

a) Eu égard à l'énorme quantité d'eau accumulée (830 millions de m³), et considérant que la cote de retenue dans le réservoir peut atteindre un niveau supérieur de 3 m. à celui du canal d'amenée, donc de la chambre de mise en charge, nous avons jugé prudent de prendre une série de mesures spéciales pour éviter les conséquences graves d'une irruption anormale de l'eau dans le canal d'amenée. Nous avons même envisagé le cas peu probable, mais cependant possible (séisme, malveillance, mauvais fonctionnement), de l'ouverture intempestive des vannes de prise d'eau et des vannes du canal de dérivation conjuguée avec la non-fermeture de la vanne automatique.

Pour parer à cette éventualité, nous avons installé sur la rive droite du canal deux déversoirs de sécurité (pl. I),

dont un premier de 40 m. de longueur, disposé immédiatement à l'aval de la vanne de réglage, et un deuxième de 173 m. de longueur, débutant 100 m. en aval du premier. Tous deux sont arasés à la cote (206,05).

Complétés par le déversoir déjà existant à hauteur de la chambre de mise en charge et long de 47 m., ils permettent à eux trois d'évacuer 300 m³/sec., la retenue étant au niveau maximum de (209,00), et ce sans provoquer, pratiquement, de débordement par la chambre de mise en charge qui surplombe l'usine.

Ce débit fait remonter à la cote (207,00) environ le niveau dans le canal d'aménée. Il correspond à celui qui se présenterait, toutes les vannes indistinctement se trouvant ouvertes, le lac d'accumulation étant à son niveau maximum (209,00).

La disposition et les dimensions des deux nouveaux déversoirs ont été déterminées par essai sur modèle réduit à l'échelle de 1/40^e (fig. 9), effectués aux Laboratoires d'Hydraulique de l'Université de Bruxelles, en complément à ceux dont question ci-dessus.

b) D'autre part, la fermeture rapide complète des quatre vannes de prise d'eau et de la vanne de réglage a été rendue automatique dès que le niveau d'eau dans le canal s'élève à une cote anormale. Celle-ci a été fixée à une valeur voisine de (206,75) choisie pour les raisons suivantes :

En cas de baisse de charge brusque importante de la Centrale, par déclenchement total ou partiel de machines, par exemple, une onde hydraulique en retour se propagera dans le canal, au départ de la chambre de mise en charge et vers l'origine de celui-ci.

La crête d'onde peut atteindre au début, malgré les déversoirs, une cote dépassant (206,50). Il ne faudrait pas que, en pareilles circonstances, la fermeture complète automatique des vannes vint à se produire, arrê-

tant définitivement la Centrale jusqu'au moment où la réouverture des vannes de prise ait été assurée. Par ailleurs, si les déversoirs de sécurité prévus sont, de par leur nature, d'un fonctionnement certain, il est évident qu'il y a lieu de s'efforcer en toutes circonstances de limiter autant que possible la perte d'eau qu'occasionne leur fonctionnement prolongé; on s'est donc arrêté à la cote (206,75) comme limite déclenchant la fermeture brusque, complète, automatique des vannes de prise d'eau et de la vanne automatique.

La fermeture automatique de ces diverses vannes est obtenue à l'aide de dispositifs électriques commandés par flotteur pour les quatre vannes de prise et par électrode plongeante pour la vanne automatique.

A noter que les vannes de prise peuvent, en cas de nécessité, fermer en 50 secondes sous l'action de leur poids avec freinage à force centrifuge. Quant à la vanne de réglage, commandée par servo-moteur à pression d'huile, sa fermeture rapide s'obtient aisément par l'ouverture d'une soupape de décharge maintenue fermée en temps ordinaire par un électro-aimant; cette vanne est, en effet, normalement maintenue ouverte par la pression d'huile et a toujours tendance à fermer par le poids propre de son vantail, qui n'est qu'imparfaitement équilibré.

c) Les degrés d'ouverture des diverses vannes ainsi que la valeur du niveau d'eau dans le canal sont constamment renseignés à la Centrale au tableau des appareils de contrôle hydraulique (fig. 10). Il est d'ailleurs possible à tout moment de provoquer directement du tableau de la Centrale, la fermeture rapide des cinq vannes dont question, au moyen de boutons-poussoirs.

d) Afin de disposer dans le canal auxiliaire d'une obturation double correspondant comme sécurité à celle existant dans le canal principal, le vannage d'obturation

(pl. VI), constamment fermé et cadénassé, est doublé par des batardeaux métalliques galvanisés, immergés à demeure.

e) En vue de prévoir le cas de rupture des conduites forcées, des vannes-papillons automatiques de 2.500 mm. de diamètre ont été installées comme précédemment à l'aval immédiat de la chambre de mise en charge, en tête de chacune des trois conduites.

A la suite de la catastrophe du lac Noir, les appareils de l'espèce installés précédemment sur les deux conduites anciennes ont été remplacés par un dispositif identique à celui installé sur la conduite nouvelle, conçu pour résister aux efforts maxima qui pourraient se produire en cas d'éclatement de la conduite qu'ils protègent et d'écoulement à gueule bée de celle-ci.

Ces mécanisme (pl. VII), commandés par détecteurs hydrauliques, à palettes, réglables de la Centrale, opèrent le déclenchement des vannes aussitôt que le débit de la conduite dépasse d'environ 15 % le débit normal à turbiner.

Ce dernier étant fonction, d'une part, de la charge, d'autre part, du nombre de conduites en service, le réglage à gradins multiples du déclenchement fut chose très difficile à mettre au point.

Les vannes dont question sont maintenues dans leur position de pleine ouverture par pression d'huile agissant dans des servo-moteurs à double piston. Une palette immergée dans chaque conduite, immédiatement à l'aval du papillon automatique, entraîne un disque sur lequel sont montés, en une série de positions radiales, six interrupteurs à mercure. Chaque valeur du débit d'une conduite, donc de la vitesse de l'eau dans celle-ci, répond à une position bien déterminée de la palette correspondante et par conséquent du disque, donc du niveau de mercure dans les interrupteurs.

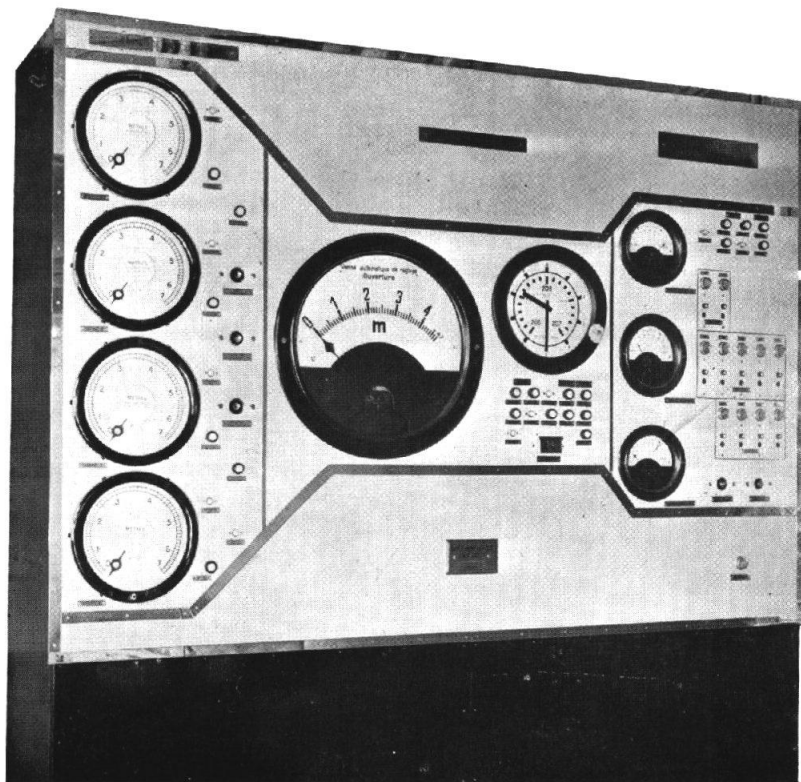


FIG. 10. — Tableau des commandes à distance et signalisations des vannes hydrauliques. Vue avant.



FIG. 11. — Conduites forcées.
Tronçons à faible inclinaison. Vue prise d'aval vers l'amont.



On maintient sous courant le contacteur répondant au régime de marche de la conduite.

Le débit augmentant anormalement, la palette s'écarte de la position qu'elle devrait occuper, le disque la suit, le contacteur à mercure se ferme, entraînant par électro une chute de pression d'huile dans le servo-moteur qui maintient la vanne ouverte.

La sensibilité du mouvement des palettes est assurée par montage sur roulements à billes, les oscillations inévitables étant combattues par amortisseur à huile.

On notera que la fermeture des vannes automatiques protégeant les conduites peut également être commandée de la Centrale par boutons-poussoirs et que, d'autre part, la position des trois papillons — donc la valeur du débit normal de chaque conduite — est renseignée constamment à la Centrale au tableau de contrôle de l'appareillage hydraulique.

On remarquera que le but de ces vannes n'est pas d'obtenir une étanchéité parfaite après fermeture complète. Comme, cependant, en cas de révision des conduites et malgré l'existence de vannes à vantail en tête de chacune de celles-ci, il est désirable de pouvoir rendre les vannes automatiques complètement étanches, elles sont prévues pour recevoir des sas à scories, dispositif qui a permis d'obtenir une excellente étanchéité.

VI. — TROISIEME CONDUITE FORCEE. GROUPES TURBO-ALTERNATEURS IV ET V.

La Centrale initiale, forte de trois groupes de 15.000 HP chacun, a été renforcée de deux unités analogues, mais un peu plus puissantes, soit 17,000 HP chacune, à l'arbre de la turbine.

L'alimentation en eau de l'usine ainsi renforcée, avec la réserve nécessaire, a nécessité le montage de la troisième conduite forcée mise en service le 24 octobre 1939.

Elle présente les mêmes dimensions générales que les deux conduites forcées précédentes, soit : longueur totale environ 315 m.; diamètre intérieur décroissant de 2^m50 en tête à 2^m20 au pied; épaisseur des tôles : croissant de 10 mm. en tête à 21 mm. au pied.

Elle diffère cependant des deux premières par certains détails, en particulier par le mode d'assemblage des divers tronçons de 10 m. de longueur dont elles sont toutes constituées. Formés chacun, comme précédemment, de tôles soudées électriquement, les tronçons successifs de la nouvelle canalisation ont été assemblés par rivetage, au lieu de la soudure utilisée dans les deux premières canalisations.

De plus, la troisième conduite a été directement renforcée pour parer aux inconvénients dont nous allons parler : nous avons en service observé sur les tronçons à faible pente des conduites 1 et 2, des mouvements vibratoires de quelques centièmes de millimètre d'amplitude et de fréquence élevée. En même temps on observait des déformations vibratoires plus lentes, caractérisées par des accroissements des diamètres horizontaux et des diminutions des diamètres verticaux, de l'ordre de quelques dixièmes de millimètre, et ce même à charge pratiquement constante des turbines. Ces déformations lentes pouvaient atteindre 2 à 3 mm. à l'occasion de variations brusques de la charge des machines.

L'importance de ces mouvements fut étudiée à l'amplificateur; nous essayâmes aussi de mesurer la fatigue supplémentaire du métal à l'aide d'extensomètres Huggenberger; mais ici la fréquence trop grande ne nous permit pas d'arriver à un résultat.

Bien que ces mouvements ne nous parussent nullement inquiétants, nous avons désiré y parer et les avons combattus efficacement par des anneaux d'acier de 30 mm. d'épaisseur et de 160 mm. de hauteur, à ajouter pour les deux conduites anciennes de part et d'autre de chaque

massif-support, dont l'entr'axe atteint 10 m. Ces anneaux sont serrés à froid et de champ sur les conduites, puis soudés bout à bout. Pour la troisième conduite, ce raidissement a été exécuté en usine lors de la construction et ne comporte qu'un fer U de $300 \times 90 \times 10$ mm. au droit de chaque appui.

De plus, afin de porter à environ 3 le coefficient de sécurité à l'écrasement des conduites sous l'effet d'un vide accidentel, un anneau spécial de 20 mm. d'épaisseur et de 120 mm. de haut fut soudé de champ au milieu de chaque portée entre deux massifs-supports consécutifs, cet anneau ayant été placé également lors de sa construction pour la conduite n° 3.

Le Dr Huggenberger fut spécialement consulté par nous au sujet de ces dispositifs. La figure 11 montre les trois conduites, la deuxième non encore renforcée, la première ne l'étant encore que contre les vibrations.

VII. — PUISSANCE DE LA CENTRALE.

La puissance totale de la Centrale est donc actuellement de $3 \times 15.000 + 2 \times 17.000 = 79.000$ HP aux arbres des turbines (Ateliers des Charmilles à Genève), soit pour $\cos \varphi = 1$, 56.000 W, aux bornes des alternateurs (A.C.É.C. Charleroi, rendement 0,96), répondant à environ 53.000 kW aux centres de consommation (rendement de la ligne de transport 0,93) ⁽²⁾. Ces machines sont d'ailleurs prévues pour fonctionnement aisé continu à charge pleine.

Compte tenu de ce qu'un groupe générateur doit évidemment être tenu en réserve, les unités installées présentent ainsi une puissance suffisante pour utiliser

(2) On remarquera que la ligne H. T., alimentant à Jadotville d'importants moteurs synchrones, il est possible, en réglant convenablement l'excitation de ceux-ci, d'arriver à maintenir pour le courant de transport un $\cos \varphi$ voisin de l'unité.

complètement toute la quantité d'eau moyennement disponible. En marche industrielle, l'installation actuelle de « Chutes Cornet » peut donc livrer régulièrement et aisément aux centres d'utilisation : $62.000 \times 0,736 \times 0,96$
 $0,93 \times 8.000$, soit environ 325 millions de kWh par an.

*
**

Les travaux décrits ci-dessus ont pratiquement terminé l'aménagement économique hydro-électrique des chutes de la Lufira, au lieu dit « Chutes Cornet ». Ils ont comporté en complément des ouvrages anciens, l'exécution de 37.500 m³ d'excavations, la mise en œuvre de 19.500 m³ de béton en partie armé, qui ont absorbé pour leur confection 5.500 tonnes de ciment Portland artificiel fourni par les Cimenteries du Katanga, et 56 tonnes d'acier à béton.

Commencés en mars 1938, ils ont été pratiquement achevés dans le second semestre de 1939, dans un délai donc bien court pour un travail de pareille importance en pareille région et dont le coût dépasse 50 millions de francs.

Je me fais ici un devoir et un plaisir de signaler le concours particulièrement compétent et dévoué que j'ai trouvé, pour l'étude des dispositifs à réaliser, chez deux ingénieurs chefs de service de la Société de Traction et d'Electricité : M. Pahud, pour la partie spécialement importante du génie civil et de l'hydraulique, M. Strauven, dans le domaine de l'électricité.

*
**

Pour finir, je signalerai que les accroissements des besoins d'énergie nécessiteront peut-être dans un avenir proche l'aménagement des rapides, dits « Chutes de Koni », situés à environ 10 km. en aval des « Chutes Cornet ».

Ce deuxième étage présentant une dénivellation de l'ordre de 55 m., permettra de disposer d'une puissance supplémentaire d'environ 30.000 HP. La rivière étant dès à présent pratiquement régularisée dans cette région par les travaux décrits ci-dessus, cet étage nouveau pourra livrer aisément plus de 150 millions de kWh/an.

Les études de cet aménagement complémentaire sont en cours actuellement.



SOCIÉTÉ GÉNÉRALE
DES
FORCES HYDRO-ÉLECTRIQUES DU KATANGA
SOGEFOR.

CENTRALE DE CHUTES CORNET
RIVIÈRE LA LUFIRA

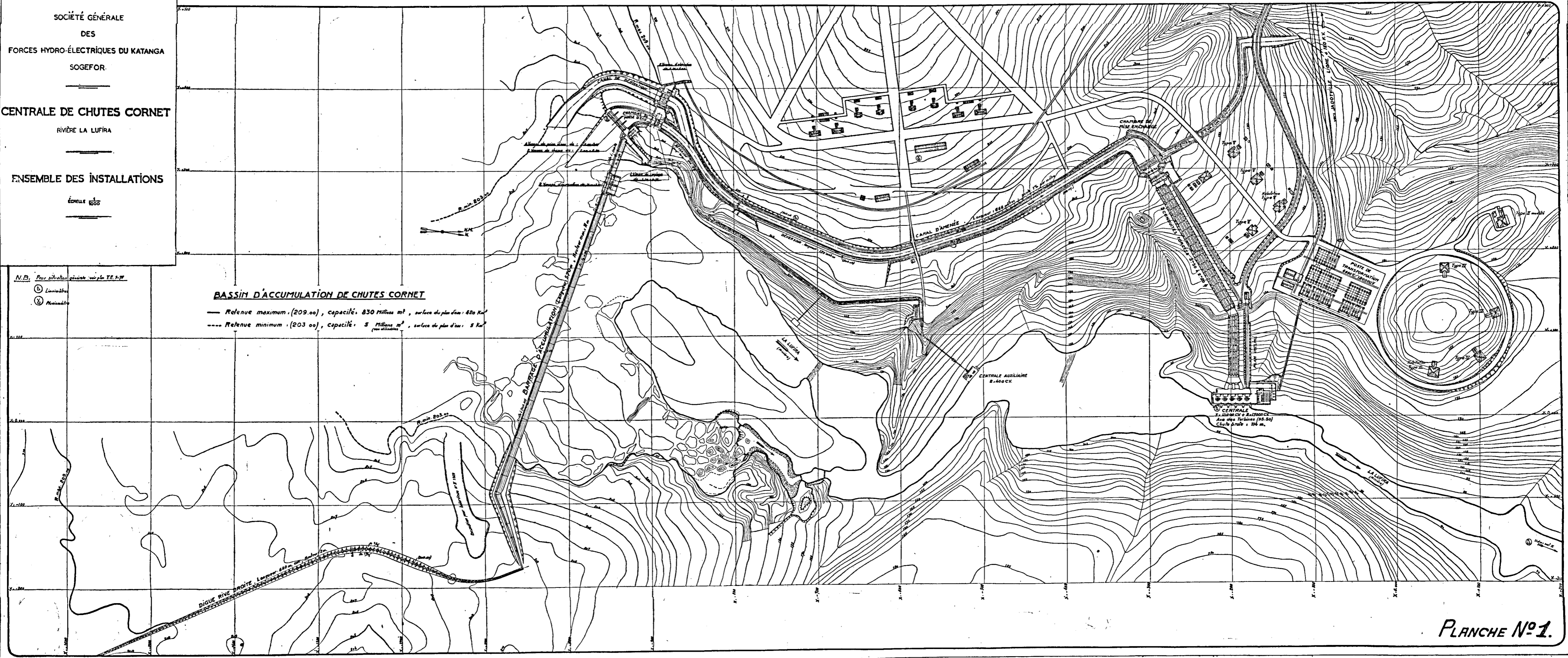
ENSEMBLE DES INSTALLATIONS

ÉCHELLE 1/600

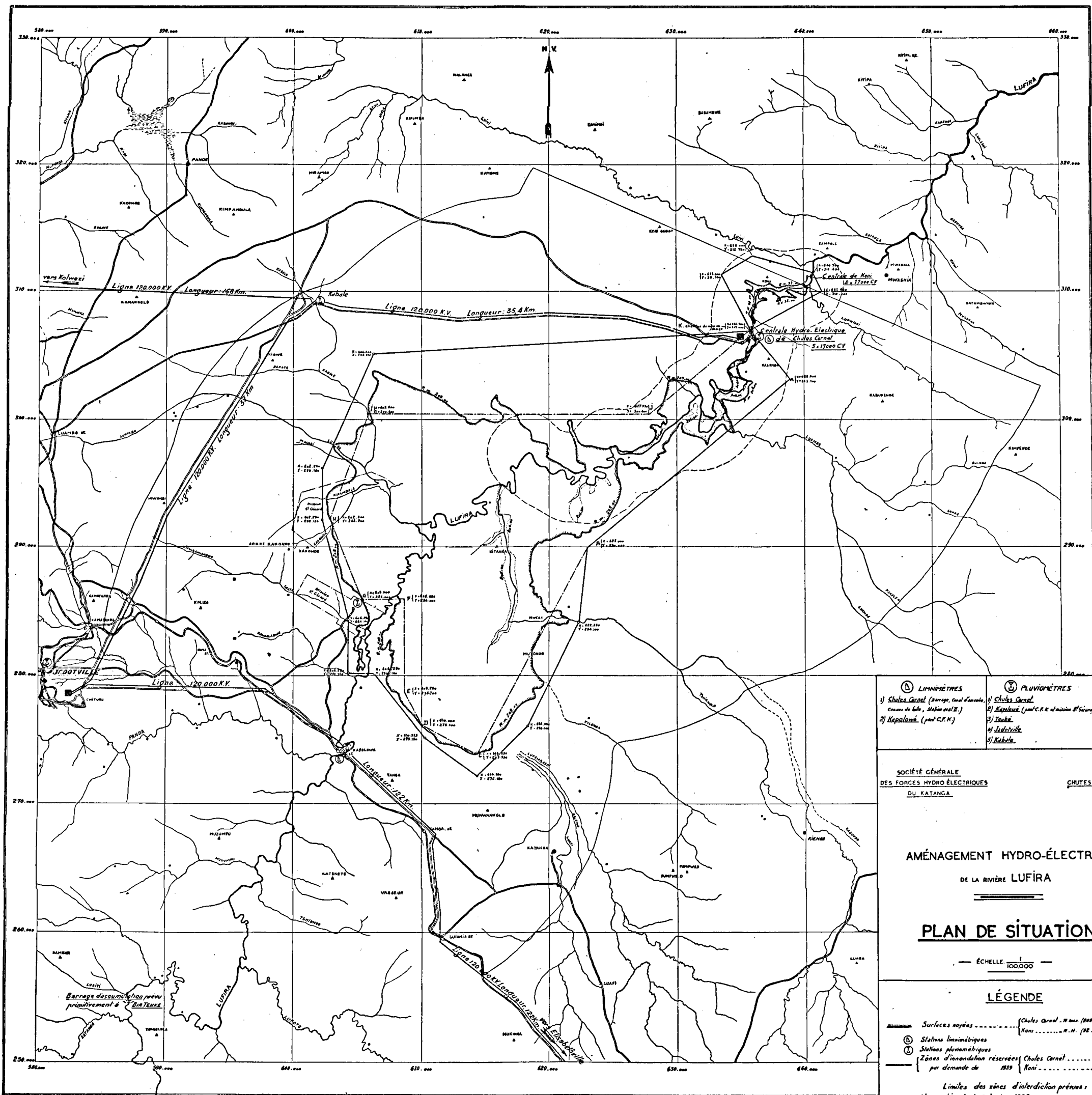
N.B. Pour situation générale, voir plan T.E. 1-27

- ① Lignes à haute tension
- ② Lignes à basse tension

BASSIN D'ACCUMULATION DE CHUTES CORNET
 — Releve maximum (209.00), capacité: 830 Millions m³, surface du plan d'eau: 420 Km²
 --- Releve minimum (203.00), capacité: 5 Millions m³, surface du plan d'eau: 5 Km²
 (sur utilisation)







<p>① LIMNIMÈTRES</p> <p>1) Chutes Carnal (barrage, canal d'amenée, canal de fuite, siphon aval)</p> <p>2) Kapalawa (pour C.F.N.)</p>	<p>② PLUVIOMÈTRES</p> <p>1) Chutes Carnal</p> <p>2) Kapalawa (pour C.F.N. d'admission d'écoulement)</p> <p>3) Jadoville</p> <p>4) Jadoville</p> <p>5) Kabale</p>
--	--

SOCIÉTÉ GÉNÉRALE
DES FORCES HYDRO ÉLECTRIQUES
DU KATANGA

CHUTES DE LA LUFIRA

AMÉNAGEMENT HYDRO-ÉLECTRIQUE
DE LA RIVIÈRE LUFIRA

PLAN DE SITUATION

ÉCHELLE 1/100,000

LÉGENDE

- Surfaces noyées (Chutes Carnal - R.N. (200.00) - sur 420 ha)
 - Stations limnimétriques (Rani - R.N. (100.00) - sur 4,8 ha)
 - Stations pluviométriques
 - Zones d'inondation réservées (Chutes Carnal - sur 709 ha)
 - par demande de 1939 (Rani - sur 26,3 ha)
- Limites des zones d'interdiction prévues :
- a) par décret du 2 Janvier 1922
 - b) par décret du 26 Avril 1922
 - c) par décret du 6 Février 1924 - Surface: 448,50 ha





CENTRALE DE CHUTES CORNET — LAC D'ACCUMULATION

— DIAGRAMME DES SURFACES ET DES VOLUMES EN FONCTION DU NIVEAU DE LA RETENUE —

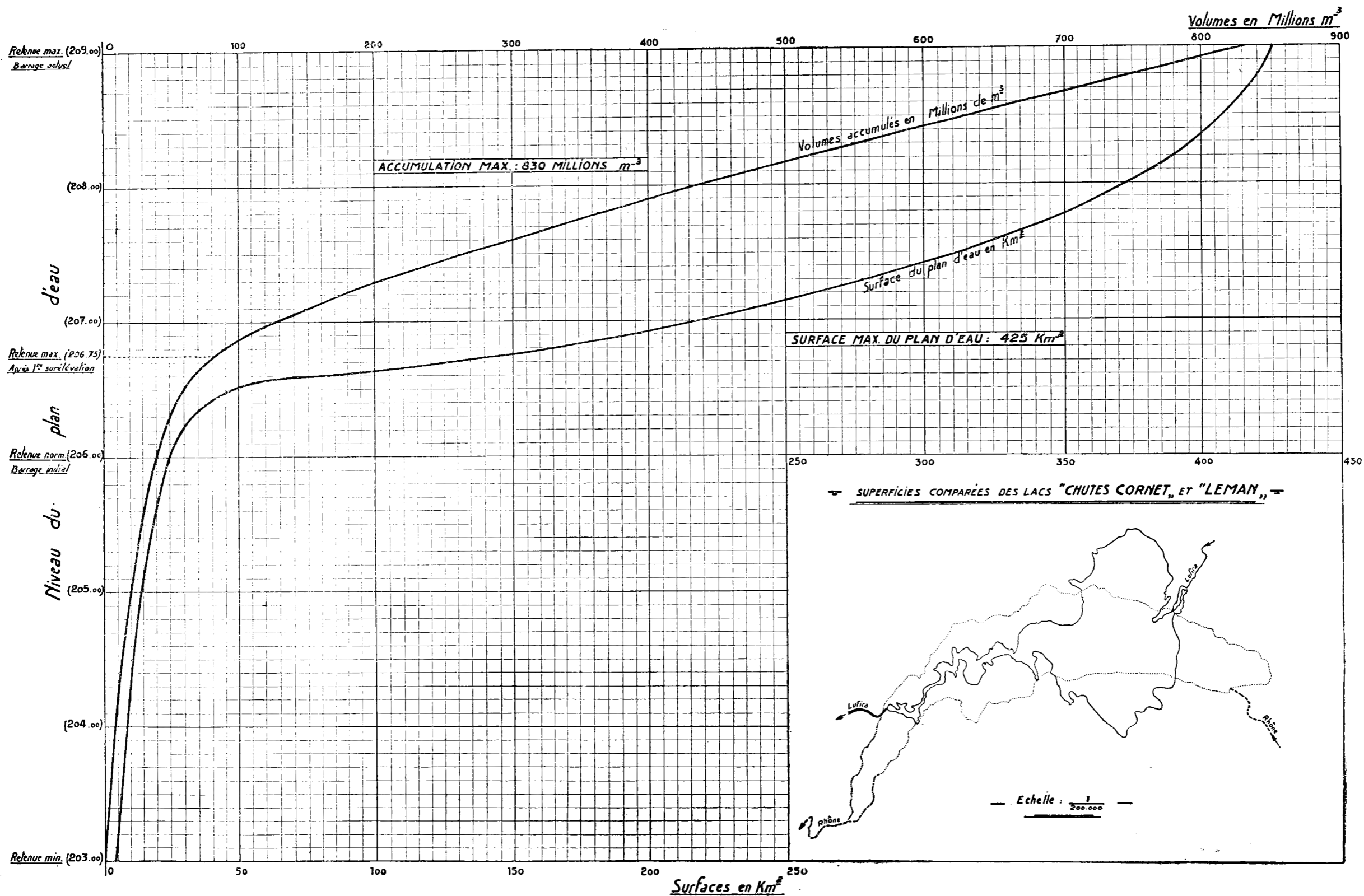


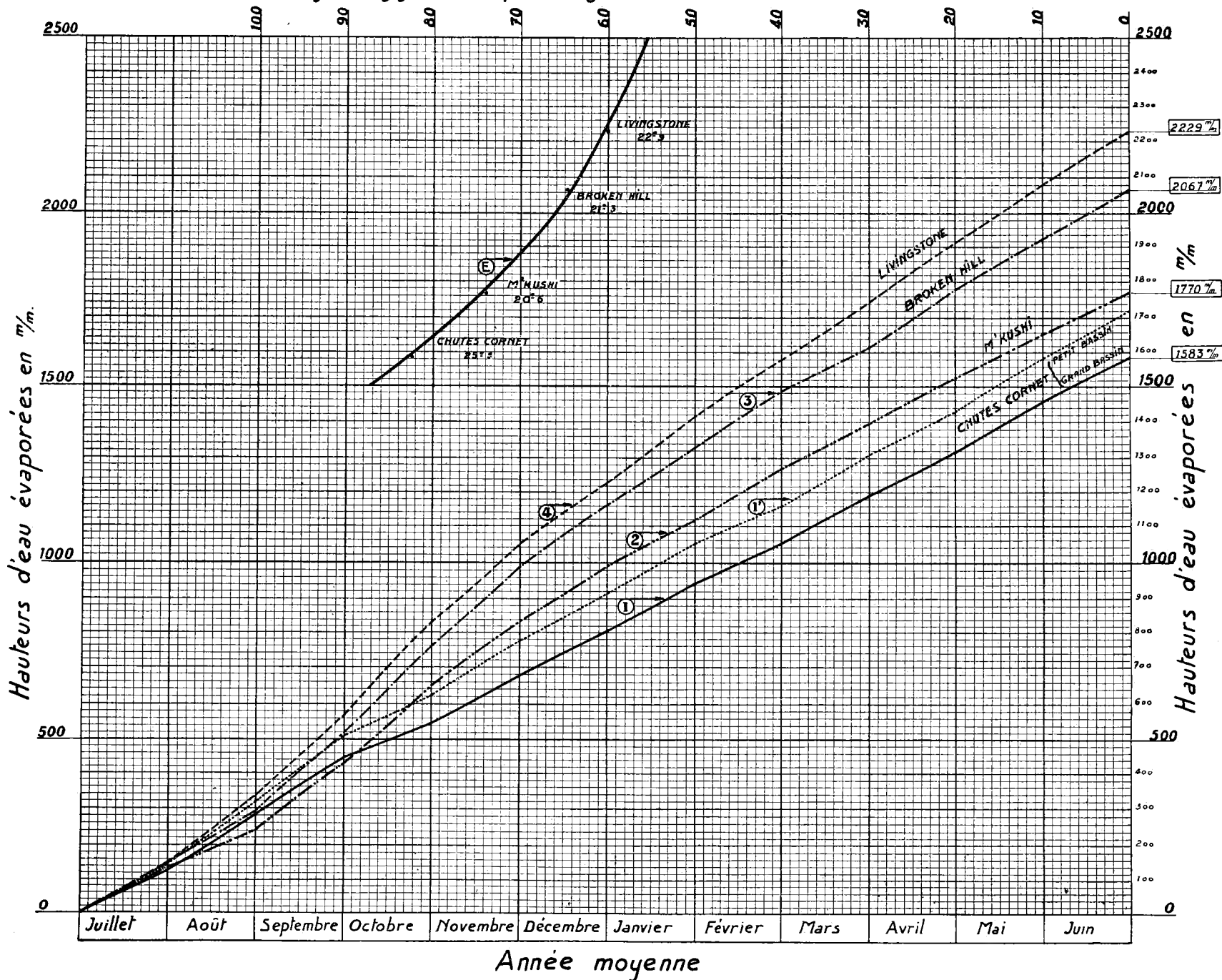
PLANCHE N° 3^A



CENTRALE DE CHUTES CORNET—LAC D'ACCUMULATION

DIAGRAMME COMPARATIF DE HAUTEURS D'ÉVAPORATION

Degré hygrométrique moyen de l'air, de 6 à 18 heures



— LEGENDE —

		Degré hygrométrique moyen de l'air de 6 à 18 heures	Température moyenne de l'air de 6 à 18 heures	Années d'observation
①	Evaporation mesurée à CHUTES CORNET (Kalanga) — Grand bassin	82,66 %	25° 5	1937 à 1938
②	— " — " — " — Petit bassin			
③	— " — " — " — M'KUSHI (Rhodésie)	74 %	20° 6	1926 à 1930
④	— " — " — " — BROKEN HILL (— " —)	64,75 %	21° 3	" — "
⑤	— " — " — " — LIVINGSTONE (— " —)	60 %	22° 9	" — "
⑥	Courbe d'évaporation en fonction du degré hygrométrique moyen de l'air et pour une température moyenne de l'air de 20 à 25 degrés, de 6 à 18 heures			

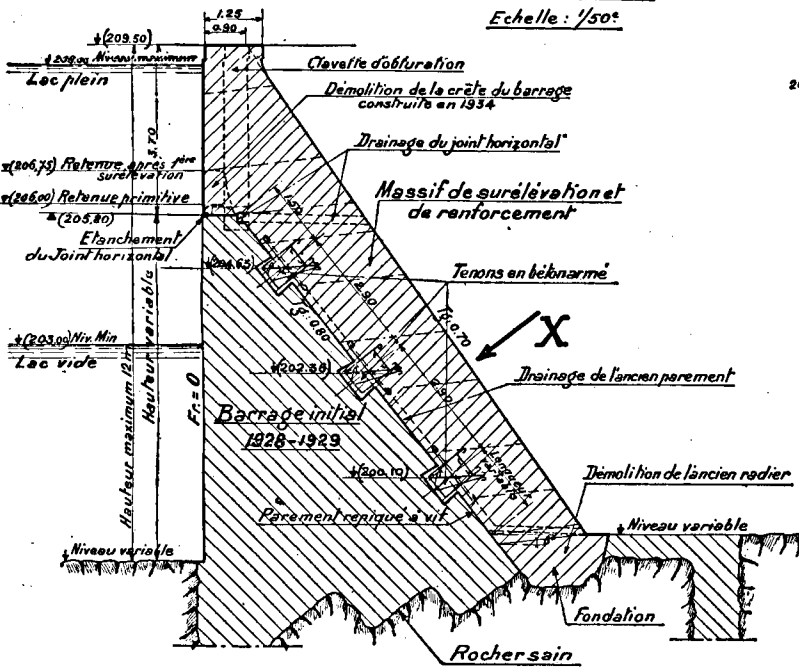
PLANCHEN°4



DÉTAIL D'UN PANNEAU TYPE DE 24 MÈTRES

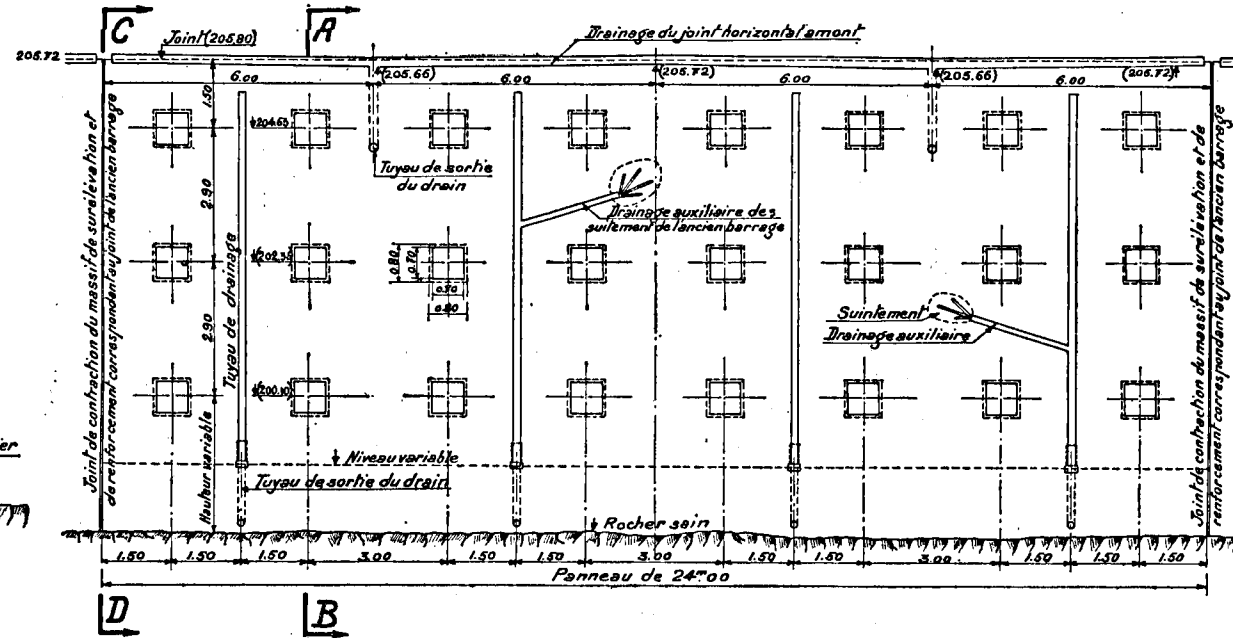
COUPE TRANSVERSALE SUIVANT A-B.

Echelle: 1/50^e



PROJECTION SUIVANT X

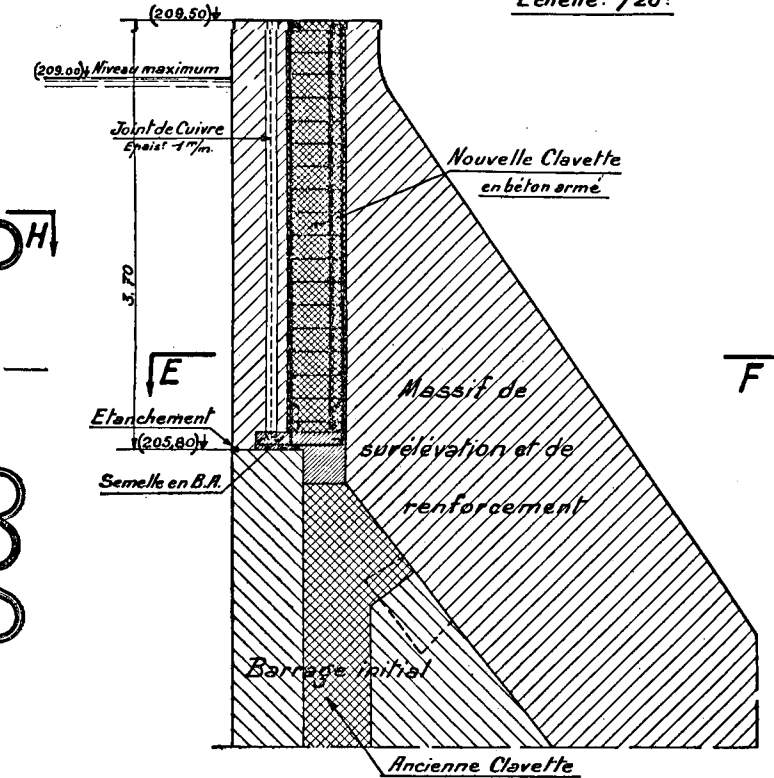
Echelle: 1/50^e



DÉTAIL D'UN JOINT DE CONTRACTION

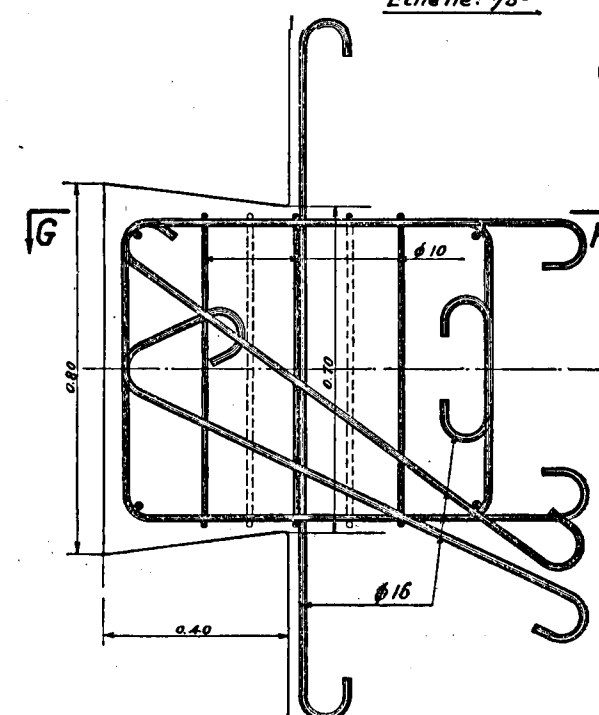
COUPE SUIVANT C-D.

Echelle: 1/20^e



ARMATURE DES TENONS.

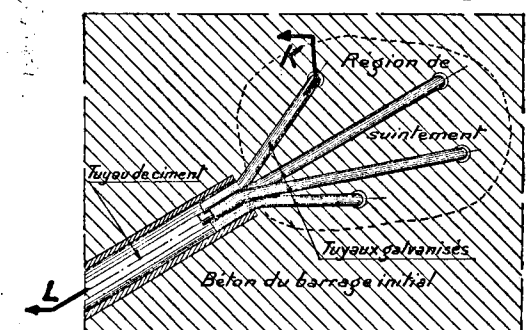
Echelle: 1/5^e



DÉTAIL D'UN DRAINAGE AUXILIAIRE

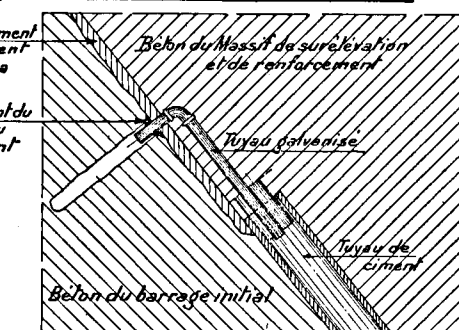
VUE EN ÉLEVATION

Echelle: 1/5



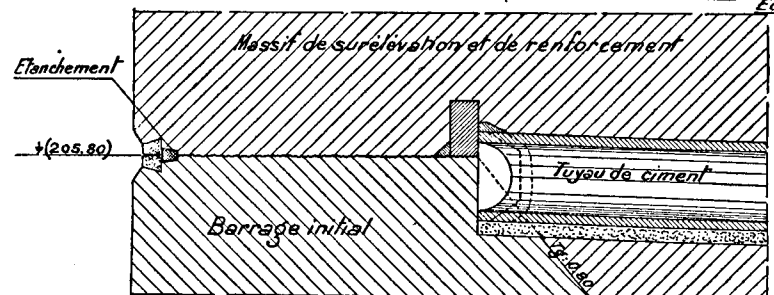
COUPE SUIVANT K-L.

Echelle: 1/5

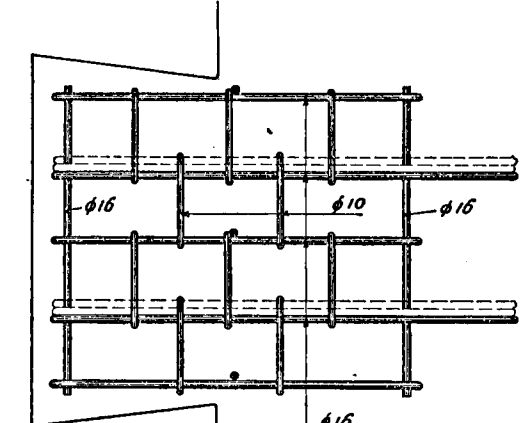


DRAINAGE DU JOINT HORIZONTAL

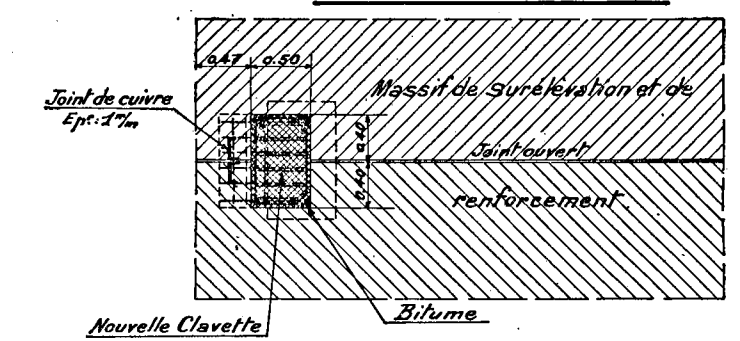
Echelle: 1/5^e



COUPE SUIVANT G-H.

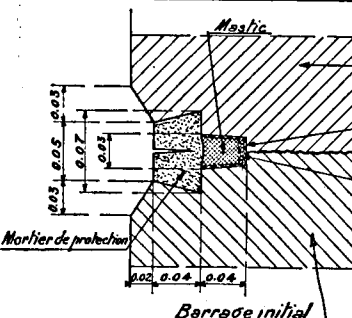


COUPE SUIVANT E-F.



ÉTANCHEMENT DU JOINT HORIZONTAL

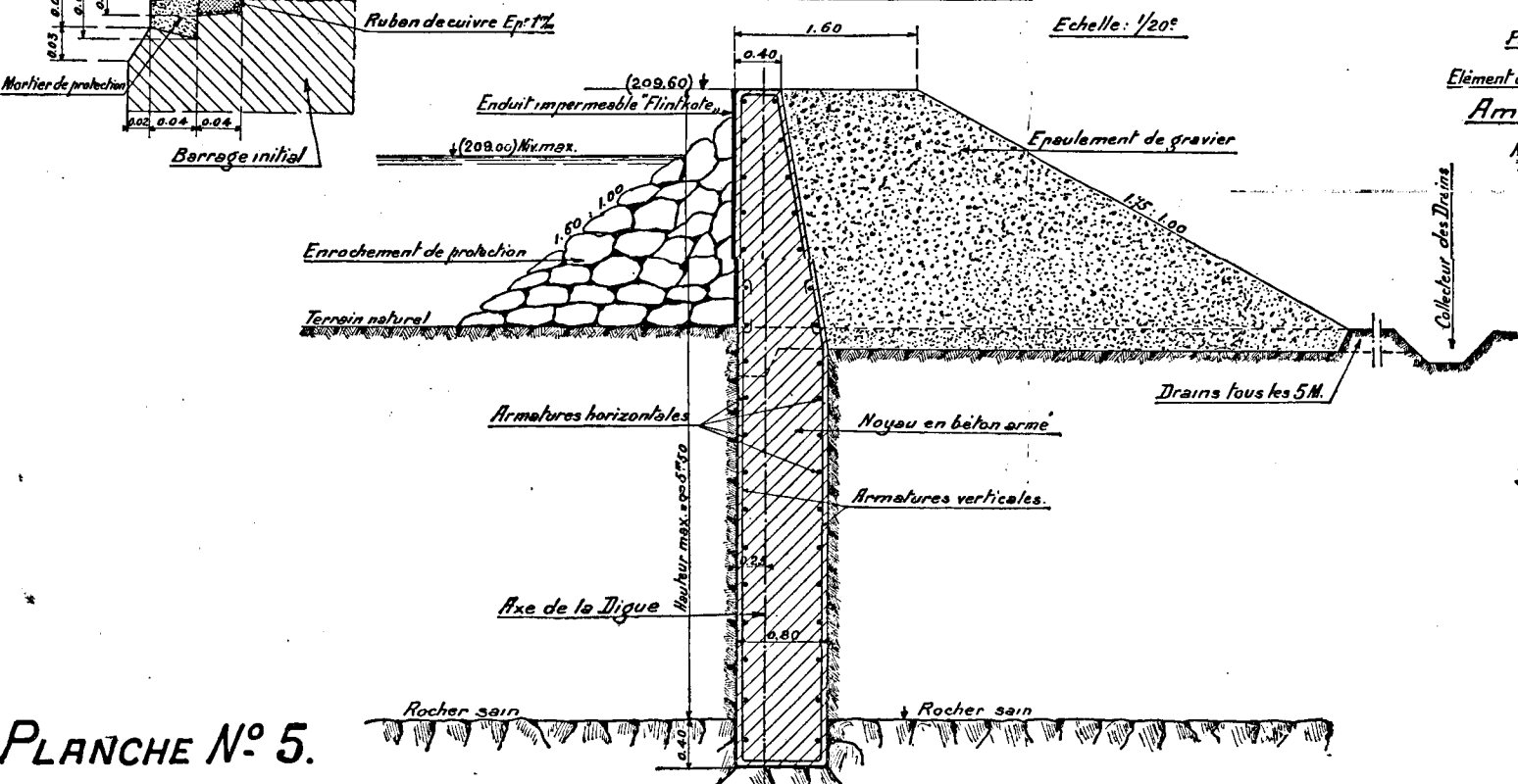
Echelle: 1/2



DIGUE DE RETENUE RIVE DROITE.

COUPE TRANSVERSALE TYPE.

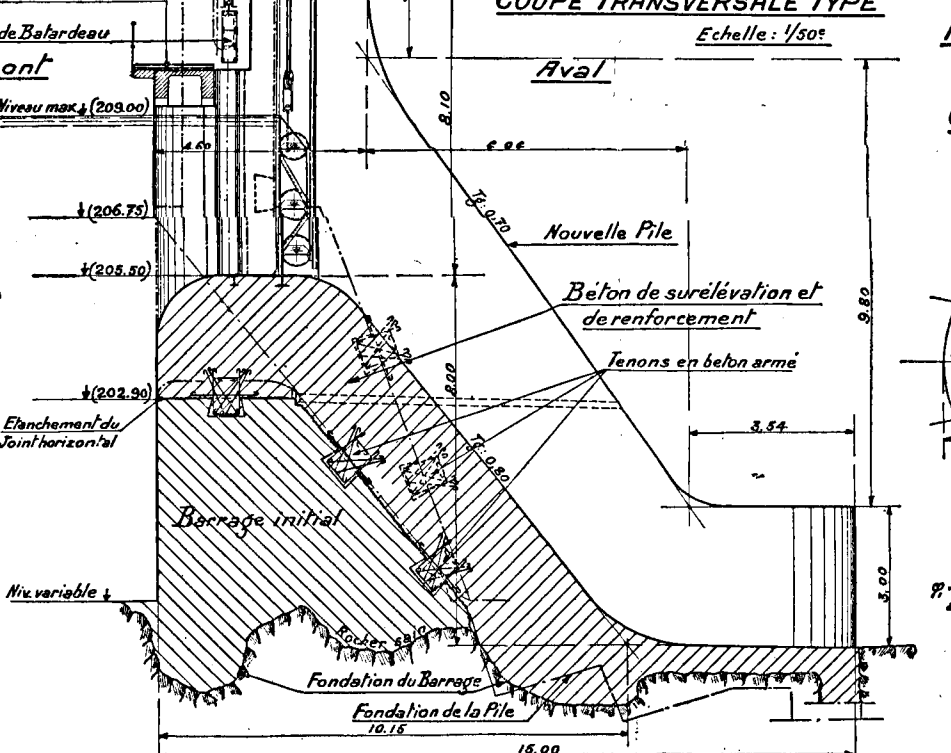
Echelle: 1/20^e



VANNES D'ÉVACUATION DU BARRAGE

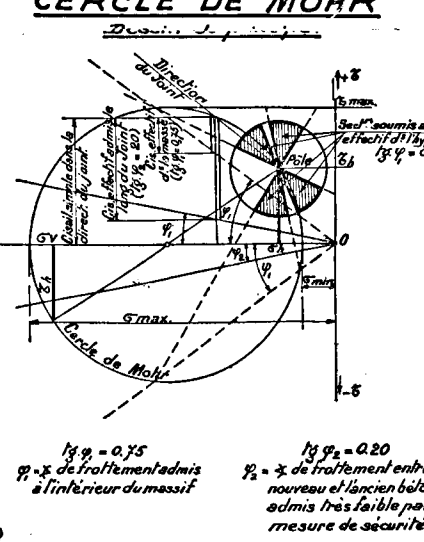
COUPE TRANSVERSALE TYPE

Echelle: 1/50^e



RECHERCHE DES TENSIONS INTERNES DU BETON

CERCLE DE MOHR



5^{es} G^{es} DES FORCES Hydro-Electriques du KATANGA CHUTES DE LA LUFIRA

CENTRALE DE CHUTES CORNET

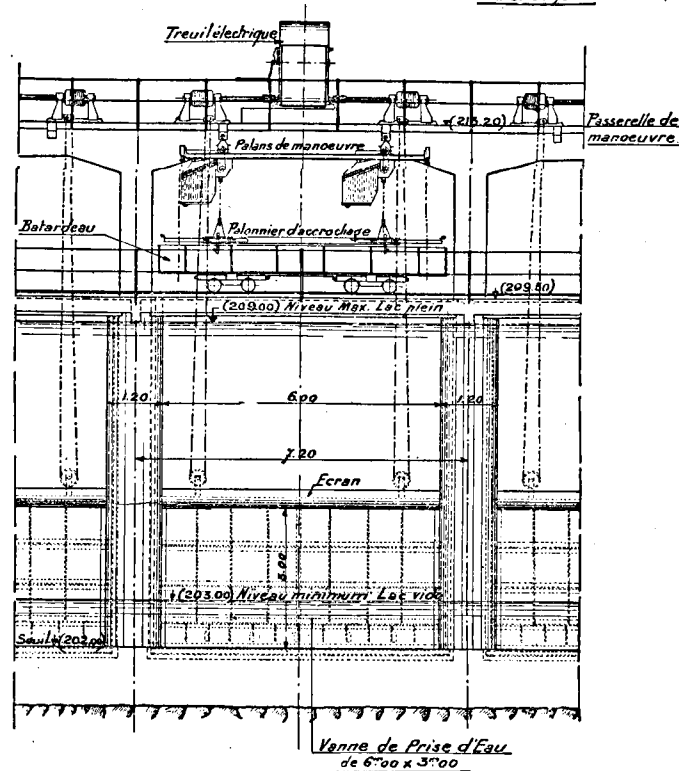
SURÉLEVATION DE LA RETENUE DU BARRAGE JUSQU'AU NIVEAU (209.00)

BARRAGE

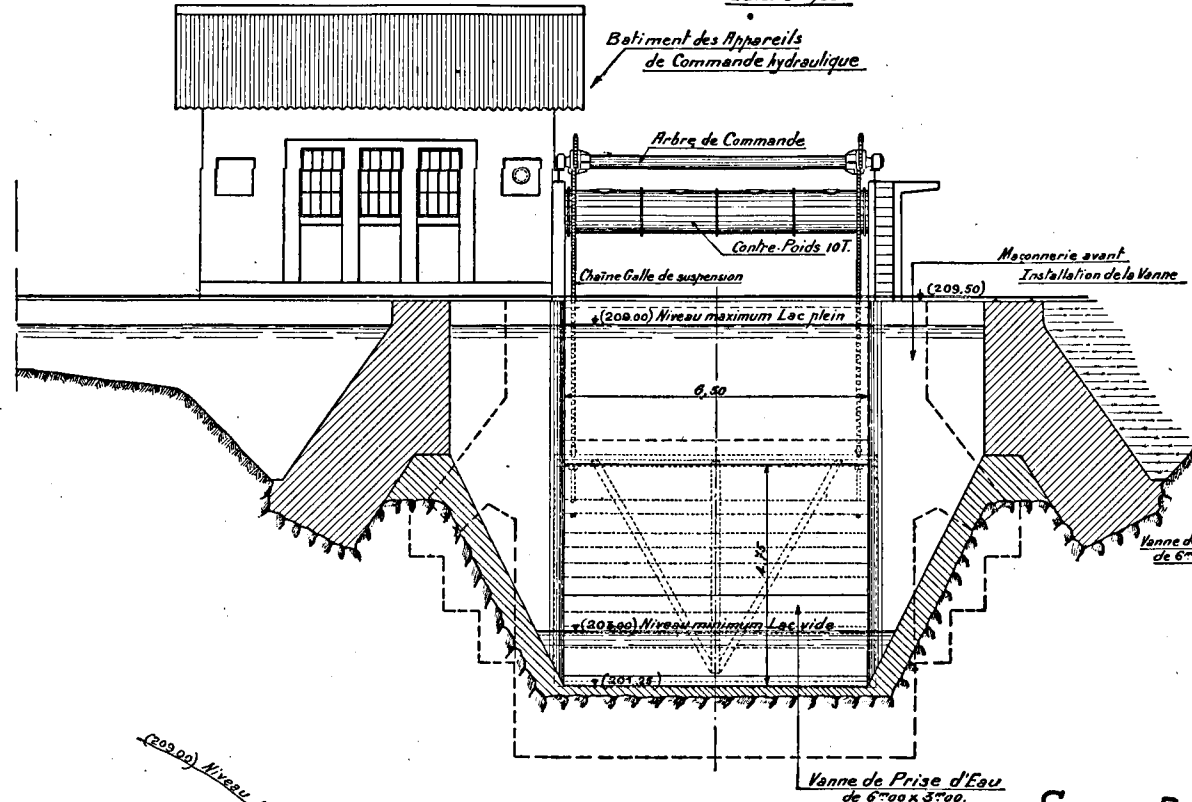
DÉTAILS DIVERS



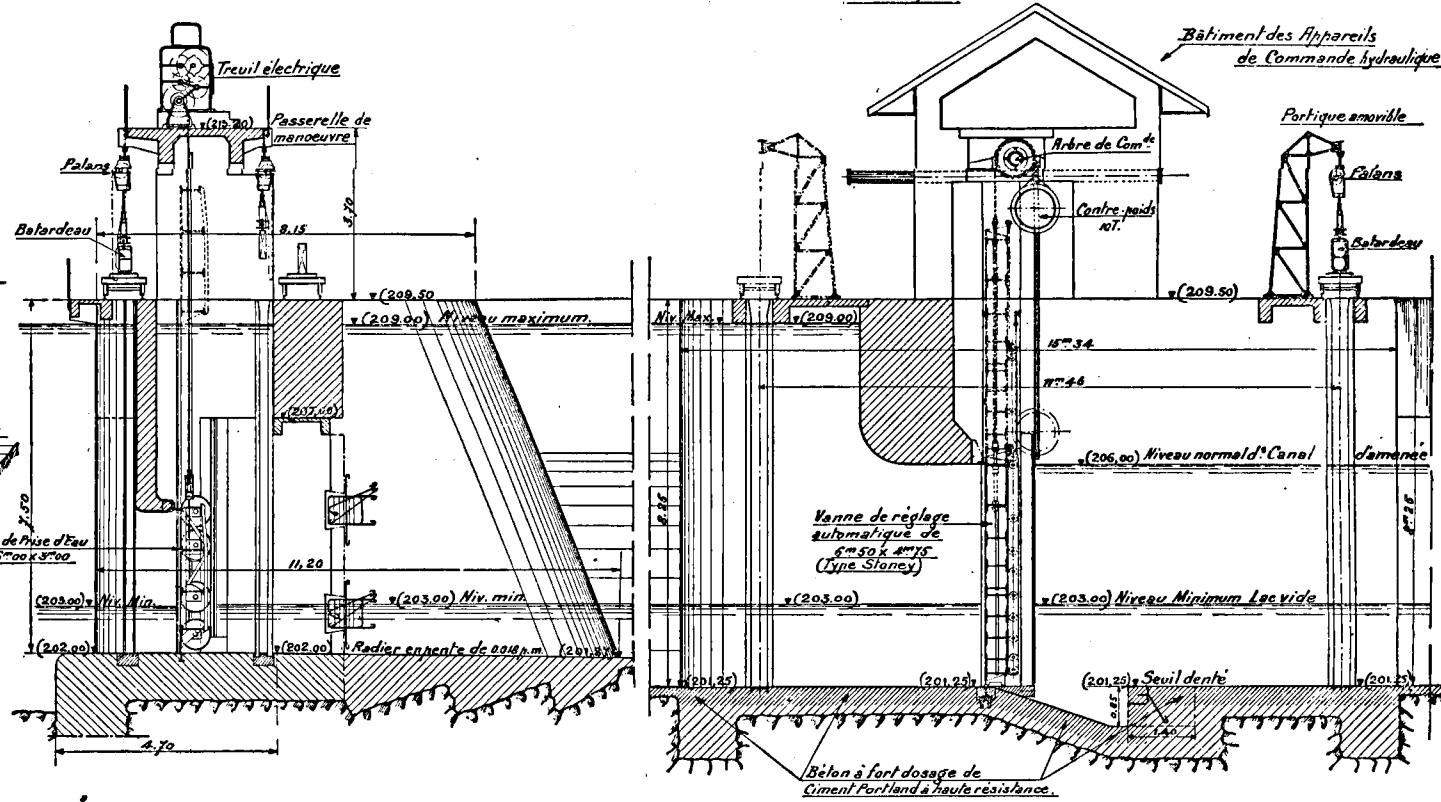
VANNES DE PRISE D'EAU DE 6^m00x3^m00
VUE EN ÉLEVATION D'UNE PASSE SUIVANT A-B



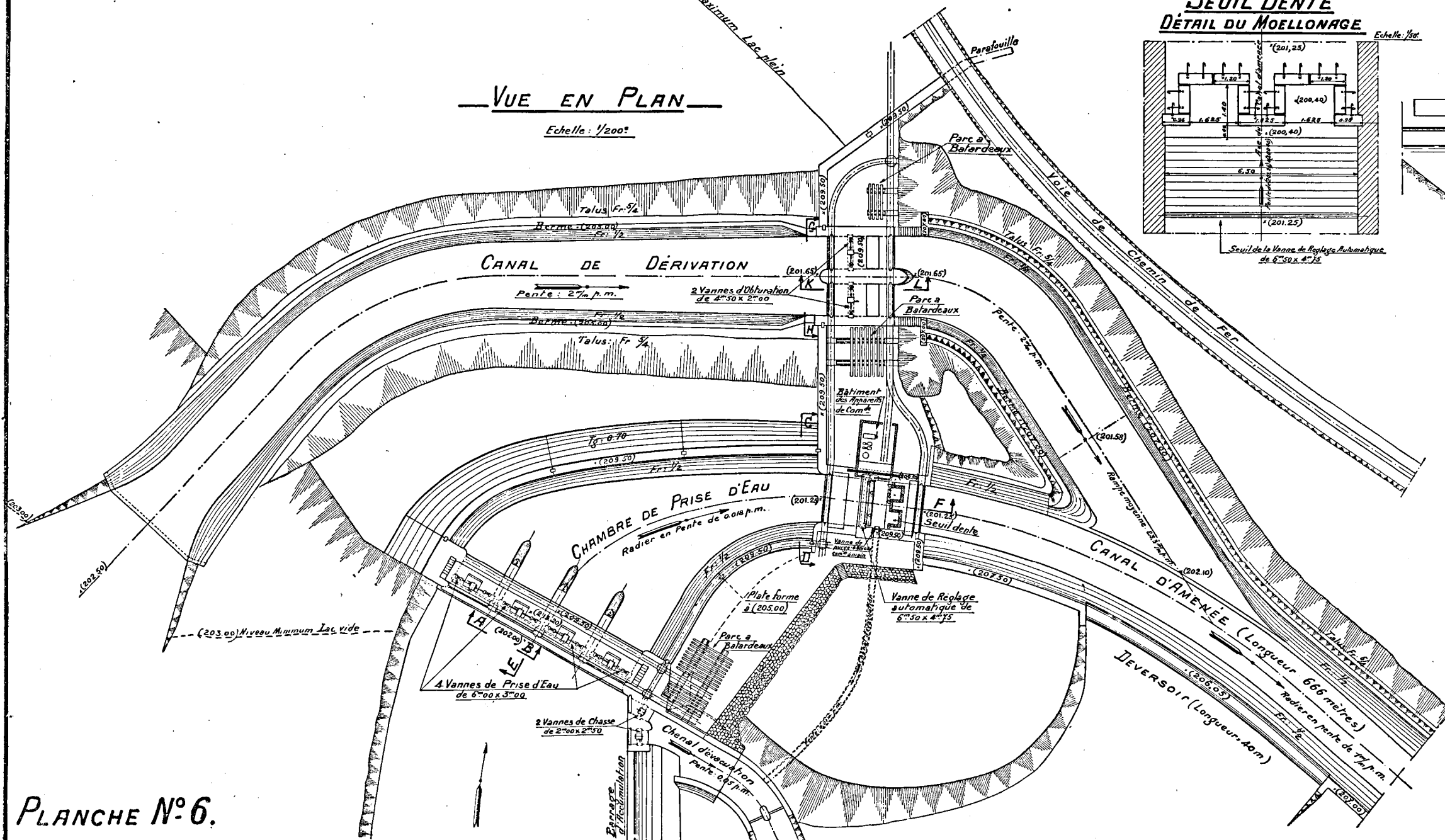
VANNE DE RÉGLAGE AUTOMATIQUE DE 6^m50x4^m75
VUE EN ÉLEVATION SUIVANT C-D



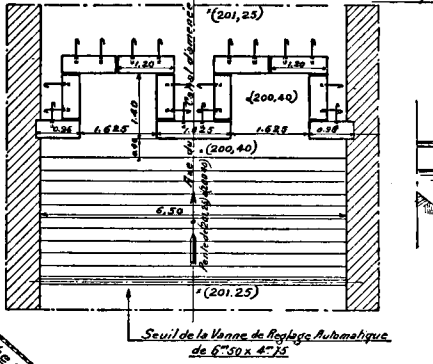
VANNES DE PRISE D'EAU & VANNE DE RÉGLAGE AUTOMATIQUE
COUPE TRANSVERSALE SUIVANT E-F



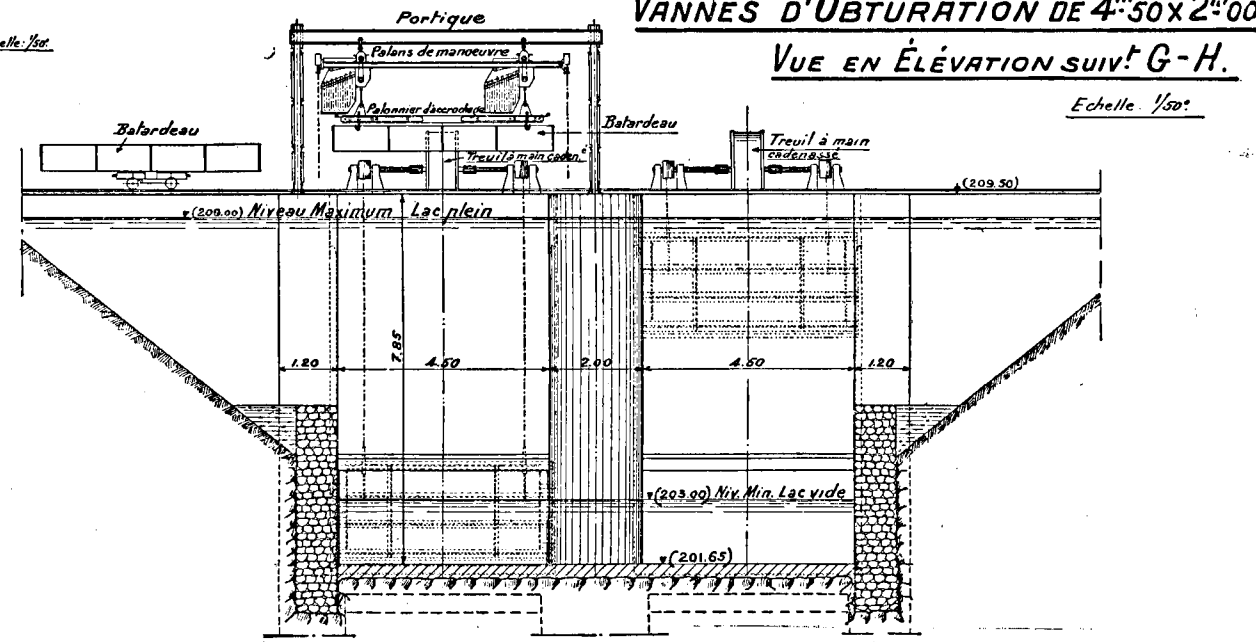
VUE EN PLAN
Echelle: 1/200^e



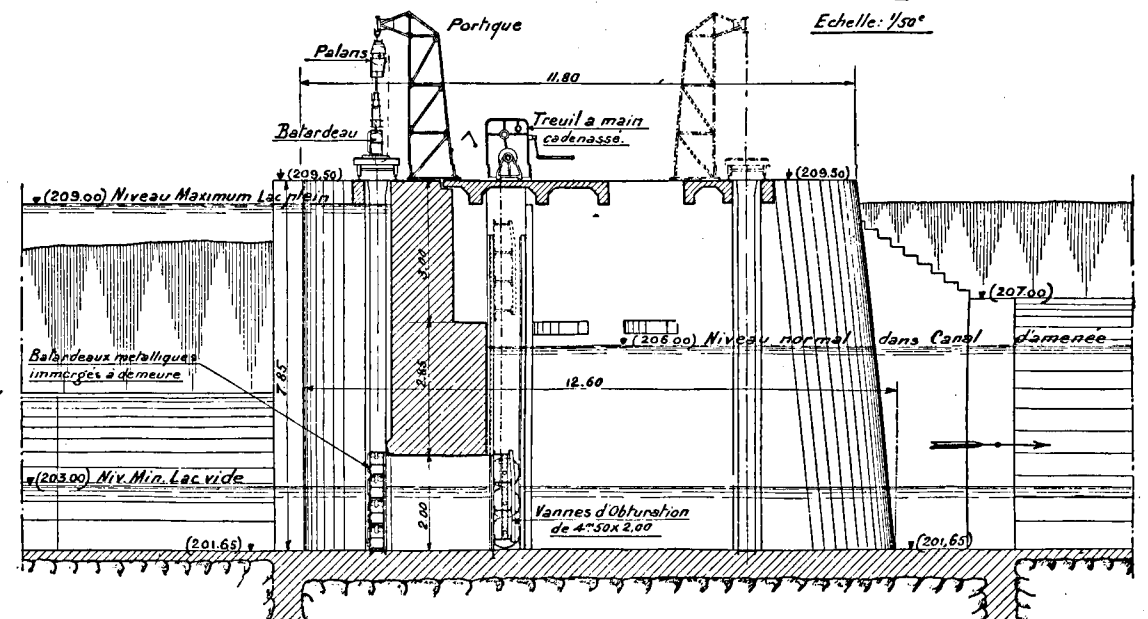
SEUIL DENTÉ
DÉTAIL DU MOELLONNAGE
Echelle: 1/50^e



VANNES D'OBTURATION DE 4^m50x2^m00
VUE EN ÉLEVATION SUIVANT G-H



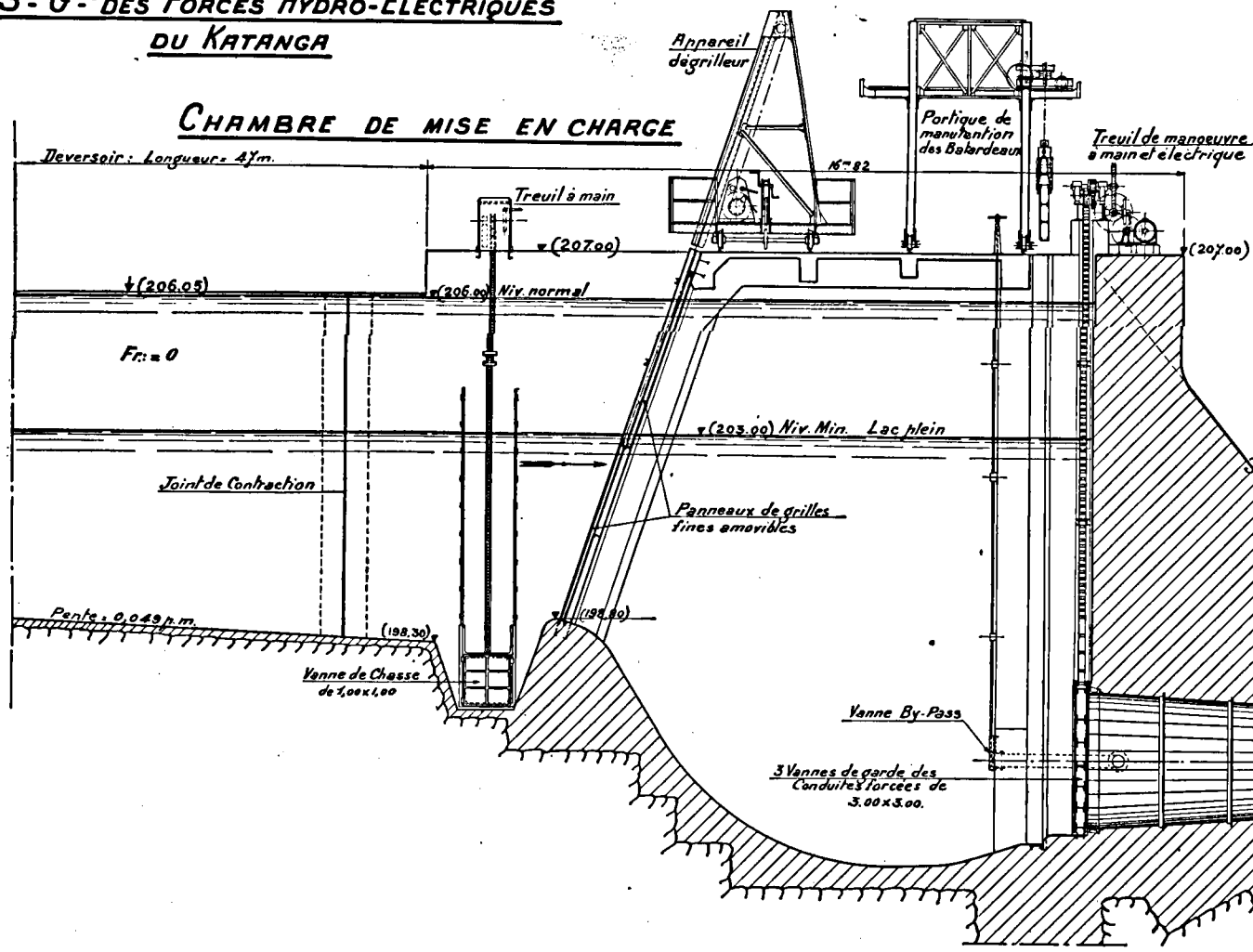
COUPE TRANSVERSALE SUIVANT K-L



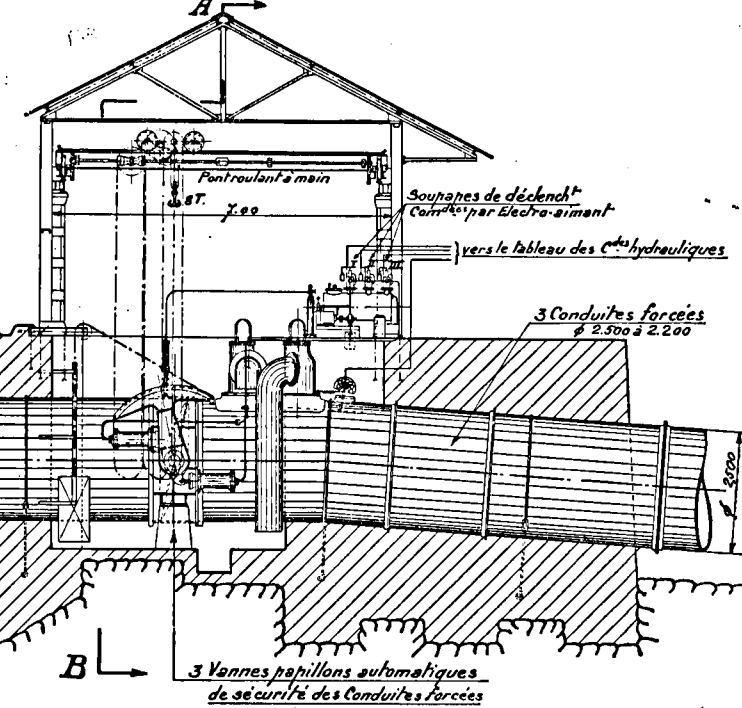


**OUVRAGE DE TÊTE DES CONDUITES FORCÉES
ET
VANNES PAPILLONS AUTOMATIQUES DE SÉCURITÉ.**

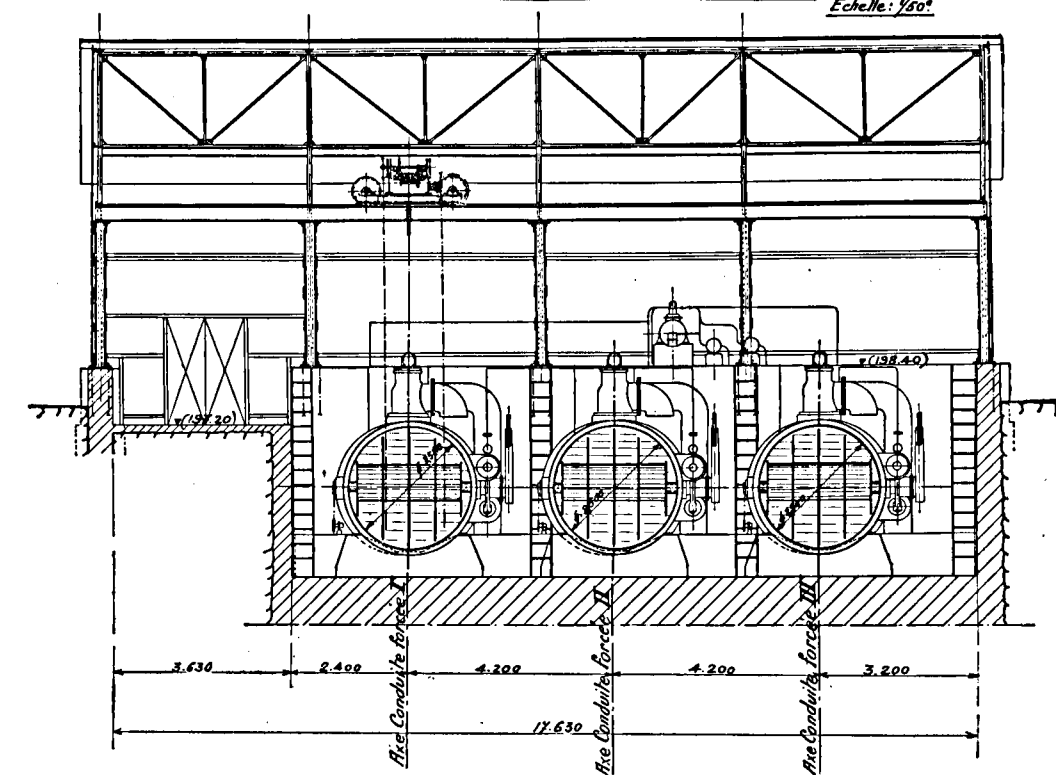
CHAMBRE DE MISE EN CHARGE



BÂTIMENT DES VANNES PAPILLONS AUTOMATIQUES



COUPE TRANSVERSALE SUIVANT A-B.



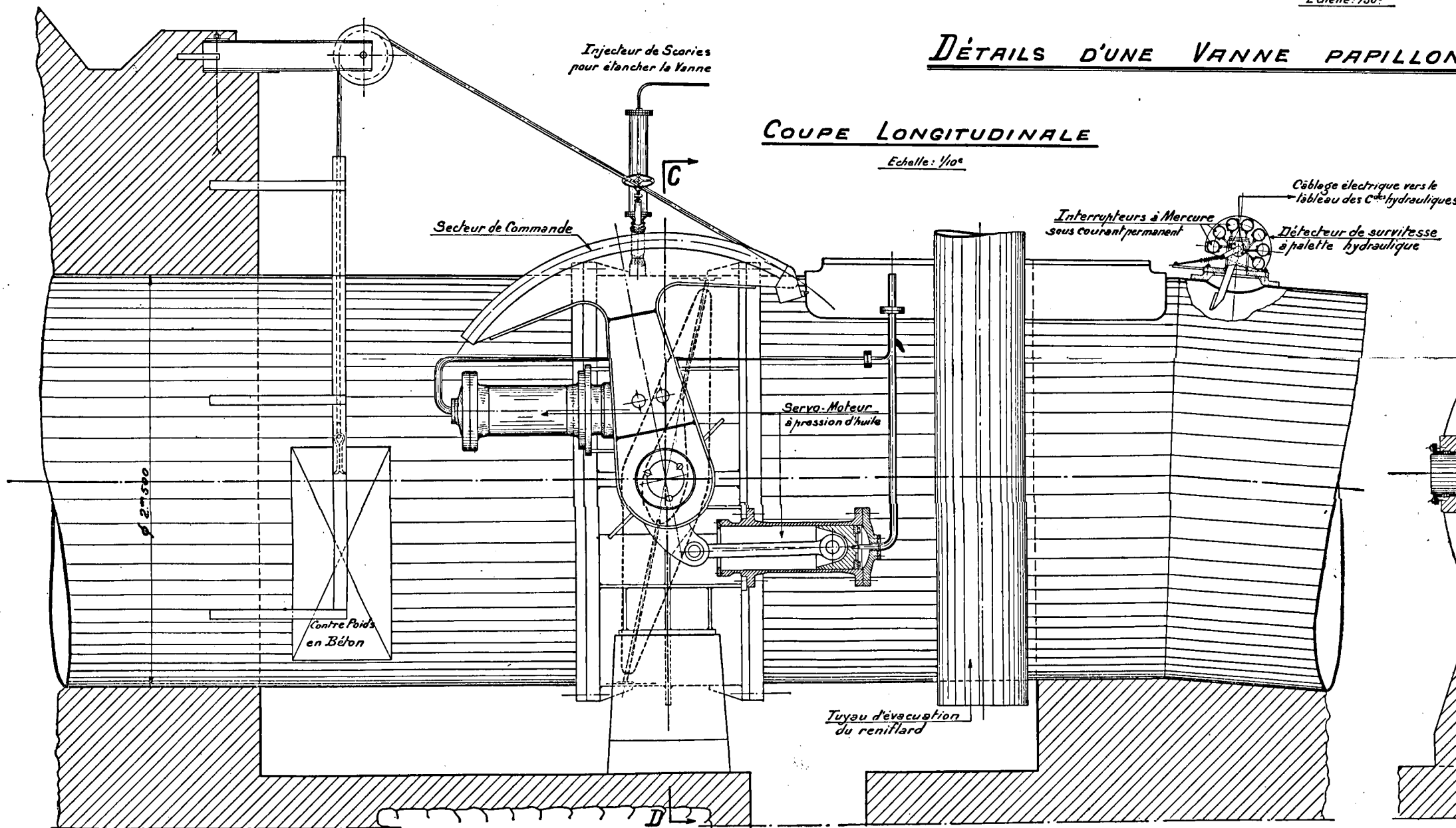
COUPE LONGITUDINALE SUIVANT L'AXE D'UNE CONDUITE FORCÉE

Echelle: 1/50^e

DÉTAILS D'UNE VANNE PAPILLON AUTOMATIQUE

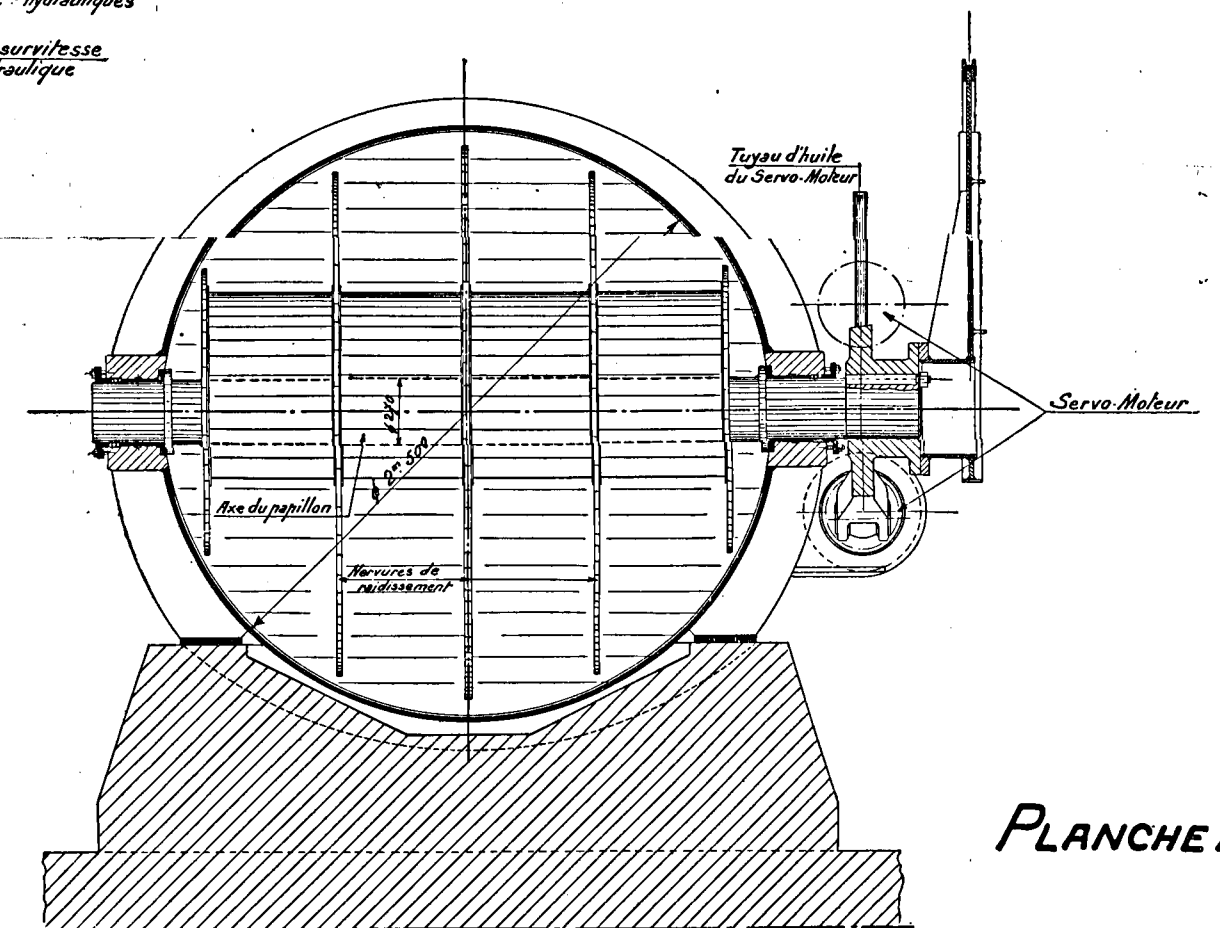
COUPE LONGITUDINALE

Echelle: 1/10^e



COUPE TRANSVERSALE SUIVANT C-D

Echelle: 1/10^e





Tome VII.

- | | |
|---|------|
| 1. STRUYF, le R. P. I., <i>Les Bakongo dans leurs légendes</i> (280 pages, 1936) . . . fr. | 55 » |
| 2. LOTAR, le R. P. L., <i>La grande chronique de l'Ubangi</i> (99 pages, 1 figure, 1937) . | 15 » |
| 3. VAN CAENEGHEM, de E. P. R., <i>Studie over de gewoontelijke strafbepalingen tegen het overspel bij de Baluba en Ba Lulua van Kasai</i> (Verhandeling welke in den Jaarlijkschen Wedstrijd voor 1937, den tweeden prijs bekomen heeft) (56 bl., 1938) | 10 » |
| 4. HULSTAERT, le R. P. G., <i>Les sanctions coutumières contre l'adultère chez les Nkundó</i> (mémoire couronné au concours annuel de 1937) (53 pages, 1938) . | 10 » |

Tome VIII.

- | | |
|---|-------|
| HULSTAERT, le R. P. G., <i>Le mariage des Nkundó</i> (520 pages, 1 carte, 1938) fr. | 100 » |
|---|-------|

Tome IX.

- | | |
|--|------|
| 1. VAN WING, le R. P. J., <i>Etudes Bakongo. — II. Religion et Magie</i> (301 pages, 2 figures, 1 carte, 8 planches, 1938) fr. | 60 » |
| 2. TIARKO FOURCHE, J. A. et MORLIGHEM, H., <i>Les communications des indigènes du Kasai avec les âmes des morts</i> (78 pages, 1939) | 12 » |
| 3. LOTAR, le R. P. L., <i>Le grande Chronique du Bomu</i> (163 pages, 3 cartes, 1940) . . . | 30 » |
| 4. GELDERS, V., <i>Quelques aspects de l'évolution des Colonies en 1938</i> (82 pages, 1941) | 16 » |

Tome X.

- | | |
|---|------|
| 1. VANHOVE, J., <i>Essai de droit coutumier du Ruanda</i> (mémoire couronné au concours annuel de 1940) (125 pages, 1 carte, 13 planches, 1941) | 33 » |
|---|------|

SECTION DES SCIENCES NATURELLES ET MÉDICALES

Tome I.

- | | |
|---|------|
| 1. ROBYNS, W., <i>La colonisation végétale des laves récentes du volcan Rumoka (laves de Kaleruzi)</i> (33 pages, 10 planches, 1 carte, 1932). fr. | 15 » |
| 2. DUBOIS, le Dr A., <i>La lèpre dans la région de Wamba-Pawa (Uele-Nepoka)</i> (87 pages, 1932) | 13 » |
| 3. LEPLAE, E., <i>La crise agricole coloniale et les phases du développement de l'agriculture dans le Congo central</i> (31 pages, 1932) | 5 » |
| 4. DE WILDEMAN, E., <i>Le port suffrutescens de certains végétaux tropicaux dépend de facteurs de l'ambiance!</i> (51 pages, 2 planches, 1933) | 10 » |
| 5. ADRIAENS, L., CASTAGNE, E. et VLASSOV, S., <i>Contribution à l'étude histologique et chimique du Sterculia Bequaerti De Wild.</i> (112 pages, 2 planches, 28 fig., 1933). | 24 » |
| 6. VAN NITSEN, le Dr R., <i>L'hygiène des travailleurs noirs dans les camps industriels du Haut-Katanga</i> (248 pages, 4 planches, carte et diagrammes, 1933). | 45 » |
| 7. STEYAERT, R. et VRYDAGH, J., <i>Etude sur une maladie grave du cotonnier provoquée par les piqûres d'Helopeltis</i> (55 pages, 32 figures, 1933) | 20 » |
| 8. DELEVOY, G., <i>Contribution à l'étude de la végétation forestière de la vallée de la Lukuga (Katanga septentrional)</i> (124 pages, 5 planches, 2 diagr., 1 carte, 1933). | 40 » |

Tome II.

- | | |
|--|------|
| 1. HAUMANN, L., <i>Les Lobelia géants des montagnes du Congo belge</i> (52 pages, 6 figures, 7 planches, 1934) fr. | 15 » |
| 2. DE WILDEMAN, E., <i>Remarques à propos de la forêt équatoriale congolaise</i> (120 p., 3 cartes hors texte, 1934) | 26 » |
| 3. HENRY, J., <i>Étude géologique et recherches minières dans la contrée située entre Ponthierville et le lac Kivu</i> (51 pages, 6 figures, 3 planches, 1934). | 16 » |
| 4. DE WILDEMAN, E., <i>Documents pour l'étude de l'alimentation végétale de l'indigène du Congo belge</i> (264 pages, 1934) | 35 » |
| 5. POLINARD, E., <i>Constitution géologique de l'Entre-Lulua-Bushimaïe, du 7^e au 8^e parallèle</i> (74 pages, 6 planches, 2 cartes, 1934) | 22 » |

Tome III.

1. LEBRUN, J., <i>Les espèces congolaises du genre Ficus L.</i> (79 pages, 4 figures, 1934).	12 »
2. SCHWEITZ, le Dr J., <i>Contribution à l'étude endémiologique de la malaria dans la forêt et dans la savane du Congo oriental</i> (45 pages, 1 carte, 1934).	8 »
3. DE WILDEMAN, E., TROILLI, GRÉGOIRE et OROLOVITCH, <i>A propos de médicaments indigènes congolais</i> (127 pages, 1935).	17 »
4. DELEVOY, G et ROBERT, M., <i>Le milieu physique du Centre africain méridional et la phytogéographie</i> (104 pages, 2 cartes, 1935).	16 »
5. LEPLAE, E., <i>Les plantations de café au Congo belge. — Leur histoire (1881-1935). — Leur importance actuelle</i> (248 pages, 12 planches, 1936).	40 »

Tome IV.

1. JADIN, le Dr J., <i>Les groupes sanguins des Pygmées</i> (Mémoire couronné au Concours annuel de 1935) (26 pages, 1935).	fr. 5 »
2. JULIEN, le Dr P., <i>Bloedgroeponderzoek der Efé-pygmeeën en der omwonende Negerstammen</i> (Verhandeling welke in den jaarlijkschen Wedstrijd voor 1935 eene eervolle vermelding verwierf) (32 bl., 1935).	6 »
3. VLASSOV, S., <i>Espèces alimentaires du genre Artocarpus. — 1. L'Artocarpus integrifolia L. ou le Jacquier</i> (80 pages, 10 planches, 1936).	18 »
4. DE WILDEMAN, E., <i>Remarques à propos de formes du genre Uragoga L. (Rubiacées). — Afrique occidentale et centrale</i> (188 pages, 1936).	27 »
5. DE WILDEMAN, E., <i>Contributions à l'étude des espèces du genre Uapaga BAILL. (Euphorbiacées)</i> (192 pages, 43 figures, 5 planches, 1936).	35 »

Tome V.

1. DE WILDEMAN, E., <i>Sur la distribution des saponines dans le règne végétal</i> (94 pages, 1936).	fr. 16 »
2. ZAHLBRUCKNER, A. et HAUMAN, L., <i>Les lichens des hautes altitudes au Ruwenzori</i> (31 pages, 5 planches, 1936).	10 »
3. DE WILDEMAN, E., <i>A propos de plantes contre la lèpre (Crinum sp. Amaryllidacées)</i> (58 pages, 1937).	10 »
4. HISSETTE, le Dr J., <i>Onchocercose oculaire</i> (120 pages, 5 planches, 1937).	25 »
5. DUREN, le Dr A., <i>Un essai d'étude d'ensemble du paludisme au Congo belge</i> (86 pages, 4 figures, 2 planches, 1937).	16 »
6. STANER, P. et BOUTIQUE, R., <i>Matériaux pour les plantes médicinales indigènes du Congo belge</i> (228 pages, 17 figures, 1937).	40 »

Tome VI.

1. BURGEON, L., <i>Liste des Coléoptères récoltés au cours de la mission belge au Ruwenzori</i> (140 pages, 1937).	fr. 25 »
2. LEPERSONNE, J., <i>Les terrasses du fleuve Congo au Stanley-Pool et leurs relations avec celles d'autres régions de la cuvette congolaise</i> (68 pages, 6 figures, 1937).	12 »
3. CASTAGNE, E., <i>Contribution à l'étude chimique des légumineuses insecticides du Congo belge</i> (Mémoire couronné au Concours annuel de 1937) (102 pages, 2 figures, 9 planches, 1938).	45 »
4. DE WILDEMAN, E., <i>Sur des plantes médicinales ou utiles du Mayumbe (Congo belge), d'après des notes du R. P. WELLENS † (1891-1924)</i> (97 pages, 1938).	17 »
5. ADRIAENS, L., <i>Le Ricin au Congo belge. — Etude chimique des graines, des huiles et des sous-produits</i> (206 pages, 11 diagrammes, 12 planches, 1 carte, 1938).	60 »

Tome VII.

1. SCHWEITZ, le Dr J., <i>Recherches sur le paludisme endémique du Bas-Congo et du Kwango</i> (164 pages, 1 croquis, 1938).	fr. 28 »
2. DE WILDEMAN, E., <i>Dioscorea alimentaires et toxiques</i> (morphologie et biologie) (262 pages, 1938).	45 »
3. LEPLAE, E., <i>Le palmier à huile en Afrique, son exploitation au Congo belge et en Extrême-Orient</i> (108 pages, 11 planches, 1939).	30 »

Tome VIII.

1. MICHOT, P., <i>Etude pétrographique et géologique du Ruwenzori septentrional</i> (271 pages, 17 figures, 48 planches, 2 cartes, 1938) fr.	85 »
2. BOUCKAERT, J., CASIER, H., et JADIN, J., <i>Contribution à l'étude du métabolisme du calcium et du phosphore chez les indigènes de l'Afrique centrale</i> (Mémoire couronné au Concours annuel de 1938) (25 pages, 1938)	6 »
3. VAN DEN BERGHE, L., <i>Les schistosomes et les schistosomoses au Congo belge et dans les territoires du Ruanda-Urundi</i> (Mémoire couronné au Concours annuel de 1939) (154 pages, 14 figures, 27 planches, 1939)	45 »
4. ADRIAENS, L., <i>Contribution à l'étude chimique de quelques gommés du Congo belge</i> (100 pages, 9 figures, 1939)	22 »

Tome IX.

1. POLINARD, E., <i>La bordure nord du socle granitique dans la région de la Lubi et de la Bushimai</i> (56 pages, 2 figures, 4 planches, 1939) fr.	16 »
2. VAN RIEL, le Dr J., <i>Le Service médical de la Compagnie Minière des Grands Lacs Africains et la situation sanitaire de la main-d'œuvre</i> (58 pages, 5 planches, 1 carte, 1939)	13 »
3. DE WILDEMAN, E., Drs TROLLI, DRICOT, TESSITORE et M. MORTIAUX, <i>Notes sur des plantes médicinales et alimentaires du Congo belge</i> (Missions du « Foréami ») (VI-356 pages, 1939)	60 »
4. POLINARD, E., <i>Les roches alcalines de Chianga (Angola) et les tufs associés</i> (32 pages, 2 figures, 3 planches, 1939)	12 »
5. ROBERT, M., <i>Contribution à la morphologie du Katanga; les cycles géographiques et les pénéplaines</i> (59 pages, 1939)	10 »

Tome X.

1. DE WILDEMAN, E., <i>De l'origine de certains éléments de la flore du Congo belge et des transformations de cette flore sous l'action de facteurs physiques et biologiques</i> (365 pages, 1940) fr.	60 »
2. DUBIGIS, A., <i>La lèpre au Congo belge en 1938</i> (60 pages, 1 carte, 1940)	12 »
3. JADIN, J., <i>Les groupes sanguins des Pygmoides et des nègres de la province équatoriale (Congo belge)</i> (42 pages, 1 diagramme, 3 cartes, 2 planches, 1940)	10 »
4. POLINARD, E., <i>Het doleriet van den sumentoop Sankuru-Bushimai</i> (42 pages, 3 figures, 1 carte, 5 planches, 1941)	17 »
5. BURGEON, L., <i>Les Colasposoma et les Euryope du Congo belge</i> (43 pages, 7 figures, 1941)	10 »
6. PASSAU, G., <i>Découverte d'un Céphalopode et d'autres traces fossiles dans les terrains anciens de la Province orientale</i> (14 pages, 2 planches, 1941)	8 »

Tome XI.

1. VAN NITSEN, le Dr R., <i>Contribution à l'étude de l'enfance noire au Congo belge</i> (82 pages, 2 diagrammes, 1941) fr.	16 »
2. SCHWETZ, J., <i>Recherches sur le Paludisme dans les villages et les camps de la division de Mongbwatu des Mines d'or de Kilo (Congo belge)</i> (75 pages, 1 croquis, 1941)	16 »
3. LEBRUX, J., <i>Recherches morphologiques et systématiques sur les caféiers du Congo</i> (Mémoire couronné au Concours annuel de 1937) (684 pages, 19 planches, 1941)	80 »
4. ROTHAIN, J., <i>Etude d'une souche de Trypanosoma Cazalhoui (Vivax)</i> (38 pages, 1941)	11 »

SECTION DES SCIENCES TECHNIQUES

Tome I.

1. FONTAINAS, P., <i>La force motrice pour les petites entreprises coloniales</i> (188 pages, 1935) fr.	19 »
2. HELLINCKX, L., <i>Etudes sur le Copal-Congo</i> (Mémoire couronné au Concours annuel de 1935) (64 pages, 7 figures, 1935)	11 »
3. DEVROEY, E., <i>Le problème de la Lukuga, exutoire du lac Tanganika</i> (130 pages, 14 figures, 1 planche, 1938)	30 »
4. FONTAINAS, P., <i>Les exploitations minières de haute montagne au Ruanda-Urundi</i> (59 pages, 31 figures, 1938)	18 »
5. DEVROEY, E., <i>Installations sanitaires et épuration des eaux résiduaires au Congo belge</i> (56 pages, 13 figures, 3 planches, 1939)	20 »
6. DEVROEY, E., et VANDERLINDEN, R., <i>Le lac Kieu</i> (76 pages, 51 figures, 1939)	20 »

Tome II.

1. DEVROEY, E., *Le réseau routier au Congo belge et au Ruanda-Urundi* (218 pages, 62 figures, 2 cartes, 1939) . . . fr. 60 »
2. DEVROEY, E., *Habitations coloniales et conditionnement d'air sous les tropiques* (228 pages, 94 figures, 33 planches, 1940) . . . 65 »
3. LÉGRAYE, M., *Grands traits de la Géologie et de la Minéralisation aurifère des régions de Kilo et de Moto (Congo belge)* (135 pages, 25 figures, 13 planches, 1940) . . . 35 »

Tome III.

1. SPRONCK, R., *Mesures hydrographiques effectuées dans la région dicagante du bief maritime du fleuve Congo. Observation des mouvements des alluvions. Essai de détermination des débits solides* (56 pages, 1941) . . . fr. 16 »
2. BETTE, R., *Aménagement hydro-électrique complet de la Lufira à « Chutes Cornet » par régularisation de la rivière* (33 pages, 10 planches, 1941) . . . 27 »

COLLECTION IN-4°

SECTION DES SCIENCES MORALES ET POLITIQUES

Tome I.

1. SCHEBESTA, le R. P. P., *Die Bambuti-Pygmäen vom Ituri* (tome I) (1 frontispice, XVIII-440 pages, 16 figures, 11 diagrammes, 32 planches, 1 carte, 1938) . . . fr. 250 »

Tome II.

1. SCHEBESTA, le R. P. P., *Die Bambuti-Pygmäen vom Ituri* (tome II) (XII-284 pages, 189 figures, 5 diagrammes, 25 planches, 1941) . . . fr. 135 »

SECTION DES SCIENCES NATURELLES ET MÉDICALES

Tome I.

1. ROBYNS, W., *Les espèces congolaises du genre *Digitaria* Hall* (52 pages, 6 planches, 1931) . . . fr. 20 »
2. VANDERYST, le R. P. H., *Les roches oolithiques du système schisto-calcaire dans le Congo occidental* (70 pages, 10 figures, 1932) . . . 20 »
3. VANDERYST, le R. P. H., *Introduction à la phytogéographie agrostologique de la province Congo-Kasai. (Les formations et associations)* (154 pages, 1932) . . . 32 »
4. SCAËTTA, H., *Les famines périodiques dans le Ruanda. — Contribution à l'étude des aspects biologiques du phénomène* (42 pages, 1 carte, 12 diagrammes, 10 planches, 1932) . . . 26 »
5. FONTAINAS, P. et ANSOTTE, M., *Perspectives minières de la région comprise entre le Nil, le lac Victoria et la frontière orientale du Congo belge* (27 pages, 2 cartes, 1932) . . . 10 »
6. ROBYNS, W., *Les espèces congolaises du genre *Panicum* L.* (80 pages, 5 planches, 1932) . . . 25 »
7. VANDERYST, le R. P. H., *Introduction générale à l'étude agronomique du Haut-Kasai. Les domaines, districts, régions et sous-régions géo-agronomiques du Vicariat apostolique du Haut-Kasai* (82 pages, 12 figures, 1933) . . . 25 »

Tome II.

1. THOREAU, J., et DU TRIEU DE TERDONCK, R., *Le gîte d'uranium de Shinkolobwe-Kasolo (Katanga)* (70 pages, 17 planches, 1933) . . . fr. 50 »
2. SCAËTTA, H., *Les précipitations dans le bassin du Kivu et dans les zones limitrophes du fossé tectonique (Afrique centrale équatoriale). — Communication préliminaire* (108 pages, 28 figures, cartes, plans et croquis, 16 diagrammes, 10 planches, 1933) . . . 60 »
3. VANDERYST, le R. P. H., *L'élevage extensif du gros bétail par les Bampembos et Baholos du Congo portugais* (50 pages, 5 figures, 1933) . . . 14 »
4. POLINARD, E., *Le socle ancien inférieur à la série schisto-calcaire du Bas-Congo. Son étude le long du chemin de fer de Matadi à Léopoldville* (116 pages, 7 figures, 8 planches, 1 carte, 1934) . . . 40 »

Tome III.

- SCAËTTA, H., *Le climat écologique de la dorsale Congo-Nil* (335 pages, 61 diagrammes, 20 planches, 1 carte, 1934) . . . fr. 100 »

Tome IV.

1. POLINARD, E., *La géographie physique de la région du Lubilash, de la Bushmate et de la Lubi vers le 6^e parallèle Sud* (38 pages, 9 figures, 4 planches, 2 cartes, 1935) fr. 25 »
2. POLINARD, E., *Contribution à l'étude des roches éruptives et des schistes cristallins de la région de Bondo* (42 pages, 1 carte, 2 planches, 1935). 15 »
3. POLINARD, E., *Constitution géologique et pétrographique des bassins de la Kotto et du M'Bari, dans la région de Bria-Yalinga (Oubangui-Chari)* (160 pages, 21 figures, 3 cartes, 13 planches, 1935) 60 »

Tome V.

1. ROBYS, W., *Contribution à l'étude des formations herbeuses du district forestier central du Congo belge* (151 pages, 3 figures, 2 cartes, 13 planches, 1936) . fr. 60 »
2. SCAËTTA, H., *La genèse climatique des sols montagnards de l'Afrique centrale. — Les formations végétales qui en caractérisent les stades de dégradation* (351 pages, 10 planches, 1937) 115 »

Tome VI.

1. GYSIN, M., *Recherches géologiques et pétrographiques dans le Katanga méridional* (259 pages, 4 figures, 1 carte, 4 planches, 1937) fr. 65 »
2. ROBERT, M., *Le système du Kundelungu et le système schisto-dolomitique* (108 pages, 1940) 30 »

SECTION DES SCIENCES TECHNIQUES

Tome I.

1. MAURY, J., *Triangulation du Katanga* (140 pages, figure, 1930) fr. 25 »
2. ANTHOINE, R., *Traitement des minerais aurifères d'origine filonienne aux mines d'or de Kilo-Moto* (163 pages, 63 croquis, 12 planches, 1933) 50 »
3. MAURY, J., *Triangulation du Congo oriental* (177 pages, 4 fig., 3 planches, 1934). 50 »

Tome II.

1. ANTHOINE, R., *L'amalgamation des minerais à or libre à basse teneur de la mine du mont Tsi* (29 pages, 2 figures, 2 planches, 1936) 10 »
2. MOLLE, A., *Observations magnétiques faites à Elisabethville (Congo belge) pendant l'année internationale polaire* (120 pages, 16 figures, 3 planches, 1936). 45 »
3. DEHALU, M., et PAUWEN, L., *Laboratoire de photogrammétrie de l'Université de Liège. Description, théorie et usage des appareils de prises de vues, du stéréoplanigraphe C_s et de l'Aéromultiplex Zeiss* (80 pages, 40 fig., 2 planches, 1938) 20 »
4. TONNEAU, R., et CHARPENTIER, J., *Etude de la récupération de l'or et des sables noirs d'un gravier alluvionnaire* (mémoire couronné au concours annuel de 1938) (95 pages, 9 diagrammes, 1 planche, 1939) 35 »
5. MAURY, J., *Triangulation du Bas-Congo* (41 pages, 1 carte, 1939) 15 »

Tome III.

- HERMANS, L., *Résultats des observations magnétiques effectuées de 1934 à 1938 pour l'établissement de la carte magnétique du Congo belge* (avec une introduction par M. Dehalu) :
1. Fascicule préliminaire. — *Aperçu des méthodes et nomenclature des Stations* (88 pages, 9 figures, 15 planches, 1939) fr. 40 »
 2. En préparation.
 3. Fascicule III. — *Région des Mines d'or de Kilo-Moto, Ituri, Haut-Uele* (27 avril-16 octobre 1936) (71 pages, 9 figures, 15 planches, 1939). 40 »

Sous presse.

- MERTENS, le R. P. J., *Les chefs couronnés chez les Ba Kongo orientaux. Etude de régime successoral* (in-8°).
- HEERMANS, L., *Résultats des observations magnétiques effectuées de 1934 à 1938 pour l'établissement de la Carte magnétique du Congo belge* (fascicule II) (in-4°).
- DEVROEY, E., *Le bassin hydrographique congolais, spécialement celui du bief maritime* (in-8°).
- DE BEAUCORPS, R., S. J., *Les Basongo de la Luniugu et de la Gobari* (in-8°).
- ROBERT, M., *Le système du Kundelungu et le système schisto-dolomitique* (2^e partie) (in-4°).
- RESSELER, R., *Recherches sur la calcémie chez les indigènes de l'Afrique centrale* (in-8°).
- DE GRAND RY, G., *Les graben africains et la recherche du pétrole en Afrique orientale* (in-4°).
- ANTHOINE, R., *Les méthodes pratiques d'évaluation des Gîtes secondaires aurifères appliquées dans la région de Kilo-Moto (Congo belge)* (in-4°).

BULLETIN DES SÉANCES DE L'INSTITUT ROYAL COLONIAL BELGE

	Belgique.	Congo belge.	Union postale universelle.
Abonnement annuel.	fr. 60.—	fr. 70.—	fr. 75.— (15 Belgas)
Prix par fascicule	fr. 25.—	fr. 30.—	fr. 30.— (6 Belgas)

Tome I (1929-1930)	608 pages	Tome VII (1936)	626 pages
Tome II (1931)	694 »	Tome VIII (1937)	895 »
Tome III (1932)	680 »	Tome IX (1938)	871 »
Tome IV (1933)	884 »	Tome X (1939)	473 »
Tome V (1934)	738 »	Tome XI (1940)	598 »
Tome VI (1935)	765 »		

M. HAYEZ, imprimeur de l'Académie royale de Belgique, rue de Louvain, 112, Bruxelles.
(Domicile légal: rue de la Chancellerie, 4)

Made in Belgium.