

Un mémorial réunira les textes des diverses allocutions prononcées au cours de la commémoration, ainsi que le nécrologe des 70 confrères décédés depuis la fondation de l'I. R. C. B.

**Sur les erreurs de divers types de pluviomètres  
dans les conditions climatiques du Congo belge.**

Au nom de l'auteur, actuellement au Congo, M. *E.-J. Devroey* présente la communication rédigée sur ce sujet par M. E. A. BERNARD, membre correspondant (voir p. 896).

**Concours annuel 1954.**

Un travail a été reçu en réponse à la 3<sup>e</sup> question sur les transformations du paysage géographique par voies ferrées, à savoir :

MM. Henri NICOLAÏ et Jules JACQUES, La transformation des paysages congolais par le chemin de fer. — L'exemple du B. C. K.

MM. *G. Passau* et *W. Robijns* sont désignés comme rapporteurs.

Un travail a également été reçu en réponse à la 4<sup>e</sup> question sur la composition en acides aminés des protéines contenues dans les aliments, à savoir :

M. le D<sup>r</sup> E. L. ADRIAENS, Recherches sur la composition en acides aminés des protéines d'aliments végétaux du Congo belge et du Ruanda-Urundi.

MM. *A. Castille* et *N. Wattiez* sont désignés comme rapporteurs.

16 u 15 : Redevoering van de H. *Minister van Koloniën*.

16 u 30 : Einde van de plechtigheid.

Een memoriaal zal de teksten der verschillende toespraken verenigen die tijdens de herdenkingsplechtigheid uitgesproken werden, alsook de lijst der 70 confraters overleden sinds de stichting van het K. B. K. I.

**Over de afwijkingen van verschillende typen  
van pluviometers in de klimatologische voorwaarden  
van Belgisch-Kongo.**

In naam van de auteur, op het ogenblik in Kongo, legt de H. *E.-J. Devroey* een mededeling voor, opgesteld over dit onderwerp door de H. E. A. BERNARD, corresponderend lid (zie blz. 896).

**Jaarlijkse wedstrijd 1954.**

Een werk werd ontvangen in antwoord op de 3<sup>e</sup> vraag over de veranderingen van het geografisch landschap door spoorwegen namelijk :

De HH. Henri NICOLAÏ en Jules JACQUES, « La transformation des paysages congolais par le chemin de fer. — L'exemple du B. C. K. ».

De HH. *G. Passau* en *W. Robijns* worden als verslaggevers aangesteld.

Een werk werd eveneens ontvangen in antwoord op de 4<sup>e</sup> vraag over de samenstelling uit aminozuren van de in het voedsel bevatte proteïnen, namelijk :

De H. Dr E. L. ADRIAENS, « Recherches sur la composition en acides aminés des protéines d'aliments végétaux du Congo belge et du Ruanda-Urundi ».

De HH. *A. Castille* en *N. Wattiez* worden als verslaggevers aangesteld.

Hommage d'ouvrages.

Aangeboden Werken.

Le général chevalier J. HENRY de la LINDI a envoyé l'ouvrage suivant :

Generaal ridder J. HENRY DE LA LINDI heeft het volgende werk toegezonden :

Étude géologique au Congo belge dans la contrée comprise entre Basoko-Stanleyville à l'Ouest, le lac Albert et la Semliki à l'Est (Extrait des *Annales de la Société Géologique de Belgique*, 46, 1922-1923, Liège, 1924, 269 pp.).

M. J. Schwetz a offert d'autre part une collection de 23 tirages à part de ses travaux :

De H. J. Schwetz heeft anderzijds een verzamelingen van 23 overdrukken van zijn werken aangeboden :

SCHWETZ, J., BAUMANN, H. et FORT, M., Recherches sur *Schistosoma Rodhaini* Brumpt 1931, deuxième étude : le cycle évolutif de *S. Rodhaini* (Extrait des *Annales de Parasitologie*, 26, 5-6, 1951, pp. 407-411).

SCHWETZ, J., FORT, M., et BAUMANN, H., Sur un procédé inédit d'activation de l'émission des cercaires de schistosomes par les planorbes (Extrait des *Annales de Parasitologie*, 26, 1951, pp. 491-493).

SCHWETZ, J., Recherches sur la bilharziose dans l'agglomération d'Élisabethville (Extrait des *Annales de la Société Belge de Médecine Tropicale*, 31, 1951, pp. 71-92).

—, Note préliminaire sur la bilharziose à Sakania (Katanga, Congo belge) (Extrait des *Annales de la Société Belge de Médecine Tropicale*, 31, 1951, pp. 93-102).

—, Sur la bilharziose à la mission et à l'école professionnelle des Salésiens de la Kafubu (Extrait des *Annales de la Société Belge de Médecine*, 31, 1951, pp. 103-110).

—, Notes conchyliologiques et écologiques sur les mollusques centro-africains vecteurs de bilharziose, première étude ; les planorbes (Extrait des *Annales de la Société Royale Zoologique de Belgique*, 82, 1951, pp. 353-377).

—, A comparative morphological and biological study of *Schistosoma haematobium*, *S. Bovis*, *S. intercalatum* Fisher, 1934, S.

**Geheim comité.**

De titelvoerende leden, verenigd in geheim comité, wisselen van gedachten over de vervanging van de *H. E. Polinard*, overleden titelvoerend lid.

Ze hervatten de discussie over het geval van een lid dat onder toepassing valt van het artikel 11*bis* van het organisch statuut van het K. B. K. I.

Tenslotte onderzoeken ze vijf kandidaturen, die regelmatig ingediend werden voor twee opengevallen plaatsen van buitengewone leden.

De zitting wordt te 15 u 20 opgeheven.

- mansoni* and *S. Rodhaini* Brumpt, 1931 (Extrait des *Annals of Tropical Medicine and Parasitology*, 45, 1951, pp. 92-98).
- SCHWETZ, J., Sur le problème actuel des bilharzioses humaines au Congo belge (Extrait du *Bulletin de la Société de Pathologie exotique*, 44, 1951, pp. 195-202).
- SCHWETZ, J. et STIJNS, J., Sur la redécouverte de *Schistosoma rodhaini* Brumpt et la découverte de son hôte définitif (Extrait des *Comptes rendus des séances de la Société de Biologie*, 145, 1951; p. 1255).
- SCHWETZ, J., Nouvelles données sur *Schistosoma intercalatum* Fischer 1934 (Extrait des *Comptes rendus des séances de la Société de Biologie*, 145, 1951, pp. 1257-1259).
- , Sur le problème des planorbes vecteurs de la bilharziose au Lac Albert et sur les mollusques gastéropodes du même lac (Extrait des *Annales de la Société Belge de Médecine Tropicale*, 32, 1952, pp. 57-60).
- , Sur un nouveau foyer de *Schistosoma rodhaini* avec un nouveau transmetteur (Extrait des *Annales de la Société Belge de Médecine tropicale*, 32, 1952, pp. 473-477).
- , *Planorbis tanganykanus* (*Planorbis tanganyicensis*) du lac Tanganika est transmetteur de *Schistosoma mansoni*, (Extrait des *Annales de la Société Belge de Médecine tropicale* — 32, 1952, pp. 665-672).
- , Sur un troisième foyer de *Schistosoma rodhaini* Brumpt au Congo belge (Extrait des *Annales de la Société Belge de Médecine Tropicale*, 32, 1952, pp. 672-68).
- , Nomenclature simplifiée des mollusques africains vecteurs de bilharzioses ; suggestions pour une discussion raisonnée sur une future classification (Extrait du *Bulletin de la Société de Pathologie exotique*, 45, 1952, pp. 381-388).
- , Sur le problème bilharzien de *Sakania* (Katanga, Congo belge) (Extrait des *Annales de la Société Belge de Médecine tropicale*, 33, 1953, pp. 462-482).
- , On a new schistosome of wild rodents found in the Belgian Congo, *Schistosoma mansoni* var. *rodentorum* var. nov. (Extrait des *Annals of Tropical Medicine and Parasitology*, 47, 1953, pp. 183-186).
- , Sur les causes de la confusion dans la nomenclature des mollusques transmetteurs des bilharzioses en Afrique éthiopienne et sur la nécessité et les moyens d'y mettre fin (Extrait du *Bulletin de la Société de Pathologie exotique*, 46, 1953, pp. 765-783).

- , Sur un cas d'infection accidentelle d'une souris blanche par trois schistosomes (Extrait des *Comptes rendus des séances de la Société de Biologie*, 147, 1953, pp. 1646-1648).
- , Recherches malaco-schistosomiques dans l'agglomération de Jadotville et ses environs immédiats (Extrait des *Annales de la Société Belge de Médecine tropicale*, 33, 1953, pp. 67-86).
- SCHWETZ, J. BAUMANN, H. et FORT, M., Sur les schistosomes actuellement connus en Afrique (Extrait des *Annales de la Société Belge de Médecine Tropicale*, 33, 1953, pp. 687-696, 10 pl.)
- SCHWETZ, J., Le cinquième Congrès international de médecine tropicale et de paludisme à Istanbul du 28 août au 4 septembre 1953 (Extrait de la *Revue de l'Université de Bruxelles*, 1954, 2, pp. 1-11).
- , On two schistosomes of wild rodents of the Belgian Congo : *Schistosoma Rodhaini* Brumpt, 1931 ; and *Schistosoma Mansoni* var. *Rodentorum* Schwetz, 1953 ; and their relationship to *S. Mansoni* of man (Extrait de *Transactions of the Royal Society of Tropical Medicine and Hygiene* 48, 1, 1954, pp. 89-100).

Le Secrétaire général dépose sur le bureau les ouvrages suivants :  
De Secretaris-Generaal legt de volgende werken neer op het bureau :

#### BELGIQUE — BELGIË :

- STEMPFER, H., Contribution à l'étude des Lycainidae de l'Afrique Équatoriale (Musée royal du Congo belge, Tervuren, 1953, 48 pp. = *Annales du Musée royal du Congo belge*, série in-8°, Sciences zoologiques, 27).
- UHMANN, E., Hispinae des « Musée royal du Congo belge », VI. Teil, 134. Beitrag zur Kenntnis der Hispinae, Coleopt. Chrysomelidae (Musée royal du Congo belge, Tervuren, 1953, 48 pp. = *Annales du Musée royal du Congo belge*, série in-8°, Sciences zoologiques, 28).

#### CONGO BELGE — BELGISCH-KONGO :

Deuxième rapport : juillet 1952 à juin 1953 (Conseil scientifique pour l'Afrique au Sud du Sahara (Bukavu, 1953, 46 pp. = Publication n° 5).

- VAUCEL, M. et JONCHERE, H., La trypanosomiase humaine africaine, rapport d'introduction, 5<sup>mes</sup> congrès internationaux de médecine tropicale et du paludisme, Istanbul, 28 août-4 septembre 1953 (Bureau permanent interafricain de la Tsé-tsé et de la Trypanosomiase, Léopoldville, 1953, 13 pp.).
- Bulletin bibliographique n° 1, première partie (Bureau permanent interafricain de la Tsé-tsé et de la Trypanosomiase, Commission de Coopération technique en Afrique au Sud du Sahara, Léopoldville, 1953, 134 pp.).
- Essais faits avec le « 528 » en Afrique Occidentale, rapport provisoire (Bureau permanent interafricain de la Tsé-tsé et de la Trypanosomiase, Léopoldville, 1954, 5 pp.).

## EUROPE — EUROPA

### ALLEMAGNE — DUISLAND :

- BARTZ, F., San Francisco-Oakland Metropolitan Area, Strukturwandlungen eines US Amerikanischen Grosstadtcomplexes, (Geographisches Institut der Universität, Bonn, 1954, 72 pp. 1 carte, 4 pl. h. t. = *Bonner Geographische Abhandlungen*, 13).
- Deutsches Meteorologisches Jahrbuch, Britische Zone, 1952, Teil I-III (Meteorologisches Amt für Nordwestdeutschland, Hamburg, 1953, 284 pp.).

### FRANCE — FRANKRIJK :

- SALGUES, R., Sur quelques huiles essentielles, nouvelles ou peu connues (extrait de *Materiae Vegetabiles, acta culturae et praeparationis plantarum*, Den Haag, 1953, 1, 2 pp. 139-147. — Don de l'auteur, Brignoles).
- DOULAT, E., Le noyau et l'élément chromosomique chez les Spermatophytes (s. l., s. d. 1944, 222 pp., 9 pl.).

### POLOGNE — POLEN :

- Mały Aylas Polski* (Petit Atlas de Pologne, Bureau Central de Géodésie, Warszawa, 1947, 28 cartes).
- MERGENTLER, J., Recherches sur les étoiles variables RX Aur, SV Per, BB Her, RY Per et VW Cep, Contributions from the Wrocław Astronomical Observatory (*Société des Sciences et des Lettres de Wrocław*, 1948, 44 pp. = *Travaux*, Série B, 4).

- KOWARZYKOWIE, H. et Z., Podstawy Elektrkardiografii (Société des Sciences et des Lettres de Wrocław, Wrocław, 1949, 199 pp. = *Travaux*, Série B, 10).
- ZEGHAUSER-TUSZKIEWICZ, A., O patogenezie i symptomatologii Choroby Graves — Basedowa (Société des Sciences et de Lettres de Wrocław, Wrocław, 1949, 86 pp. = *Travaux*, Série B, 15).
- KOSTYNIUK, M., Szczatki drewna szpilkowych flory pliocenskiej z krosienka (Société des Sciences et des Lettres de Wrocław, 1950, 56 pp. = *Travaux*, Série B, 22).
- JANKOWSKI, W., Jama nosowa i jej stosunek do mozgo i twarzoczaszki (Société des Sciences et des Lettres de Wrocław, 1954, 46 p. = *Travaux*, Série B, 23).
- MERGENTALER, J., On the asymmetry of the Light-Curves of the Eclipsing Variables, contributions from the Wrocław Astronomical Observatory (Société des Sciences et des Lettres de Wrocław, 1950, 34 pp. = *Travaux*, Série B, 26).
- WANKE, A., Czestosc zespolow cech antropologicznych (Société des Sciences et des Lettres de Wrocław, Wrocław, 1952, 56 pp. = *Travaux de la Société des Sciences et des Lettres de Wrocław*, Seria, B, 29).
- MERGENTALER, J., On the correlation between the mean period of classical Cepheids and the mean star spacedensity in the Milky Way, Contributions from the Wrocław Astronomical Observatory (Société des Sciences et des Lettres de Wrocław, 1952, 25 pp. = *Travaux*, Série B, 44).
- KLECZENSKI, AL., ; Leukocytoza w swietle czynnosci krwiotworczych szpiku kostnego (Société des Sciences et des Lettres de Wrocław, Wrocław, 1954, 86 pp. = *Travaux*, Série B, 54).
- KELUS, A., DUBISKI, St., SZUSZKOWSKI, R., Badania nad czestoscia grup krwi ze szczegolnym uwzglednieniem Polski — (= Studies in the blood group frequencies, especially of the population of Poland, The Polish Anthropological Society, Wrocław, 1953, 54 pp. = *Materials and Anthropological Monographs*, 2).

#### AFRIQUE — AFRIKA

- SAVORNIN, J., Notice Géologique sur le Sahara Central, Introduction aux Mémoires de la Mission scientifique du Hoggar (Société d'Histoire Naturelle de l'Afrique du Nord, Alger,

1934, 21 pp. = *Mémoires de la Société d'Histoire Naturelle de l'Afrique du Nord*, 5).

Travaux botaniques dédiés à René MAIRE (Société d'Histoire naturelle de l'Afrique du Nord, Alger, 1949, 314 pp. = *Mémoires Hors-série*, II).

AFRIQUE OCCIDENTALE FRANÇAISE — FRANS  
WEST AFRIKA :

Carte géologique de reconnaissance à l'échelle du 500.000<sup>e</sup> :  
Notice explicative sur la feuille Abidjan-Ouest, n° N. B. 30  
S. O.-O. 2 (Gouvernement général de l'Afrique Occidentale  
Française, Dakar, 1951, 1 carte, 25 pp.).

Notice explicative sur la feuille Bondoukou-Ouest, N° NC. 30  
SE.-O. 19 (Gouvernement général de l'Afrique Occidentale  
Française, Dakar, 1950, 1 carte, 25 pp.).

Notice explicative sur la feuille Bouaké-Est (Gouvernement  
général de l'Afrique Occidentale Française, Dakar, 1943, 1  
carte, 30 pp.).

Notice explicative sur la feuille Bouaké-Ouest (Gouvernement  
général de l'Afrique Occidentale française, Dakar, 1943, 1  
carte, 35 pp.).

Notice explicative sur la feuille Bougouni-Ouest, (N° NC. 29  
NE.-O. 27 (Gouvernement général de l'Afrique Occidentale  
Française, Dakar, 1950, 1 carte, 23 pp.).

Notice explicative sur la feuille Daloa-Est, n° N. B. 29 N.E.-E. 6  
(Gouvernement général de l'Afrique Occidentale Française,  
Dakar, 1950, 1 carte, 35 pp.).

Notice explicative sur la feuille Daloa-Ouest (Gouvernement  
général de l'Afrique Occidentale Française, Dakar-Paris,  
1946, 1 carte, 35 pp.).

Notice explicative sur la feuille Kankan-Est, n° NC. 29 NO.-E.  
26. (Gouvernement général de l'Afrique Occidentale Fran-  
çaise, Dakar, 1950, 1 carte, 28 pp.).

Notice explicative sur la feuille Kankan-Ouest (Gouvernement  
général de l'Afrique Occidentale française, Dakar-Paris, 1946,  
1 carte, 29 pp.).

Notice explicative sur la feuille Kayes-Est, n° ND. 29 NO.-E. 61  
(Gouvernement général de l'Afrique Occidentale française,  
Dakar, 1950, 1 carte, 33 pp.).

Notice explicative sur la feuille Kayes-Ouest, N° ND. 29 NO.-O.

60 (Gouvernement général de l'Afrique Occidentale Française, Dakar, 1950, 1 carte, 3 pp.).

Notice explicative sur la feuille Kindia-Ouest (Gouvernement général de l'Afrique Occidentale Française, Dakar-Paris, 1946, 1 carte, 28 pp.).

Notice explicative sur la feuille Kita-Est, n° ND. 30 S.O.-E. 40 (Gouvernement général de l'Afrique Occidentale Française, Dakar, 1950, 1 carte, 17 pp.).

Notice explicative sur la feuille Kita-Ouest, (Gouvernement général de l'Afrique Occidentale Française, Dakar-Paris, 1946, 1 carte, 29 pp.).

Notice explicative sur la feuille Tenkodoho-Est, N° N. C. 30 NO.-E. 30 (Gouvernement général de l'Afrique Occidentale Française, Dakar, 1950, 1 carte, 31 pp.).

Notice explicative sur la feuille Tankodoho-Ouest, N° N. C. 30 N. E.-O. 31 (Gouvernement général de l'Afrique Occidentale Française, Dakar, 1950, 1 carte, 26 pp.).

Carte géologique de reconnaissance l'échelle du 1.000.000<sup>e</sup> : Notice explicative sur la feuille Dakar-Est (Gouvernement général de l'Afrique Occidentale Française, Dakar, 1943, 1 carte, 34 pp.).

Notice explicative sur la feuille Dakar-Ouest (Gouvernement général de l'Afrique Occidentale Française, Dakar, 1943, 1 carte, 29 pp.).

Rapport annuel 1946 (Gouvernement général de l'Afrique Occidentale Française, Service géologique, Paris, 1948, 61 pp.)

Rapport annuel 1947 (Gouvernement général de l'Afrique Occidentale Française, Service géologique, Dakar, 44 pp.).

Rapport annuel 1948 (Gouvernement général de l'Afrique Occidentale Française, Service géologique, Dakar, 42 pp.).

#### KENYA :

SANSOM, H. W., The Measurement of Evaporation in East Africa (East African Meteorological Department, Nairobi, 1954, 7 pp. = *Technical Memorandum*, 5).

Summary of Meteorological Observations for 1952 — Part. I. Kenya, Part II. Tanganyika Part. III. Uganda, Part IV. Zanibar (East African Meteorological Department, Nairobi, s. d.

AMÉRIQUE — AMERIKA

LA DOMINIQUE — DOMINICA :

Annual Report of the Department of Agriculture and Forestry for the year 1951 (Department of Agriculture and Forestry, La Dominique (Antilles angl.) 1951, 49 p.).

ÉTATS-UNIS D'AMÉRIQUE — VERENIGDE STATEN VAN AMERIKA :

MORLEY, Th., The Genus Mouriri (Melastomaceae), A sectional Revision Based on Anatomy and Morphology (University of California, Berkeley-Los Angeles, 1953, extrait de *University of California Publications in Botany*, 26, pp. 223-312, pl. 22 à 26).

SCAGEL, R. F., Amorphological study of some dorsiventral rhodomelaceae (University of California, Berkeley-Los Angeles, 1953, extrait de *University of California Publications in Botany*, 27, pp. 1-108).

DELACY, A. C., and ENGLISH, Th. S., Variations in Beach Seine Samples caused by Net Length and Repeated Hauls (Reprinted from *Ecology*, 35, n° 1, 1954, pp. 18-20. Don de l'University of Washington, School of Fisheries, = *Contribution*, 4).

TUNG-WHEI-CHOW, D. and ROBINSON, R. J., Polarographic Determination of Nitrite (Reprinted from *Analytical Chemistry*, 25, 1953, pp. 1493-1496. Don de l'University of Washington, = *Publications in Oceanography*, 166).

Publications in Oceanography, contributions Nos 100-165 (1941-1953) (University of Washington, 1954, 5 pp.).

LA TRINITÉ — TRINIDAD :

Administration Report of the Director of Agriculture for the year 1952 (Department of Agriculture, Trinidad, 1953, 65 pp.).

Les remerciements d'usage      Aan de schenkers worden de  
sont adressés aux donateurs.      gebruikelijke dankbetuigingen  
toegezonden.

**Comité secret.**

Les membres titulaires, constitués en comité secret, échangent leurs vues sur le remplacement de M. E. Polinard, membre titulaire décédé.

Ils rediscutent à ce propos le cas d'un membre tombant sous l'application de l'article 11*bis* du statut organique de l'I. R. C. B.

Enfin, ils examinent cinq candidatures régulièrement introduites à deux places de membres associés devenues vacantes.

La séance est levée à 15 h 20.

E. A. Bernard. — Sur les erreurs de divers types de pluviomètres dans les conditions climatologiques du Congo belge.

## I. INTRODUCTION

Dans l'équation du bilan hydrologique, le terme « précipitations » paraît être celui le plus aisément mesurable par l'emploi du pluviomètre. Cet instrument si simple et qui, pour le grand public, résume toute la tâche du climatologue, n'est toutefois pas aussi précis qu'on le croit généralement. Mesurer correctement la pluie qui tombe n'est pas une chose facile, particulièrement en régions équatoriales où les précipitations sont essentiellement orageuses et se produisent par vent violent. De nombreuses recherches ont été faites en régions tempérées sur les erreurs pluviométriques en fonction du modèle instrumental et de ses conditions d'exposition, ainsi que sur les causes de ces erreurs et sur les moyens d'y remédier. Pour les régions équatoriales, de telles études sont beaucoup plus rares. Dans une liste de 58 publications touchant la mesure de la pluie, liste dressée par W. A. GRINSTED et M. A. ADAMS (1948) du « East Meteorological Department », nous ne trouvons que deux études relatives aux erreurs pluviométriques en régions tropicales (Ceylan), (BAMFORD, A. J., 1911, 1930). Nous leur ajoutons une étude de C. L. WICHT (1944) dans les conditions déjà différentes des pluies d'hiver de Jonkershoek dans la Province du Cap.

Au Congo belge, il importait de poursuivre une étude systématique sur les erreurs pluviométriques à l'occasion de la réorganisation du réseau climatologique de l'INÉAC

et du réseau de météorologie synoptique du Gouvernement général, réorganisation commencée dès 1946. A cet effet, des études expérimentales ont été entreprises fin juillet 1948 à Yangambi et se poursuivent toujours à l'heure actuelle. Ce sont les résultats de ces recherches, arrêtées au 31 mars 1954, que nous nous proposons de résumer ici. Nous tirerons en conclusion les enseignements utiles à la réorganisation du réseau pluviométrique congolais.

## II. ERREUR DE BAGUE ET D'AÉRODYNAMISME (modèle, hauteur d'exposition, site).

### a. *Étude comparée des modèles « I. R. M. » (JAUMOTTE) à 1 dm<sup>2</sup> et « Ministère des Colonies » à 4 dm<sup>2</sup>.*

Deux séries de six pluviomètres appartenant respectivement aux modèles « I. R. M. » à 1 dm<sup>2</sup> d'ouverture et « Ministère des Colonies » à 4 dm<sup>2</sup> d'ouverture, ont été installées en juin-juillet 1948 à la station de Yangambi, afin d'établir l'erreur sur les précipitations recueillies, en fonction de la hauteur d'installation de la bague pluviométrique au-dessus du sol et de la forme du pluviomètre.

Ces erreurs résultent du fait que les trajectoires des filets d'air entraînant les gouttes de pluie sont déviées par l'obstacle pluviométrique. Par l'effet de cette déviation, certaines gouttes appartenant primitivement à la gerbe cylindrique ayant comme section horizontale l'ouverture pluviométrique sont perdues pour le pluviomètre. La quantité d'eau ainsi éliminée augmente avec la vitesse du vent, c'est-à-dire avec la hauteur de la bague au-dessus du niveau du sol. En effet, on sait que la vitesse du vent décroît avec la hauteur selon une loi logarithmique. Dans une expérience réalisée à Yangambi du 27 août au 9 novembre 1949, les vitesses moyennes du

vent, observées entre 0 et 12 m ont été (Rapport annuel INÉAC, 1949, p. 57) :

|                         |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
|-------------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| Hauteur en m :          | 0,10 | 0,50 | 1    | 1,5  | 2    | 2,5  | 3    | 4    | 6    | 8    | 10   | 12   |
| Vitesse du vent en km/h | 2,44 | 3,07 | 3,69 | 4,01 | 4,25 | 4,44 | 4,50 | 4,59 | 5,17 | 5,29 | 5,55 | 5,91 |

La variation de la vitesse du vent avec la hauteur au cours des tornades orageuses apportant les précipitations est plus marquée encore que cette variation moyenne citée ci-dessus. Citons à titre d'exemple le cas de la tornade du 15 septembre 1949 entre 12 h et 13 h. La lecture d'anémomètres à coupes, avant et après le passage du grain, a fourni les résultats suivants pour la vitesse moyenne du vent à divers niveaux :

|                         |      |       |       |       |       |       |       |
|-------------------------|------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Hauteur en m :          | 0,10 | 0,50  | 1     | 1,50  | 2     | 2,5   | 3     |
| Vitesse du vent en km/m | 3,56 | 10,77 | 12,43 | 13,47 | 14,45 | 14,91 | 15,45 |

L'erreur d'aérodynamisme varie évidemment avec la forme du pluviomètre faisant obstacle au vent. Dans l'expérience qui nous occupe, quatre modèles de pluviomètres ont été étudiés.

Les six pluviomètres de chaque série « I. R. M. » ou « Ministères des Colonies » ont été installés en un endroit dégagé, de telle manière que le plan de l'ouverture réceptrice soit respectivement de 0, 5, 30, 65, 100 et 150 cm au-dessus du tapis très uniforme et bien plan d'une pelouse de *Desmodium*, sorte de petit trèfle formant un gazon dru et bien régulier.

Les pluviomètres des niveaux 0 et 5 cm occupent le centre d'une excavation circulaire cimentée de 1 m de diamètre. On évite ainsi tout rebondissement des gouttes de pluie du bord extérieur dans le pluviomètre. Deux pluviomètres « HELLMANN » supplémentaires de 2 dm<sup>2</sup> et 1 dm<sup>2</sup> d'ouverture ont été installés à 1 m de hauteur. On a pu comparer ainsi les quatre principaux types de pluviomètres utilisés à l'heure actuelle au Congo belge.

Le modèle de pluviomètre I. R. M. (Institut Royal Météorologique), créé en 1922 par JAUMOTTE, a été adopté dans le nouveau réseau du Service météorologique du Gouvernement général à Léopoldville. Ce pluviomètre a été décrit et étudié en soufflerie aérodynamique par DESCAMPS (1939). Rappelons que « ce pluviomètre est en zinc, de forme conique. La base du cône est surmontée d'une bague tronconique en laiton à arrête vive qui définit exactement la surface de réception égale à  $1 \text{ dm}^2$  ». Cette bague était destinée à réduire l'erreur déficitaire de contour due au rejaillissement des gouttes s'écrasant sur le bord interne du cône récepteur et dont une partie serait perdue pour le pluviomètre.

Le modèle de pluviomètre « Ministère des Colonies » que nous désignerons en abrégé par « Minicol » est celui adopté dans le vieux réseau pluviométrique congolais du Service de l'Agriculture, mais modifié légèrement par la Division de Climatologie de l'INÉAC. Il est formé d'un corps cylindrique de zinc, de 53 cm de hauteur et 23,2 cm de diamètre surmonté d'un entonnoir récepteur. Celui-ci comporte un bord cylindrique supérieur de 6,5 cm de hauteur. Une visière tronconique termine ce cylindre à sa base et empêche l'eau de pénétrer dans le corps cylindrique de l'instrument. La bague de laiton délimite une ouverture de  $4 \text{ dm}^2$ .

Le modèle HELLMANN à  $1 \text{ dm}^2$  est formé d'un corps cylindrique supérieur avec l'entonnoir récepteur de 11,3 cm de diamètre et 18 cm de hauteur. Ce cylindre supérieur s'emboîte dans un corps cylindrique de 11 cm de diamètre et de 12 cm de hauteur. Ce type de pluviomètre est largement répandu dans les zones cotonnières nord et sud du Congo belge.

Le pluviomètre HELLMANN à  $2 \text{ dm}^2$  a le même aspect cylindrique que le modèle précédent avec des dimensions de 18,5 cm de diamètre et de 44,5 cm de hauteur.

Le tableau I ci-après résume les résultats obtenus pour

la durée entière de l'expérience, du 26 juillet 1948 au 31 décembre 1950.

TABLEAU I. — Précipitations en mm recueillies à Yangambi (total de 312 pluies) par divers types de pluviomètre, selon la hauteur de la bague réceptrice au-dessus du sol (du 26 juillet 1948 au 13 décembre 1950).

| Modèle de pluviomètre | Pluviomètres principaux<br>(Séries « I. R. M. » 1 dm <sup>2</sup><br>et « Minicol. » 4 dm <sup>2</sup> ) |   |    |    |     |     | Pluviomètres<br>« HELLEMANN »<br>1 dm <sup>2</sup> 2 dm <sup>2</sup> |     |
|-----------------------|--|---|----|----|-----|-----|--|-----|
|                       | 0  | 5 | 30 | 65 | 100 | 150 | 100  | 100 |

1. — Précipitations recueillies en mm.

|                  |        |        |        |        |        |        |        |        |
|------------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| a) Type I. R.M.  | 3927,3 | 3838,8 | 3709,5 | 3684,7 | 3699,5 | 3679,3 | —      | —      |
| b) Type Minicol. | 3834,6 | 3668,7 | 3659,8 | 3621,6 | 3635,8 | 3611,0 | —      | —      |
| c) Type HELLMANN | —      | —      | —      | —      | —      | —      | 3684,2 | 3639,2 |

2. — Différences (a) — (b)

|             |      |       |      |      |      |      |   |   |
|-------------|------|-------|------|------|------|------|---|---|
| En mm       | 92,7 | 170,1 | 49,7 | 63,1 | 63,7 | 68,3 | — | — |
| En % de (a) | 2,4  | 4,4   | 1,3  | 1,7  | 1,7  | 1,9  | — | — |

3. — Différences rapportées au pluviomètre homologue de niveau 0 dans les séries a et b.

|          |     |        |        |        |        |        |   |   |
|----------|-----|--------|--------|--------|--------|--------|---|---|
| En mm a) | 0,0 | -88,5  | -217,8 | -242,6 | -227,8 | -248,0 | — | — |
| b)       | 0,0 | -165,9 | -174,8 | -213,0 | -198,8 | -223,6 | — | — |
| En % a)  | 0,0 | -2,3   | -5,5   | -6,2   | -5,8   | -6,3   | — | — |
| b)       | 0,0 | -4,3   | -4,5   | -5,5   | -5,2   | -5,8   | — | — |

4. — Différences rapportées au pluviomètre IRM de niveau 0

|          |       |        |        |        |        |        |        |        |
|----------|-------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| En mm a) | 0,0   | -88,5  | -217,8 | -242,6 | -227,8 | -248,0 | —      | —      |
| b)       | -92,7 | -258,6 | -267,5 | -305,7 | -291,5 | -316,3 | —      | —      |
| c)       | —     | —      | —      | —      | —      | —      | -243,1 | -288,1 |
| En % a)  | 0,0   | -2,3   | -5,5   | -6,2   | -5,8   | -6,3   | —      | —      |
| b)       | -2,4  | -6,6   | -6,8   | -7,8   | -7,4   | -8,1   | —      | —      |
| c)       | —     | —      | —      | —      | —      | —      | -6,2   | -7,3   |

Les différences bientôt constatées entre les pluviomètres I. R. M. et Minicol. dont les bagues étaient toutes deux au niveau zéro ont nécessité l'installation en mai 1949 d'un pluviomètre-étalon de 1 m<sup>2</sup> de section construit

sur place en tôle de 3 mm. La circonférence bisautée de ce pluviomètre occupe, dans le plan de niveau zéro, le centre d'une excavation cylindrique maçonnée de 2,65 m de diamètre. Il a été vérifié que le rebondissement des gouttes de pluie est impossible, au cours des averses, du bord cimenté de cette excavation dans le pluviomètre. La distance de 85 cm, en symétrie radiale, entre la circonférence du pluviomètre central et la circonférence interne de l'excavation est en effet largement suffisante pour éviter le rejaillissement.

Le principal intérêt de ce pluviomètre-étalon est que son erreur de contour tombe à un pourcentage très faible de la pluie recueillie. Cette erreur relative est en effet proportionnelle à  $2 \pi R / \pi R^2$  donc à  $2/R$ . Elle est ainsi 10 fois plus petite en pourcent pour un pluviomètre de 1 m<sup>2</sup> ayant une ouverture cent fois plus grande que le pluviomètre de 1 dm<sup>2</sup>. Signalons que l'ouverture réceptrice de ce pluviomètre-étalon est délimitée par le biseau très aigu réalisé dans la tôle de 3 mm et qui termine une surface cylindrique de 20 cm de hauteur surmontant le cône collecteur.

Il importait beaucoup que l'effet de contour du pluviomètre-étalon soit négligeable car la différence de + 2,4 % observée au tableau I entre les pluviomètres I. R. M. et Minicol. de niveau zéro ne peut être due qu'à un effet de bague. Celle-ci est plus large et forme un angle plus petit avec l'horizontale dans le modèle I. R. M. La bague provoque ainsi plus de rejaillissement dans l'ouverture pluviométrique par les gouttes de pluie écrasées sur elle et sollicitées par la pression du vent à remonter la pente de la bague et à tomber dans l'ouverture.

Les résultats globaux de la comparaison des types Minicol. et I. R. M. de niveau zéro au pluviomètre-étalon, pour la période complète du 9 mai 1949 au 31 décembre 1950, sont donnés au tableau II.

TABLEAU II. — *Comparaison entre les pluviomètres I. R. M., Minicol. et le pluviomètre-étalon de 1 m<sup>2</sup> d'ouverture (ouvertures dans le plan de niveau zéro).*

| Type de pluviomètre :          | « Étalon » | « Minicol. » | « I. R. M. » |
|--------------------------------|------------|--------------|--------------|
| mm recueillis                  | 2.545,6    | 2.607,2      | 2.666,8      |
| différence avec l'étalon en mm | —          | +61,6        | +121,2       |
| différence avec l'étalon en %  | —          | +2,4         | +4,8         |

Ces données comparatives permettent de ramener les résultats du tableau I au pluviomètre-étalon. Les pourcents ainsi obtenus sont donnés au tableau III.

TABLEAU III. — *Écarts en pourcents entre divers types de pluviomètre et le pluviomètre-étalon de 1 m<sup>2</sup> et au niveau zéro, selon la hauteur de la bague au-dessus du sol.*

| Type de pluviomètre                    | Hauteur de l'ouverture au-dessus du sol en cm. |      |      |      |      |      |
|--|--|------|------|------|------|------|
|  | 0  | 5    | 30   | 65   | 100  | 150  |
| a. Type « I. R. M. »                   | +4,8   | +2,5 | -1,0 | -1,6 | -1,3 | -1,8 |
| b. Type « Minicol. »                   | +2,4   | -2,1 | -2,3 | -3,3 | -3,0 | -3,6 |
| c. Type « HELLMANN » 1 dm <sup>2</sup> | —  | —    | —    | —    | -1,7 | —    |
| d. Type « HELLMANN » 2 dm <sup>2</sup> | —  | —    | —    | —    | -2,9 | —    |

Les résultats des tableaux I, II, III appellent les commentaires suivants :

1° Pour un même modèle de pluviomètre placé à des hauteurs variables, les pourcentages d'erreur déficitaire entre 0 et 1,50 m au-dessus du sol, varient de 0,0 à 6,3 % pour le modèle « I. R. M. » et de 0 à 5,8 % pour le modèle « Minicol » (Tableau I, 3).

2° Pour une même hauteur d'installation de la bague, les différences en pourcent entre les deux modèles « I. R. M. » et « Minicol. » varient de 1,7 à 4,4 entre les niveaux 0 et 1,50 m, l'écart maximum de 4,4 % étant

relatif à une hauteur de la bague de 5 cm au-dessus du niveau du sol (Tableau I, 2).

3° L'effet excédentaire de bague du pluviomètre « I. R. M. » est de 4,8 %. Cet effet important est dû à la largeur notable (22 mm) et à l'inclinaison forte de la bague de ce pluviomètre sur l'horizontale (37 degrés). De nombreuses gouttes de pluie s'écrasent sur cette bague au cours des averses et une partie appréciable de l'eau remonte ou rejait dans le pluviomètre. L'effet de bague du pluviomètre « Minicol. » est deux fois moindre à cause de la largeur plus faible (11 mm) de la bague, de son inclinaison plus faible sur l'horizontale (61 degrés) et de l'ouverture quatre fois grande de ce pluviomètre (Tableau III).

4° Les normes d'installation du pluviomètre I. R. M. imposant à la bague une hauteur de 30 cm au-dessus du niveau du sol, l'erreur moyenne du pluviomètre dans son réseau n'est déficitaire de — 1 %. L'effet excédentaire de bague, notable au niveau zéro est presque compensé à cette hauteur de 30 cm par l'effet déficitaire aérodynamique. La compensation serait parfaite et l'erreur nulle pour une hauteur de bague de 23 cm au-dessus du niveau du sol.

5° Le pluviomètre « Minicol. » du réseau INÉAC, ayant sa bague à une hauteur de 65 cm au-dessus du sol, dans ses conditions normales d'installation, son erreur déficitaire moyenne est de — 3,3 %. L'effet déficitaire d'aérodynamisme l'emporte donc déjà nettement à cette hauteur sur l'effet excédentaire de bague, plus faible pour ce modèle. Le niveau de compensation parfaite et d'erreur nulle serait ici de 2,5 cm au-dessus du niveau zéro.

Il importe de remarquer que ces résultats sont relatifs au site choisi pour l'expérience entreprise à Yangambi.

La pelouse de *Desmodium* utilisée s'étend devant un bâtiment de 26 m de longueur et dont la crête du toit est à 6,80 m de hauteur. Les deux rangées pluviométriques étaient à une distance de 23 m de ce bâtiment. Le dégagement était toutefois quasi parfait en direction d'arrivée N-NE de la plupart des tornades orageuses. Il n'en reste pas moins vrai que les résultats trouvés dépendent en valeur absolue des conditions de site, très variables dans le réseau, et ne sont donc pas applicables directement à un pluviomètre particulier du réseau.

b. *Étude comparée du nouveau modèle « I. R. M. » (PONCELET) à 1 dm<sup>2</sup> et du modèle « Minicol. ».*

Entre 1948 et 1950, un type de pluviomètre I. R. M. amélioré fut étudié et mis au point par L. PONCELET, chef du Service climatologique de l'I. R. M. En 1951, le réseau pluviométrique belge se voyait doté de ce nouveau modèle. On en trouvera une description complète avec une étude comparée de ses performances dans PONCELET (1952). Les caractéristiques principales de ce modèle sont les suivantes. Le vase récepteur en laiton a une forme voisine de celle d'une sphère, décalottée selon un petit cercle à un peu plus d'une demi-hauteur de rayon pour ménager l'ouverture réceptrice de 1 dm<sup>2</sup>. Le bord de cette ouverture fait ainsi un angle de 30° avec la verticale. Ce modèle ne comporte pas de bague. Il offre divers avantages importants (cf. PONCELET, p. 54) et son fini de fabrication est remarquable. Signalons aussi que ce modèle s'avère d'une résistance parfaite à la corrosion en régions équatoriales. Il est utilisé avec cône protecteur de Nipher dont l'efficacité pour réduire l'erreur d'aérodynamisme est universellement reconnue et qui est recommandé par l'Organisation Météorologique Mondiale. Dans le cas présent, le cône protecteur d'aluminium a son bord supérieur incliné de 5° vers l'intérieur. Ce bord est large de 10 cm, son diamètre extérieur étant de 90 cm. Le bord est ondulé pour réduire

le rejaillissement. L'efficacité de ce modèle de cône a été éprouvée au tunnel aérodynamique. Un vent de 35 m/sec était réduit à 7 m/sec au niveau de l'ouverture pluviométrique.

En 1952, Monsieur PONCELET eut l'obligeance de nous faire parvenir à Yangambi plusieurs exemplaires complets de ce nouveau pluviomètre afin d'en faire tester les performances dans les conditions climatiques équatoriales.

L'expérience a débuté en juillet 1952 sur la même pelouse, mais à un emplacement un peu différent de celui toujours occupé par les socles ayant servi à la première expérience. Deux pluviomètres I. R. M. du nouveau modèle, que nous désignerons par I. R. M. II, ont été installés avec leur cône de Nipher, les ouvertures étant placées respectivement à 55 cm et à 1,25 m de hauteur au-dessus de la pelouse. Les pluies recueillies étaient comparées à celles reçues par le pluviomètre-étalon de 1 m<sup>2</sup>. Les résultats sont donnés au tableau IV pour une période s'étendant du 1<sup>er</sup> juillet au 31 décembre 1952 et pour 109 pluies.

TABLEAU IV. — *Comparaison des pluviomètres I. R. M. II au pluviomètre-étalon.*

| Type de pluviomètre                       | mm<br>recueillis | Écarts à<br>l'étalon en % |
|---|------------------|---------------------------|
| Pluviomètre IRM II, à 55 cm de hauteur :  | 1056,1           | +6,45                     |
| Pluviomètre IRM II, à 125 cm de hauteur : | 1055,1           | +6,35                     |
| Pluviomètre-étalon :                      | 992,1            | —                         |

Ces résultats montrent l'efficacité du cône de Nipher en conditions équatoriales, les deux pluviomètres donnant les mêmes résultats pour des hauteurs nettement différentes. Ils sont par contre fortement excédentaires de 6,4 % par rapport au pluviomètre-étalon. Il restait donc à étudier cette erreur due vraisemblablement au fait que des gouttes de pluie écrasées sur le cône protecteur re-

jaillissent en partie dans le pluviomètre. Il convenait aussi d'étudier les performances du pluviomètre « Minicol. » du réseau INÉAC lorsqu'on le protège avec le cône de Nipher du pluviomètre PONCELET. A ces fins, une nouvelle expérience a été commencée en février 1953.

Les deux pluviomètres I. R. M. II ont été maintenus, mais en modifiant légèrement comme suit la hauteur de l'ouverture par rapport au sol :

1° Pluviomètre I. R. M. II à 55 cm de hauteur ; en visée horizontale, le plan de l'ouverture pluviométrique dépasse de 1,5 cm le plan terminal supérieur du cône protecteur.

2° Pluviomètre I. R. M. II à 1,25 m ; en visée horizontale, les deux plans définis ci-dessus sont confondus.

S'il y a rejaillissement, on doit en effet recueillir légèrement moins de pluie dans le pluviomètre à 55 cm, ce rejaillissement étant diminué par une surélévation du pluviomètre par rapport au cône.

L'expérience a été en outre complétée par deux pluviomètres « Minicol. », l'un obéissant aux conditions normales d'installation, l'autre étant muni du cône protecteur et le plan supérieur de celui-ci se confondant en visée horizontale avec le plan de l'ouverture réceptrice.

Les résultats de l'expérience sont donnés au tableau V pour une période s'étendant du 1<sup>er</sup> février 1953 au 31 mars 1954 (210 pluies mesurées).

TABLEAU V. — *Résultats de l'étude sur le rejaillissement du cône vers l'ouverture des pluviomètres I. R. M. II et Minicol.*

| Type de pluviomètre                     | mm<br>recueillis | Écarts à<br>l'étalon en % |
|---|------------------|---------------------------|
| Pluviomètre I.R.M. II à 55 cm.          | 2080,8           | +3,2                      |
| Pluviomètre I.R.M. II à 125 cm.         | 2094,2           | +3,9                      |
| Pluviomètre Minicol. avec cône à 65 cm. | 2049,2           | +1,6                      |
| Pluviomètre Minicol. sans cône à 65 cm. | 2017,7           | +0,1                      |
| Pluviomètre-étalon.                     | 2016,4           | 0,0                       |

Ces résultats confirment les suppositions faites en vue de mettre en évidence l'existence du rejaillissement. L'effet est d'environ 4 % pour le pluviomètre I. R. M. II à 1,25 m. L'erreur de rejaillissement du pluviomètre I. R. M. II a d'ailleurs été examinée par PONCELET (1952, p. 57) qui l'avait estimée pour Uccle à 1 % seulement. On voit que, dans les conditions de pluies d'orages à vent violent qui sont la règle à Yangambi, cette erreur est plus notable. Pour le type « Minicol. » l'effet est moins élevé.

Le fait que le pluviomètre « Minicol. » sans cône protecteur a joui d'une erreur pratiquement nulle dans cette nouvelle expérience peut paraître contradictoire avec le tableau III qui lui confère une erreur de — 3,3 %.

Nous ne voyons pas d'autre explication à ce fait que le changement appréciable de site subi par ce pluviomètre dans la nouvelle expérience. Dans les études accomplies de 1948 à 1950, le pluviomètre « Minicol. » standard était placé au début de la partie ouest de la pelouse, dans des conditions de dégagement parfait pour le secteur N-NE d'arrivée des tornades.

Depuis ces expériences, le bâtiment voisin bordant la pelouse au Nord a été prolongé de 6 m à son extrémité ouest par une tour destinée à l'étude du rayonnement, de 8 m de hauteur. En outre, l'emplacement du pluviomètre sur la pelouse a été déplacé de 10 m vers l'Est. Il en résulte que le pluviomètre « Minicol. » de 65 cm jouit dans cette nouvelle expérience d'un emplacement bien protégé des vents N-NE soufflant au cours de la plupart des pluies d'orage. Il est donc normal de voir son erreur d'aérodynamisme passer de — 3,3 % à + 0,1.

Ces remarques montrent l'importance de l'erreur de site à laquelle nous avons déjà fait allusion.

### III. AUTRES ERREURS SUR LA MESURE DES PLUIES AU CONGO BELGE.

De nombreuses autres erreurs relatives aux mesures pluviométriques peuvent se surajouter à l'erreur d'aérodynamisme résultant du modèle, de la hauteur d'exposition et du site. Nous citerons notamment l'erreur de non-horizontalité de l'ouverture réceptrice, celle due à la modification de la surface par déformation, l'erreur de graduation d'éprouvette et enfin, l'erreur déficitaire par mouillage et évaporation que nous allons examiner plus en détail.

Certains auteurs semblent craindre une erreur d'évaporation notable, particulièrement en régions tropicales. Afin d'établir l'importance de cette erreur à Yangambi, nous avons installé sur pelouse durant trois mois, de mai à juillet 1953, trois pluviomètres « Minicol. » avec 10 mm d'eau dans l'éprouvette qui, dans ce modèle, reste en permanence au centre de la cruche placée dans le corps cylindrique du pluviomètre. Les ménisques étaient lus deux fois par jour à 6 h et à 18 h. Les résultats ont montré que la perte d'eau par évaporation en 24 h est négligeable. Au début de deux à trois jours, même dans les conditions de forte surchauffe de l'intérieur du pluviomètre exposé à la pleine insolation, l'évaporation ne représente en moyenne qu'un dixième de millimètre.

Cette faible valeur était *a priori* attendue. En effet, l'évaporation de l'eau contenue dans le pluviomètre s'effectue en air parfaitement calme et en conditions d'humidité très voisines du point de saturation. Dès que l'air intérieur a été rapidement saturé par les premières molécules d'eau évaporées, l'évaporation ne peut plus se poursuivre que très lentement, car elle n'est entretenue que par la diffusion de la vapeur d'eau vers l'extérieur à travers les petits trous ménagés pour l'écoulement de l'eau au fond de l'entonnoir pluviométrique.

L'erreur d'évaporation devient par contre très notable lorsque l'éprouvette restée dans le pluviomètre est remplie par la pluie jusqu'à déborder et que le bord de l'éprouvette étant proche de la surface interne de cône, une nappe d'eau libre affleure à l'air libre au fond du cône récepteur.

C'est le cas pour le modèle HELLMANN de 1 dm<sup>2</sup>. Pour des pluies supérieures à 27 mm, une nappe circulaire d'eau commence à apparaître dans le fond de l'entonnoir et, s'agrandissant avec le cône, elle atteint 4 cm de diamètre lorsque l'éprouvette est parfaitement remplie, soit pour une pluie de 35,6 mm. Cette nappe d'eau affleure au fond du cône de zinc surchauffé durant la journée par l'irradiation directe. Lorsque l'observateur ne lit pas de suite la pluie tombée et surtout s'il ne peut l'observer qu'après plusieurs jours — ce cas est encore assez fréquent dans le réseau pluviométrique congolais — l'erreur d'évaporation peut atteindre plusieurs millimètres. L'évaporation de toute l'eau pouvant subsister dans le cône de l'HELLMANN, soit environ 14,5 cm<sup>3</sup> d'eau pour une pluie de 35,6 mm, représente déjà une erreur de 1,45 mm. En outre, ce modèle de pluviomètre a le grave défaut que son fond en zinc trop mince se dessoude facilement du corps cylindre inférieur. L'éprouvette repose sur ce fond qui collecte l'eau de trop plein. Celle-ci est donc définitivement perdue lorsque le fond est percé. Or, les agents très actifs de la corrosion en régions congolaises provoquent encore facilement ce grave dommage. De plus, ce modèle de pluviomètre est facilement déformé. Pour toutes ces raisons, il y a grande probabilité que les zones cotonnières Nord et Sud où ce modèle est spécialement répandu jouissent de pluies plus élevées que celles indiquées par les relevés analysés.

Le même défaut de nappe d'eau évaporant à l'air libre et réalisée lorsque l'éprouvette déborde, a été observé pour le pluviomètre « Minicol. » ancien modèle.

C'est pourquoi nous avons modifié ce type de pluviomètre pour son emploi dans le nouveau réseau climatologique de l'INÉAC en relevant le corps cylindrique de quelques centimètres en hauteur et en diminuant d'autre part la hauteur de l'éprouvette collectrice.

L'erreur de mouillage a été aussi examinée et s'est avérée faible. Il s'agit ici de l'eau tombée dans l'ouverture pluviométrique qui reste adhérente par mouillage aux parois externes ou internes du pluviomètre et de l'éprouvette, après la pluie ou au cours de la lecture.

Cette erreur a été mesurée pour le pluviomètre-étalon de 1 m<sup>2</sup>. Elle est en moyenne de 0,05 mm par pluie soit, pour les 2016 mm recueillis en 210 pluies (tableau V), de 10,5 mm, ce qui ne représente que 0,52 % du total.

#### IV. CONCLUSIONS.

Ces expériences et leurs résultats analysés ci-dessus nous apportent d'utiles enseignements pour la réorganisation souhaitée du réseau pluviométrique congolais. Nous avons déjà montré dans ce même Bulletin (BERNARD, 1951) l'importance de doter le Congo belge d'un réseau pluviométrique moderne, au moins deux fois plus dense que l'actuel, aux stations mieux distribuées en fonction : 1) de l'occupation européenne, 2) de l'importance des problèmes et 3) du relief, ces stations étant strictement standardisées sur la base de recherches expérimentales préliminaires.

La qualité du réseau pluviométrique existant n'est plus en rapport avec le progrès scientifique et pratique exigé actuellement au Congo belge dans les domaines de l'hydrologie, de la climatologie, de l'agriculture, etc..., domaines tous liés directement au problème de l'eau.

Les pourcentages d'erreur relativement faibles de nos tableaux ne doivent pas nous incliner à un optimisme

serein. Dans les conditions climatiques congolaises, considérant l'hétérogénéité observée des instruments, des conditions d'installation, de site, de qualité des observations, il n'est pas exclu de craindre que l'erreur d'un pluviomètre particulier du réseau s'élève à — 10 ou — 15 %. Si la hauteur normale des pluies annuelles, indiquée par un tel pluviomètre, est par exemple de 1.500 mm, la hauteur véritable ayant un sens réel, soit hydrologique, soit agronomique, pourra être 1.700 mm ! Les conséquences tirées pourront être fort différentes.

Le type de pluviomètre à adopter pour ce nouveau réseau devrait être de toute façon muni d'un cône protecteur de Nipher afin d'éliminer l'erreur d'aérodynamisme, inévitable et très variable autrement. En effet, les emplacements sont souvent imposés et le degré d'influence du site dans l'erreur d'aérodynamisme est très changeante non seulement d'une station à l'autre, mais aussi en un même endroit avec la direction de la pluie. Celle-ci se produit par ailleurs toujours accompagnée de vent violent.

Le choix du modèle de cône protecteur se guidera sur des considérations de simplicité, de robustesse et d'efficacité. Il convient en effet que ce cône soit aisément réalisable avec des matériaux courants. On veillera à sa solidité pour assurer son indéformabilité, ainsi qu'à la rigidité de ses conditions d'installation par rapport au pluviomètre. Enfin, sa forme et ses dimensions éviteront au mieux l'erreur de rejaillissement pour une efficacité maximum contre l'erreur d'aérodynamisme.

Le modèle de pluviomètre adopté devrait aussi, là où il y a lieu, pouvoir fonctionner comme totalisateur et accumuler 300 à 400 mm de pluie. C'est dire que des précautions particulières sont à prendre dans l'étude du modèle contre les pertes par évaporation.

Le problème complexe de la mesure correcte de la pluie hydrologiquement significative dans les régions monta-

gneuses de l'Est est aussi à étudier. Une abondante littérature existe déjà sur cette question.

Enfin, à l'échelle supérieure de la pluviométrie africaine, des études comparées des divers types de pluviomètres utilisés dans le réseau congolais et dans les réseaux des pays limitrophes devraient être accomplies, afin d'aboutir à une meilleure connaissance du problème capital du cycle de l'eau au-dessus de l'Afrique.

\* \* \*

Il nous reste en terminant à remplir l'agréable devoir de remercier nos collaborateurs, MM. VAN MINNENBRUGGEN et CRABBE, qui nous ont apporté leur aide dévouée, dans ces recherches, s'attachant avec soin aussi bien à la réalisation des installations expérimentales qu'au recueil des observations et à l'élaboration des tableaux de synthèse.

Yangambi, 2 mai 1954.

#### BIBLIOGRAPHIE

- BERNARD, E. A. L'étude rationnelle de l'Hydrologie congolaise : ses riches promesses de progrès scientifique et économique (*Bull. Inst. Roy. Col. Belge*, XXII, fasc. 3, 1951, pp. 675-691).
- DESCAMPS, A., Étude aérodynamique de pluviomètres (*Inst. Roy. Météo., Miscell.*, Fasc. IV, 1939, 16 pp. 3 pl.).
- GRINSTED, W. A. et ADAMS, M. A., A note on the measurement of rainfall with special reference to East African conditions (*East African Meteor. Departs., Memoirs*, vol. II, n° 2, 1948, 13 pp.).
- PONCELET, L., La nouvelle installation pluviométrique de l'Institut Royal Météorologique de Belgique (Union Géodésique et Géophysique Internationale, Assoc. Intern. d'Hydrologie Scientifique, Bruxelles, 1951, III, pp. 52-58).
- WICHT, C. L., Improvements in the gauging of rainfall (*Journ. South Afr. Forestry Assoc.*, n° 12, décembre 1944, pp. 19-28).
- Rapport annuel pour l'exercice 1949 (Publ. INÉAC, hors série, 1950, 306 pp. Bruxelles).

SECTION DES SCIENCES TECHNIQUES

---

SECTIE VOOR TECHNISCHE WETENSCHAPPEN

## Séance du 26 mars 1954.

La séance est ouverte à 14 h 30 sous la présidence de M. G. *Moulaert*, vice-directeur.

Sont en outre présents : MM. K. Bollengier, E.-J. Devroey, G. Gillon, F. Olsen, membres titulaires ; MM. E. Comhaire, I. de Magnée, A. Gilliard, M. Legraye, E. Mertens, P. Sporcq, R. Vanderlinden, membres associés ; MM. P. Geulette, J. Van der Straeten, membres correspondants.

Excusés : MM. R. Anthoine, H. Barzin, J. Beelaerts, F. Campus, R. Cambier, C. Camus, R. Deguent, R. du Trieu de Terdonck, P. Fontainas, J. Lamoën, P. Lancsweert, P. Van Deuren.

### Recherches géophysiques dans la cuvette centrale congolaise.

M. G. *Moulaert* présente un travail de M. M. EVRARD au sujet des travaux de prospection par la méthode sismique entrepris dans la cuvette congolaise (voir p. 919).

### Sur la résistance à l'avancement des barges en poussée.

M. R. *Vanderlinden* commente la note qu'il a rédigée sur ce sujet (voir p. 933).

### Les travaux de défense de la presqu'île de Banana.

M. K. *Bollengier* donne lecture de sa note intitulée comme ci-dessus (voir p. 957).

### Zitting van 26 Maart 1954.

De zitting wordt geopend te 14 u 30 onder voorzitterschap van de H. G. *Moulaert*, vice-directeur.

Zijn insgelijks aanwezig : de HH. K. Bolengier, E.-J. Devroey, G. Gillon, F. Olsen, titelvoerende leden ; de HH. E. Comhaire, I. de Magnée, A. Gilliard, M. Legraye, E. Mertens, P. Sporcq, R. Vanderlinden, buitengewone leden ; de HH. P. Geulette, J. Van der Straeten, corresponderende leden.

Verontschuldigd : de HH. R. Anthoine, H. Barzin, J. Beelaerts, F. Campus, R. Cambier, C. Camus, R. Deguent, R. du Trieu de Terdonck, P. Fontainas, J. Lamoen, P. Lancsweert, P. Van Deuren.

#### Geophysische opzoekingen in de centrale Kongolese kuip.

De H. G. *Moulaert* stelt een werk voor van de H. M. EVRARD betreffende de prospectiewerken door de seismische methode in de Kongolese kuip (zie blz. 919).

#### Over de weerstand bij de voortgang der schepen onder druk.

De H. R. *Vanderlinden* commenteert de nota die hij over dit onderwerp opstelde (zie blz. 933).

#### De verdedigingswerken van het schiereiland van Banana.

De H. K. *Bollengier* geeft lezing van zijn nota, getiteld zoals hierboven (zie blz. 957).

Concours annuel 1956.

La Section décide de consacrer une question au graben africain dans la région des Grands Lacs et une autre à l'utilisation des silicates congolais.

MM. *I. de Magnée* et *M. Legrave* d'une part et MM. *I. de Magnée* et *P. Sporcq* d'autre part, sont désignés pour rédiger le texte desdites questions.

Hommage d'ouvrages.

Aangeboden werken.

Les ouvrages suivants ont été reçus de la part de : De volgende werken werden ontvangen vanwege :

VAN DER STRAETEN, J., Considérations sur les cotes des différents nivellements du Katanga (Comité Spécial du Katanga, Bruxelles, 1953, 39 p. = *Publications du Comité Spécial du Katanga, Série A — Géographie, Géologie et Mines*, 2) <sup>(1)</sup>.

VAN DER STRAETEN, J., Triangulation du Katanga, les bases géodésiques, Mesure de la base de Gandajika (Comité Spécial du Katanga, Bruxelles, 1950, = *Publications relatives à la Carte du Katanga*, Op. 16).

Le Secrétaire général dépose sur le bureau les ouvrages suivants : De Secretaris-Generaal legt de volgende werken neer op het bureau :

BELGIQUE ~ BELGIË :

VAN DE STEEN, J., Contribution à la géologie du socle katangais. Le rétro-métamorphisme d'amphibolites des formations de la Lukumbi au contact de pegmatites kibariennes (Comité Spécial du Katanga, Bruxelles, 1953 1954, *Publications du Comité Spécial du Katanga, Série A, Géographie, Géologie et Mines*, 4).

NICOLET, M., Action du rayonnement solaire dans la haute

---

<sup>(1)</sup> M. J. VAN DER STRAETEN est ancien directeur en Afrique du Service géographique et géologique du C. S. K.

**Jaarlijkse wedstrijd 1956.**

De Sectie besluit een vraag te wijden aan de Afrikaanse graben in de streek der Grote Meren en een andere aan het gebruik van de Kongolese kiezelzuurstoffen.

De HH. *I. de Magnée* en *M. Legraye* enerzijds, en de HH. *I. de Magnée* en *P. Sporcq* anderzijds, worden aangeduid om de tekst van deze vragen op te stellen.

De zitting wordt te 15 u 50 opgeheven.

atmosphère (Institut Royal Météorologique de Belgique, Bruxelles, 1952, 53 pp. = *Contributions*, 7).

DUFOUR, L. et DEFAY, R., Étude thermodynamique de la pression de saturation par rapport à une gouttelette en suspension dans l'atmosphère (Institut Royal Météorologique de Belgique, Bruxelles, 1953 20 pp., = *Publications*, Série B, 9).

DOGNIAUX, R. et VANDENBORRE, W., Transformation du système de contrôle du chauffage du frigorimètre de Davos en vue d'assurer une constance suffisante de la température de la sphère (Institut Royal Météorologique de Belgique, Bruxelles, 1953, 11 pp. = *Publications*, Série B, 10).

#### CONGO BELGE ~ BELGISCH-KONGO :

Triangulation au Kasai 1953 (Institut Géographique du Congo belge, 2<sup>e</sup> Direction, Léopoldville, 1954).

#### ÉTATS-UNIS D'AMÉRIQUE ~ VERENIGDE STATEN VAN AMERIKA :

HEISKANEN, W., Isostatic Reductions of the Gravity Anomalies by the aid of High-Speed Computing Machines (Institute of Geodesy, Photogrammetry and Cartography, Ohio State University, Columbus, 1953, 11 pp. = *Publications*, 2).

Les remerciements d'usage      De gebruikelijke dankbetu-  
sont adressés aux donateurs.      gingen worden aan de schen-  
kings toegezonden.

La séance est levée à 15 h 50.

**Pierre Evrard. — Les recherches géophysiques  
dans la cuve congolaise.**

(Note présentée par M. G. Moulaert).

Entre le 2<sup>e</sup> degré de latitude Nord et le 4<sup>e</sup> degré de latitude Sud, le fleuve Congo et sa partie amont, le Lualaba, décrivent une boucle en demi-cercle ouvert vers le Sud, de 500 km environ de rayon. Cette région est limitée au Sud par le Kasai et le Sankuru.

En 1911, déjà, JULES CORNET (1)\* dénomma *Cuve* l'aire ainsi circonscrite.

La géographie physique justifie une telle appellation.

En effet, cette vaste surface déprimée a un relief peu marqué et est ceinturée de tous côtés par des régions d'altitudes nettement plus élevées et de sculpture jeune.

La forêt équatoriale dense et impressionnante occupe presque toute la superficie de la cuve de CORNET. Nos contemporains désignent cette dernière par l'appellation *cuvette*. Ce diminutif ne s'accorde pas très heureusement à l'énorme ensemble qu'il doit désigner et qui couvre une surface égale au quart de notre Colonie et supérieure à celle de la France.

Un réseau hydrographique complexe, dont la plupart des unités ont atteint leur profil d'équilibre, draine et compartimente cette dépression.

Les lacs Tumba et Léopold II et de grandes étendues marécageuses complètent le décor de cette vaste région. Jusqu'à une époque récente, il y existait peu de routes. Seules les rivières constituaient les voies d'accès et de communication.

Aussi, la pénétration dans la cuve congolaise, progressive depuis un quart de siècle, fut lente et pénible. Le

---

\* Les chiffres entre parenthèses renvoient à la bibliographie, page 932.

climat de ces régions est réputé l'un des plus désagréables du Congo.

Seules quelques exploitations agricoles et forestières ont pu s'y développer. Aucune activité minière ne s'y est établie.

Le bilan des connaissances scientifiques relatives à l'immense *cuve* de CORNET est d'une indigence peu tolérable à notre époque.

En périphérie seulement, des observations géologiques systématiques importantes ont été effectuées.

Jusqu'à ces toutes dernières années, les recherches géologiques se limitaient aux travaux des missions HORNEMAN et autres missions de la *Compagnie des Chemins de fer du Congo supérieur aux Grands Lacs africains*, effectués dans la région de Stanleyville-Ponthierville et dont les résultats ont été publiés par G. PASSAU en 1921 (2), à ceux du géologue Jules DUBOIS, faits en 1926 le long des rives du Lomami, pour compte de la Compagnie du Lomami et publiés en 1948 par L. COHEN (3) et aux études des géologues DELHAYE et BORGNIEZ (4) qui ont opéré pour compte de la société REMINA, de 1927 à 1930, dans les bassins supérieurs des rivières Lukenie, Lomela et Tshuapa.

A part les travaux de Maurice LERICHE (5) et plus récemment ceux de René MARLIÈRE (6), peu de renseignements paléontologiques relatifs à ces régions ont été publiés. En conséquence, sur la carte géologique du Congo belge publiée par le ministère des Colonies, la cuve congolaise apparaît comme une immense terre inconnue. Une telle lacune ne pouvait laisser indifférents ceux que passionnent ou même simplement intéressent les grands problèmes relatifs à notre colonie.

Comme nous l'avons rappelé, c'est en périphérie, le long du Lualaba ou du Kasai, que des études géologiques avaient été faites. Aussi les hypothèses émises au sujet de la structure profonde de la cuve congolaise

basées sur les observations faites en bordure de la grande dépression n'étaient que des extrapolations osées.

Jules CORNET pensait que cette cuve était le résidu d'un immense lac intérieur ayant reçu son remplissage détritique de la seule érosion des zones périphériques. Mais cette première idée fut considérée comme gratuite lorsque petit à petit les conditions de sédimentation des séries géologiques d'âge Karroo et plus récent furent mieux connues.

Il est aisé de trouver une explication à cette insuffisance des connaissances géologiques dans ces régions. Les difficultés de pénétration étaient réelles, mais les mauvaises conditions pour l'observation géologique ne l'étaient pas moins.

En effet, depuis le Permien, d'importants tonnages de sédiments s'étaient accumulés dans cette dépression sans que des mouvements épirogéniques de quelque amplitude suivis d'érosion soient venus créer les conditions favorables à l'existence de bons affleurements des roches de son sous-sol.

Aucun plissement n'a affecté la couverture dans cette région particulièrement stable et rigide du bouclier central africain.

En cela, le centre du Congo belge diffère totalement des régions périphériques. Dans l'Ubangi, l'Uele, le Maniema, le Kibara, le Katanga, le Kasai et le Bas-Congo, les circonstances géologiques sont plus favorables. Elles ont permis la découverte relativement facile d'importants gisements alluvionnaires, éluvionnaires ou primaires, voisins de la surface. L'exploitation du cuivre, du cobalt, de l'étain, de l'or et du diamant a été un des facteurs déterminants dans la création d'un état prospère au cœur du continent noir.

En 1911, Jules CORNET avait déjà pressenti dans une courte note (1), tout l'intérêt de pousser des recherches dans la cuve congolaise. Ce souhait ne trouva pas d'écho.

En 1942, au cours d'une réunion à Bukavu, les directeurs des services géologiques régionaux du Congo belge émirent le vœu de voir des études géologiques entreprises dans la zone centrale de la colonie.

C'est au groupe de la Compagnie Financière Africaine que revient l'honneur d'avoir matérialisé ce souhait.

Au cours de la période des grandes découvertes minières au Congo, avant 1930, le pan, la pelle, la pioche, la loupe, ont permis de réaliser de belles choses. Ce matériel primitif est encore souvent le seul utilisé pour les prospections alluvionnaires et éluvionnaires, mais il était impuissant devant le grand problème de la cuve congolaise. Heureusement des méthodes nouvelles sont venues compléter l'arsenal de l'ingénieur-géologue : ce sont les procédés géophysiques.

Avant 1940 déjà, MM. Raymond ANTHOINE et Fernand DELHAYE préconisèrent l'emploi de ces techniques dans les recherches en Afrique centrale. En 1945, M. F. DELHAYE fut chargé par la Société belge de Recherches minières en Afrique (Remina) de mettre sur pied une section de géophysique, département qu'il m'est venu l'honneur et le souci de diriger.

Dès 1947, M. Raymond ANTHOINE suggéra à M. Henri DEPAGE, administrateur-délégué de la Compagnie Financière Africaine, de faire reprendre le problème ancien de l'étude géologique et minière de la cuvette congolaise en tenant compte des possibilités nouvelles qu'offraient les méthodes géophysiques. L'étude de ce problème me conduisit à l'établissement d'un projet auquel s'intéressèrent les dirigeants de la Compagnie Financière Africaine et du Syndicat Minier Africain (Symaf).

Ce projet fut présenté en 1947 par M. DEPAGE au ministre des Colonies, à l'époque M. Pierre WIGNY.

Il soulevait des problèmes juridiques et politiques délicats. Tout d'abord, la région qui comprend la vaste

dépression centrale congolaise était fermée à la prospection publique. Si des droits et des concessions de recherches minières étaient accordés à un groupe financier particulier, il devenait équitable d'accorder des droits semblables à d'autres groupes ou sociétés qui les auraient sollicités.

Le gouvernement de la Colonie avait le souci tout d'abord d'éviter d'accorder des droits à un spéculateur sans programme qui n'aurait rien entrepris lui-même avant que ses voisins n'aient obtenu des résultats favorables. D'autre part, le risque d'une mainmise étrangère sur le développement économique et l'exploitation des richesses minérales de vastes régions du Congo belge était réel et il convenait de sauvegarder l'action de nos nationaux dans notre colonie.

C'est ainsi que les principes suivants furent émis : le gouvernement de la Colonie accorderait l'exclusivité des recherches à un syndicat à la condition de voir s'associer en son sein tous ceux qui représentent une expérience sérieuse en matière de recherche et d'exploitation minière au Congo belge.

Le gouvernement de la Colonie participerait à ce syndicat dans une proportion importante, non réductible et il se réserverait un droit de veto dans toutes les questions qui risqueraient de léser l'intérêt général.

En somme, le ministre des Colonies désirait appliquer un système préconisé par le roi Léopold II, qui consistait à donner à un organisme qu'il contrôlait, certains droits exclusifs pour s'éviter de devoir accorder des droits similaires à d'autres organismes.

Mais le gouvernement de la Colonie avait un autre souci : celui de ne léser ou de ne favoriser aucun groupe financier ou entreprise minière. Aussi, il ajouta une condition supplémentaire à l'octroi du monopole des travaux de recherches, le syndicat devait, pendant un

temps limité — 6 mois — rester ouvert à la souscription publique.

De cette façon, la notion de prospection libre qui risquait d'entraîner des sociétés à une compétition hâtive, à des efforts désordonnés et à des gaspillages d'énergie et d'argent, fut remplacée par celle d'un syndicat unique mais ouvert à tous, groupant les moyens, rationalisant les programmes, assurant l'harmonie entre les phases successives de l'action et sauvegardant la continuité de l'entreprise projetée.

Je pense qu'il était de mon devoir de rappeler ces principes et de rendre hommage à l'esprit d'équité qui anima ceux qui avaient la responsabilité de prendre des engagements au nom du gouvernement de la Colonie. Ils ont su par une formule élégante trouver une solution aux difficultés que présentait la mise sur pied de ce projet.

Il fut alors communiqué par M. DEPAGE aux représentants d'autres sociétés coloniales belges : l'Union Minière du Haut-Katanga, la Société Forminière, la Compagnie Minière des Grands Lacs Africains. Ils reçurent un accueil favorable de chacun et en particulier de MM. M. LEFRANC et H. ROBILIART. Ainsi est né le Syndicat pour l'Étude géologique et minière de la Cuvette congolaise, avec la participation des sociétés fondatrices suivantes :

Compagnie Financière Africaine,

Société Auxiliaire, Industrielle et Financière des Grands Lacs Africains (Auxilacs),

Compagnie du Congo pour le Commerce et l'Industrie (C. C. C. I.),

Société Internationale Forestière et Minière du Congo (Forminière),

Société Financière des Pétroles (Pétrofina),

Société Belge de Recherches Minières en Afrique (Remina),

Société de Recherche Minière du Sud-Katanga (Sudkat),  
Syndicat Minier Africain (Symaf),  
Union Minière du Haut-Katanga (U. M. H. K.).

Le 20 novembre 1950, le ministre des Colonies signait au nom de la Colonie du Congo belge, avec les sociétés citées ci-dessus, une convention qui fut examinée par le Conseil Colonial en sa séance du 6 avril 1951.

Un décret daté du 30 mai 1951, approuva la convention du 20 novembre 1950 et le 25 juillet 1951 un « Syndicat pour l'étude géologique et minière de la Cuvette congolaise » se constitua entre la Colonie du Congo belge et les Sociétés coloniales belges signataires de la convention.

Pendant 6 mois, le Syndicat fut ouvert à tous ceux, personnes ou sociétés, qui désiraient participer au financement des études projetées.

La colonie se réserva dans le Syndicat une part de 40 % et vingt cinq autres sociétés et personnes privées vinrent s'associer aux neuf fondateurs pour constituer les soixante autres pourcents du capital syndical.

En souscrivant une part importante de celui-ci, le gouvernement de la Colonie a voulu marquer l'intérêt qu'il accordait à cette initiative.

Le nombre des participants nouveaux permet d'apprécier le succès qui remporta le projet.

L'importance scientifique de ces études fut le mobile majeur qui anima les promoteurs de cette entreprise. Les résultats de ces travaux auront une portée internationale incontestable.

Le travail entrepris est de longue haleine. Il est souhaitable qu'il se poursuive avec constance et opiniâtreté en évitant si possible un trop grand enthousiasme comme un trop grand pessimisme, car à l'heure actuelle, si l'intérêt industriel et économique d'un tel problème

n'est contesté par personne, son succès financier n'est nullement assuré.

\* \* \*

Dans les pages qui suivent, j'exposerai les grandes lignes et les principes généraux suivant lesquels les recherches ont été organisées.

L'étude géologique et minière de la cuvette congolaise doit procéder par étapes. Chacune d'elles permettra de mieux concevoir et réaliser la suivante.

#### ÉNONCÉ DU PROBLÈME.

L'on connaît peu de choses de la géologie de la partie centrale de notre Colonie. Les raisons de cette lacune ont été rappelées ci-dessus. Jusqu'à maintenant, la presque totalité des recherches minières et des études géologiques ont été développées en périphérie de la cuvette où apparaissent les terrains anciens. En outre, à tort ou à raison, la zone déprimée centrale est réputée stérile du point de vue minier.

Les méthodes simples habituelles : observations de surface, puits foncés à faible profondeur, utilisées le plus souvent par le géologue dans ses recherches à la Colonie ne lui permettent pas de pousser les investigations au-delà des terrains superficiels.

Si l'on pouvait émettre des hypothèses quant aux allures probables et aux épaisseurs des formations qui, depuis le Permien, ont comblé la cuvette congolaise, hypothèses déduites d'observations peu nombreuses, discontinues et limitées à quelques itinéraires géologiques le long du fleuve Congo ou du Lomami et du Kasai, on doit reconnaître que la géologie des parties profondes de cette zone centrale de près de 1.000 km de diamètre

est restée une énigme totale ; la puissance du manteau de recouvrement est inconnue.

Étant donné l'allure subhorizontale de l'ensemble sédimentaire qui constitue la cuvette centrale, il est exclu d'espérer faire l'inventaire géologique et minier de son contenu sans recourir à des recherches spéciales et coûteuses.

Par exemple, une campagne de forages étendue à toute l'aire centrale aurait été, par suite des dimensions de celle-ci, d'un coût prohibitif. Il était donc nécessaire de limiter le nombre des sondages, en choisissant judicieusement les emplacements les plus intéressants par une détermination préalable des structures géologiques profondes en un certain nombre de points répartis aussi régulièrement que possible dans toute l'étendue de la cuvette.

Les méthodes géophysiques étaient utilisables à cet effet et elles devaient permettre de choisir les emplacements les plus favorables aux sondages et de déterminer approximativement les profondeurs qu'ils peuvent utilement atteindre.

C'est ainsi qu'a été décidée une première phase à caractère géophysique, qui avait pour but de fixer l'emplacement des sondages à effectuer ultérieurement. Ceux-ci constitueront la deuxième phase de l'exploration géologique.

#### CHOIX DES MÉTHODES D'INVESTIGATION.

Après examen critique des différentes méthodes géophysiques utilisables, le choix s'est fixé sur la méthode sismique complétée par des levés gravimétriques et magnétiques exécutés au sol.

Un *levé magnétique aérien* aurait certes pu donner des indications utiles. Mais, pour être efficace, il aurait dû être réalisé suivant des parcours très rapprochés ce qui

en aurait rendu le coût trop élevé. Ce procédé permet d'obtenir une idée approchée de la profondeur d'un bassin sédimentaire si, à la base de celui-ci, existent des formations éruptives ou métamorphiques, en général fortement magnétiques par rapport aux terrains surincombants d'allure subhorizontale. Les conclusions peuvent cependant être faussées dans le cas où ces terrains eux-mêmes présentent des variations latérales importantes de susceptibilité magnétique et aussi dans le cas où des roches éruptives se sont mises en place dans la couverture sédimentaire. Pour donner à ce procédé toute son efficacité, il aurait été utile de le compléter par des levés photographiques aériens. Il a été jugé préférable d'effectuer provisoirement des profils magnétiques par des mesures au sol des variations de la composante magnétique verticale le long de certains grands axes routiers.

Un levé gravimétrique généralisé a aussi été écarté. Outre une certaine imprécision dans les résultats, due à l'insuffisance de données topographiques et géographiques précises, dont l'établissement aurait été long et coûteux, l'interprétation des anomalies gravimétriques observées à la surface d'un ensemble sédimentaire subhorizontal au sein duquel la distribution des densités est inconnue, est aléatoire. Il aurait été indispensable de disposer d'un réseau très serré de mesures pour obtenir des informations sur la répartition des masses et des densités dans l'ensemble sédimentaire proche de la surface.

En effet, les anomalies dues à des causes situées dans les séries géologiques de couverture sont *a priori* de faible amplitude (quelques milligals) et d'extension réduite. Elles peuvent passer inaperçues devant l'ampleur de certains déséquilibres isostatiques (plusieurs dizaines de milligals) ou même devant des anomalies régionales. Un réseau suffisamment dense pour l'ensem-

ble de la cuvette aurait exigé de nombreuses années de travail.

Cependant, il a été jugé intéressant d'exécuter des séries de mesures gravimétriques sur les mêmes axes routiers et aux mêmes endroits que ceux des levés magnétiques. Étant donné l'espacement des stations, les indications obtenues auront un caractère géodésique et pourront peut-être fournir les éléments pour éclairer la géologie du socle de la cuvette congolaise et en préciser les grandes lignes structurales.

Les *méthodes sismiques* ont été estimées les plus adéquates pour résoudre le problème posé qui consiste à fixer la profondeur et l'allure de la surface de contact entre le substratum antépermien et les formations plus récentes.

Après les premiers essais effectués sur place, on a adopté la méthode sismique par réfraction.

On sait que ce procédé consiste à produire des ondes élastiques dans le sol en faisant détonner, au voisinage de la surface, des charges d'explosifs très brisants.

Les ondes qui prennent naissance à la suite de cet ébranlement se propagent suivant des lois comparables à celles de l'optique géométrique. On n'enregistre que les phénomènes dus aux ondes longitudinales ou ondes de compression qui sont les plus rapides.

Je ne m'étendrai pas sur le détail de ces méthodes que l'on peut trouver exposées dans des ouvrages spécialisés.

#### PROGRAMME DE LA MISSION DE RECONNAISSANCE PRÉLIMINAIRE.

Les études géophysiques et géologiques ont débuté dans la région de Ponthierville où les formations Karroo et post-Karroo (couches de Stanleyville) reposent sur un substratum nettement plus ancien appelé groupe de la Lindi. Des mesures sismiques sur des affleurements

ont permis de préciser les caractéristiques de cet ensemble géologique que nous avons considéré jusqu'à plus ample informé comme constituant le substratum de la cuvette centrale.

Progressant de l'Est vers l'Ouest, c'est-à-dire du connu vers l'inconnu, il a été possible de suivre l'approfondissement du sommet du substratum et ainsi de fixer approximativement l'épaisseur de la couverture.

Les travaux se sont poursuivis de Ponthierville en direction d'Opala puis, par des mesures discontinues d'Opala vers Boende et de Boende vers Coquilhatville et vers Basankusu.

Les levés magnétiques et gravimétriques ont été réalisés sur la plupart des routes accessibles dans l'aire comprise entre la boucle du fleuve Congo au Nord et le parallèle d'Ikela au Sud.

#### POURSUITE DES TRAVAUX.

Il est prématuré de vouloir présenter une synthèse des premiers résultats obtenus au cours de la mission de reconnaissance préliminaire. Les données recueillies pendant cette première campagne ont justifié d'étendre l'application des techniques géophysiques aux autres régions de la cuvette congolaise. C'est ainsi qu'une deuxième mission, qui sera d'une durée approximative d'un an, a démarré en juillet dernier. Les grands axes routiers qu'elle parcourera, et qu'elle a déjà en partie couverts, sont les suivants : Boende — Djolu — Yahuma — Monkoto — Ikela — Lomela — Lodja — Kindu ; le Sankuru et le Kasai et la région du lac Léopold II et du lac Tumba pour se terminer à Coquilhatville.

La poursuite des levés gravimétriques et magnétiques a été décidée suivant les mêmes itinéraires. Tous ces travaux ont pour but de préparer une campagne de sondages.

Il n'est pas exclu que cette deuxième phase de travaux de recherches débute dans un avenir assez proche.

\* \* \*

Il est nécessaire de souligner que tous ces travaux se poursuivent dans le même esprit que celui qui a guidé les premières recherches, c'est-à-dire l'étude scientifique de la géologie du bassin central congolais.

Cependant, cette curiosité scientifique de bon aloi n'est pas le seul élément moteur de cette entreprise, et s'il est prématuré de vouloir tirer dès maintenant des conclusions sur les possibilités économiques de cette région, on peut affirmer que les responsables de la gestion de notre colonie et les dirigeants de nos grandes sociétés coloniales ont compris qu'il était de leur devoir de recommander de faire l'effort financier nécessaire pour être éclairé sur la structure et la nature des sédiments qui ont comblé la ou les dépressions qui forment la cuve congolaise, ainsi que sur les possibilités minières qui pourraient y être décelées.

A notre époque, la puissance des moyens techniques s'est merveilleusement accrue. Aussi une capitulation devant les difficultés quelles qu'elles soient qui doivent surgir au cours de semblable entreprise, aurait été difficilement excusable.

L'étude géologique et minière de la cuvette congolaise a démarré. C'est une grande aventure qui a commencé ; c'est peut-être la dernière de ce genre qui restait à engager au Congo belge.

Réjouissons-nous d'y voir collaborer en toute confiance le gouvernement de la Colonie, les sociétés coloniales et même des personnes privées.

C'est une entreprise passionnante qu'il faut conduire avec un enthousiasme réfléchi, avec courage et tenacité.

Elle rappelle, mais sous un autre aspect, l'œuvre des pionniers.

Si la Belgique peut montrer au monde qu'elle possède des hommes capables de concevoir, financer et réaliser de tels projets, elle fait la preuve qu'elle est capable de conduire et diriger le Congo belge et qu'elle est digne de la confiance que l'on a mise en elle.

Bruxelles, le 26 mars 1954.

#### RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

1. J. CORNET. Sur la possibilité de l'existence de gisements de pétrole au Congo (*Ann. de la Sté Géologique de Belgique*; public. relative au Congo belge, année 1910-1911, annexe du tome 38, pp. 9-15)
2. G. PASSAU. La géologie du bassin de schistes bitumineux de Stanleyville (Congo belge). (*Ann. de la Soc. Géol. de Belgique*, Publ. relative au C. B., année 1921-1922, annexe au tome 15, pp. C. 91 à C. 252).  
— Les schistes bitumineux du Congo belge (Congrès International des Mines, de la Métallurgie et de la Géologie appliquée, Paris 1935).
3. L. COHEN. Sur la stratigraphie de la série du Lualaba, le long du Lomami, d'après les travaux de Jules Dubois (1926) (*Bulletin Soc. Belge de Géol.*, t. 57, 1948, pp. 321-329).
4. F. DELHAYE et G. BORGNEZ. Contribution à la connaissance de la géographie et de la géologie de la région de la Lukenie et de la Tshuapa sup. (*Ann. du Musée du C. B. Tervuren*, série in 8°, Sciences géologiques, volume 3, 1948).
5. M. LERICHE. Les poissons des couches du Lualaba, Congo belge (*Rev. Zool. Afric.*, vol. I, p. 190, 1913).  
— L'état actuel de nos connaissances sur la paléontologie du Congo (*Ann. de la Soc. Roy. de zool. de Belg.*, t. 69, pp. 139-156, 1938).
6. R. MARLIÈRE. Ostracodes et Phyllopo des du système du Karroo au Congo belge (*Ann. du Musée du C. B. Tervueren*, série in 8°, Sciences géologiques, vol. 2, 1948).

**R. Vanderlinden. — Considérations sur la résistance à la propulsion des barges remorquées en flèche et en poussée.**

L'objet de la présente note est de résumer les données disponibles relatives à la résistance à la propulsion des bateaux remorqués soit en flèche, selon la méthode rhénane, soit en poussée, selon la méthode américaine.

Le premier mode de propulsion a fait l'objet de nombreux essais en Europe ; parmi les plus récents figurent ceux entrepris par M. BOGAERT en vue de l'étude des conditions de remorquage sur le canal Albert et ceux entrepris pour compte de l'Otraco par le Laboratoire d'hydraulique de Wageningen.

Quant au remorquage en poussée il a été analysé par plusieurs auteurs américains et particulièrement par les professeurs SADLER et BAIER.

Après examen des résultats fournis par ces essais sur modèles réduits, le rapprochement sera fait avec les mesures directes effectuées sur des convois réels.

\* \* \*

REMORQUAGE EN FLÈCHE.  
ESSAIS SUR MODÈLES RÉDUITS.

M. BOGAERT a exposé au Congrès international des Ingénieurs navals (compte rendu édité par Thone — Liège, 1939) les résultats des essais effectués au Laboratoire d'hydraulique de l'Université libre de Bruxelles

sur des modèles de bateaux en vue de déterminer la résistance à l'avancement dans le canal Albert.

Le modèle reproduisait à l'échelle 1:20 le canal et les bateaux.

Les caractéristiques du canal sont :

- Profondeur dans l'axe : 5 m ;
- Profondeur moyenne sur 26 m de largeur : 4,50 m ;
- Largeur à la ligne d'eau : 45,50 m ;
- Section mouillée : 151 m<sup>2</sup>.

Les essais ont porté sur deux types de bateaux : kast campinois et bateaux rhénans.

Le tableau N° 1 donne la résistance à l'avancement pour une vitesse de 10 km à l'heure et un tirant d'eau de 1 m et 2 m.

Tableau n° 1. — *Essais sur modèles pour le canal Albert.*

|   | Kast campinois<br>600 t | Rhénans<br>1350 t |       |       |
|---|-------------------------|-------------------|-------|-------|
|   |                         | R 1               | R 2   | R 3   |
| Longueur entre pp.                        | 49,13                   | 77,90             | 77,90 | 77,50 |
| Largeur                                   | 6,60                    | 9,40              | 9,40  | 9,40  |
| K à 2,50 m d'enfoncement                  | 0,884                   | 0,925             | 0,900 | 0,860 |
| Déplacement à 1 m de tirant<br>d'eau — T. | 275                     | 645               | 615   | 580   |
| Résistance à 10 km/h, kg.                 | 600                     | 1700              | 1400  | 1150  |
| soit par tonne de déplacement :           | 2,20                    | 2,64              | 2,28  | 1,98  |
| Déplacement à 2 m de tirant<br>d'eau, t.  | 565                     | 1345              | 1305  | 1235  |
| Résistance à 10 km/h, kg.                 | 1300                    | 3100              | 2600  | 2300  |
| soit par tonne de déplacement :           | 2,30                    | 2,30              | 1,99  | 1,87  |

D'autre part, M. HANSSENS, ingénieur des Constructions navales, chef du service des études à l'Otraco, chargé de cours à l'Université catholique de Louvain, fit le 4 juillet 1941 à l'Union belge des Ingénieurs navals,

une communication intitulée « Résistance à l'avancement des allèges navigant sur le réseau fluvial du Congo belge ». Cette communication est reproduite dans l'*Annuaire de l'U. B. I. N.*, 1<sup>er</sup> volume, 1930-41 (pages 783 à 863).

Dans cette communication, M. HANSENS rend compte d'essais effectués à la *Nederlandsch Scheepsbouwkundig Proefstation te Wageningen* en mars et avril 1940 sur des modèles correspondant aux barges type O de l'Otraco.

Ces barges ont les caractéristiques suivantes :

- Longueur 65 m ;
- Largeur 9 m ;
- Creux 2,60 m ;
- Tirant d'eau 1,85 m ;
- Déplacement 928 tonnes.

Trois modèles ont été essayés ayant un coefficient d'acuité de respectivement 0,79, 0,86 et 0,89. Nous utiliserons les résultats relatifs à la barge dont le coefficient d'acuité est 0,86, ce modèle correspondant aux dimensions des barges effectivement utilisées sur le Congo.

Les essais ont montré que pour une vitesse de 10 km/h ces barges offrent une résistance de :

- a) En profondeur illimitée : 840 kg soit 0,91 kg par tonne de déplacement.
- b) En profondeur de 3,50 m : 1.480 kg soit 1,59 kg par tonne de déplacement.
- c) En profondeur de 2,40 m : 1.840 kg soit 1,98 kg par tonne de déplacement.

Au tirant d'eau de 1,40 m, auquel correspond un déplacement de 670 tonnes, les résistances enregistrées sont respectivement :

- a) En profondeur illimitée : 830 kg soit 1,24 kg par tonne de déplacement.
- b) En profondeur de 3,50 m : 1.250 kg soit 1,9 kg par tonne de déplacement.
- c) En profondeur de 2,40 m : 1.420 kg soit 2,15 kg par tonne de déplacement.

Outre les essais dont question ci-dessus et qui portaient sur des barges isolées, il fut procédé à Wageningen à des essais reproduisant les conditions de remorquage en flèche.

Les essais de remorquage de deux barges en flèche ont donné pour des profondeurs illimitées et pour des vitesses de l'ordre de 10 km à l'heure une réduction de 11 à 14 % par rapport à la résistance totale des deux barges prises individuellement.

Pour le remorquage de 3 barges en flèche, le gain serait de l'ordre de 11,5 %.

Mais, comme le signale M. HANSENS (*Annuaire U. B. I. N.*, page 820), il faut faire entrer en ligne de compte l'obliquité des barges dans la traîne, cette obliquité provoquant un supplément de résistance, qui, selon les essais, est de 4,3 % pour deux degrés d'obliquité et 14 % pour quatre degrés d'obliquité.

Finalement, pour des traînes de 4 barges et plus de 1,85 m de tirant d'eau naviguant dans 3,50 m de profondeur d'eau, M. HANSENS estime pouvoir fixer la résistance totale à 95 % du total des résistances individuelles.

Pour 2,40 m de profondeur d'eau, M. HANSENS admet que la résistance totale est égale au total des résistances individuelles.

\* \* \*

De ce qui précède on peut conclure que dans les conditions pratiques d'exploitation et pour une vitesse de l'ordre de 10 km à l'heure la résistance des barges remorquées en flèche est de l'ordre de 2 kg par tonne de déplacement total.

REMORQUAGE EN POUSSÉE.  
ESSAIS SUR MODÈLES RÉDUITS.

Au cours des essais effectués pour compte de l'Otraco à Wageningen, M. HANSENS a abordé le problème du remorquage à couple et du remorquage en poussée ; mais pour le remorquage en poussée il s'est limité au cas où deux barges sont accouplées à l'avant, une troisième venant s'insérer à l'arrière entre les deux premières. Ce dispositif correspond sensiblement à celui d'un remorqueur en poussée propulsant deux barges accouplées côte à côte. Comme nous le verrons, cette disposition est la plus mauvaise qui se puisse imaginer ; il n'est donc pas opportun d'en discuter les résultats.

Le remorquage en poussée a été employé sur le Nil et c'est du mode d'exploitation en usage sur ce fleuve que l'Unatra, puis l'Otraco, s'étaient inspirés pour organiser les transports sur certains affluents ; notre collègue M. Jean GHILAIN en a rendu compte dans une note intitulée « Remorquage en poussée au Congo belge », présentée à la séance de la Section des Sciences techniques de l'Institut Royal Colonial Belge le 25 novembre 1949 (*Bulletin des Séances* 1949, pages 929 à 944).

\* \* \*

Mais c'est aux États-Unis que le remorquage en poussée a reçu la plus large application et qu'il a fait l'objet des études les plus complètes.

Le Gouvernement des États-Unis décida, en juin 1910, de créer au sein du *War Department* un organisme spécial dénommé *Board on Experimental Towboats* en vue d'étudier le matériel le plus approprié aux transports fluviaux sur le Mississippi et ses affluents.

Il a été rendu compte des essais effectués dans une

brochure intitulée *Experimental Towboats — Letter from the Secretary of War — Document 857 House of Representatives Washington 1914*.

L'édition de cette brochure est épuisée ; un résumé des résultats obtenus a fait l'objet d'une communication du professeur SADLER à la *Society of Naval Architects and Marine Engineers* le 17 novembre 1916 ; cette communication est reproduite aux *Transactions* de cette société (volume 24, année 1916).

Pour déterminer le type de barge le plus convenable, des modèles de neuf formes différentes furent essayés par le professeur H. C. SADLER au bassin d'essai de l'Université de Michigan.

Les essais furent effectués à différentes vitesses et pour différents états de charge.

Les modèles à l'échelle de 1:20 représentaient des barges de  $150 \times 34 \times 9$  pieds ( $45,75 \times 10,40 \times 2,75$  mètres) ; les essais furent faits dans des conditions correspondant à la barge lège (déplacement 150 tonnes métriques), à demi-charge (déplacement de 460 tonnes métriques) et à pleine charge (déplacement 832 tonnes métriques) ; les enfoncements correspondant à ces deux dernières conditions étaient, selon les modèles de barges compris entre 3,45 et 4,65 pieds (1,05 et 1,42 m) pour les barges à demi-charge et entre 6,08 et 7,7 pieds (1,85 et 2,35 m) pour les barges à pleine charge.

Les essais furent conduits en eau profonde et avec des profondeurs correspondant à 6, 9 et 12 pieds (1,83, 2,75 et 3,66 mètres).

Les vitesses imprimées aux modèles correspondaient à des vitesses en vraie grandeur comprises entre 3 et 10 miles terrestres par heure, soit 4,8 et 16 kilomètres à l'heure.

Les barges furent essayées seules et groupées.

Les différentes combinaisons des conditions condui-

sirent à plus de 3.000 essais qui permirent d'établir quelque 260 courbes de résistance à l'avancement.

\* \* \*

Parmi les formes de barges essayées, quatre portant les numéros 3, 4, 5 et 6 étaient du type rectangulaire dont l'usage s'est généralisé sur le Mississippi et ses affluents. Ces barges étaient symétriques, l'avant et l'arrière étant de formes identique.

Leurs formes sont représentées par la figure 1.

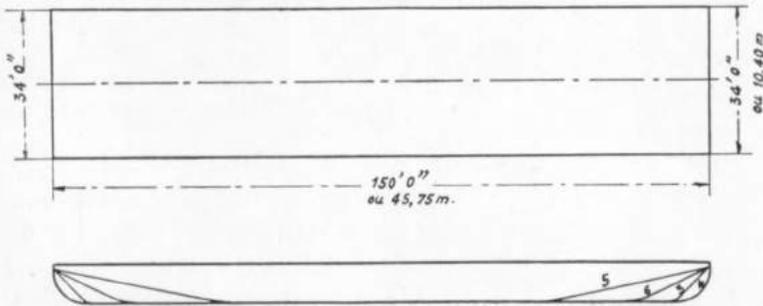


FIG. 1. — Barges n<sup>os</sup> 3, 4, 5, 6.

Ci-dessous leurs caractéristiques :

- Longueur 45,75 m ;
- Largeur 10,40 m ;
- Creux 2,75 m.

Formes de l'avant et de l'arrière (coupe longitudinales).

- N<sup>o</sup> 3 incliné à 45° ;
- N<sup>o</sup> 4 arrondi en quart de cercle, rayon 2,44 m ;
- N<sup>o</sup> 5 incliné sur un quart de la longueur (12°) ;
- N<sup>o</sup> 6 incliné sur un huitième de la longueur (23°).

Le tableau N<sup>o</sup> 2 donne la résistance à l'avancement pour les barges de ces quatre modèles au déplacement de 832 tonnes métriques et à la vitesse de 8,5 km /H (5,25 milles terrestres par heure).

Le tableau donne les résultats relatifs à une barge isolée et à 6 barges associées en flottille (2 barges de front, trois barges en longueur).

Tableau N° 2. — *Essais du professeur SADLER.*

*Déplacement de 832 tonnes métriques — Vitesse 8,5 km/h. Résistance en kg par tonne métrique de déplacement.*

|          | n° | Tirant<br>d'eau<br>m | Profondeur d'eau |      |          |
|----------|----|----------------------|------------------|------|----------|
|          |    |                      | 2.75             | 3.66 | profonde |
| 1 barge  | 3  | 1.92                 | 4.75             | 3.30 | 3.35     |
|          | 4  | 1.86                 | 4.20             | 2.92 | 2.20     |
|          | 5  | 2.25                 | 4.95             | 2.50 | 1.35     |
|          | 6  | 2.04                 | 4.80             | 2.85 | 1.85     |
| 6 barges | 3  | 1.92                 | —                |      | 1.70     |
|          | 4  | 1.86                 | —                | 1.80 | 1.30     |
|          | 5  | 2.25                 | —                | à    | 1.60     |
|          | 6  | 2.04                 | —                | 1.95 | 1.65     |

Il apparaît que les différences de résistance résultant de la modification des formes de l'avant et de l'arrière sont importantes pour les barges isolées en eau profonde mais s'atténuent pour les profondeurs réduites ; ces différences sont beaucoup moindres pour un groupe de 6 barges que pour une barge isolée.

Nous examinerons particulièrement dans ce qui suit les résultats des essais effectués sur la barge N° 4 dont la forme se rapproche de celle des barges de 600 t de la C<sup>1</sup>e générale de Transports en Afrique.

Ces dernières ont été décrites dans la note sur « Le Matériel de remorquage en poussée de la C<sup>1</sup>e générale de Transports en Afrique » présentée par R. VANDERLINDEN, à l'Institut Royal Colonial Belge au cours de la Séance de la Section des Sciences techniques du 26 janvier 1949 (*Bulletin des Séances*, 1949, page 310).

L'avant et l'arrière de ces barges se relève selon une

courbe parabolique dont la longueur est de 4,15 m pour un tirant d'eau de 1,95 m. La partie relevée de l'avant et de l'arrière correspond donc à  $1/12$  de la longueur totale. Cette forme est intermédiaire entre celles des barges N<sup>o</sup> 4 et N<sup>o</sup> 6 ; elle est plus favorable, le raccordement parabolique provoquant moins de remous.

Les figures 2, 3 et 4 résument les résultats des essais effectués sur les barges du type N<sup>o</sup> 4.

La figure 2 montre que, sauf dans le cas de deux barges accouplées de front, la résistance par tonne de déplacement présentée par une flottille de plusieurs barges, est inférieure à celle offerte par la barge isolée. Aux vitesses usuellement utilisées, entre 8 et 10 km à l'heure, une flottille de 4 barges (2 de front, 2 en longueur) offre, par tonne de déplacement, une résistance égale à environ 70 % de la résistance offerte par une barge isolée, c'est-à-dire que la poussée à exercer pour la propulsion de la flottille ne sera que 2,8 fois la poussée nécessaire pour une seule barge.

Une flottille de 6 barges (2 de front, 3 en longueur) aux mêmes vitesses, offre par tonne de déplacement une résistance égale à 48 % de celle offerte par la barge isolée ; la poussée à exercer pour la propulsion de la flottille de 6 barges ne sera donc que 2,9 fois celle nécessaire à la propulsion d'une seule barge.

Les courbes de la figure 2 sont relatives au cas de barges ayant un déplacement de 460 tonnes, soit une charge utile de 310 tonnes et naviguant dans une profondeur de 9 pieds ou 2,75 m.

La figure 3 donne la résistance par tonne pour divers enfoncements dans une profondeur d'eau de 12 pieds ou 3,66 m. A l'enfoncement de 1,86 m, les barges déplacent 832 tonnes soit 682 tonnes utiles. La résistance par tonne de déplacement d'une flottille de 6 barges, pour des vitesses comprises entre 8 et 10 km à l'heure, est 45 % de la résistance offerte dans les mêmes conditions

Résistance  
Kg/tonne

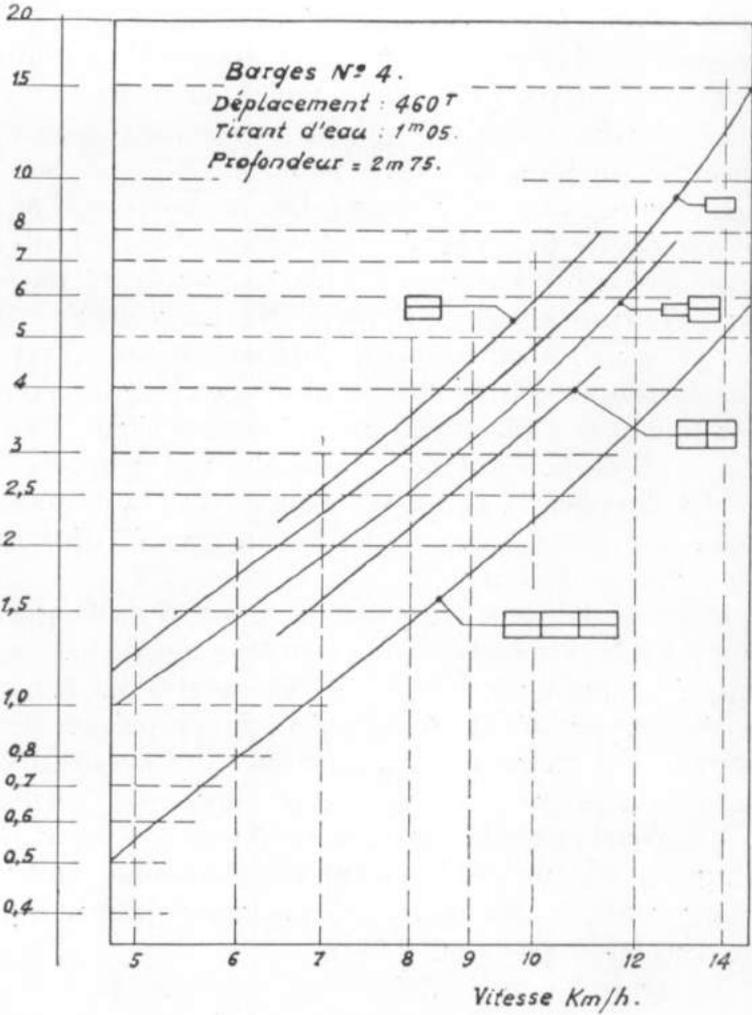


FIG. 2. — ESSAIS DE SADLER.  
Influence du nombre de barges.

Résistance  
Kg/tonne.

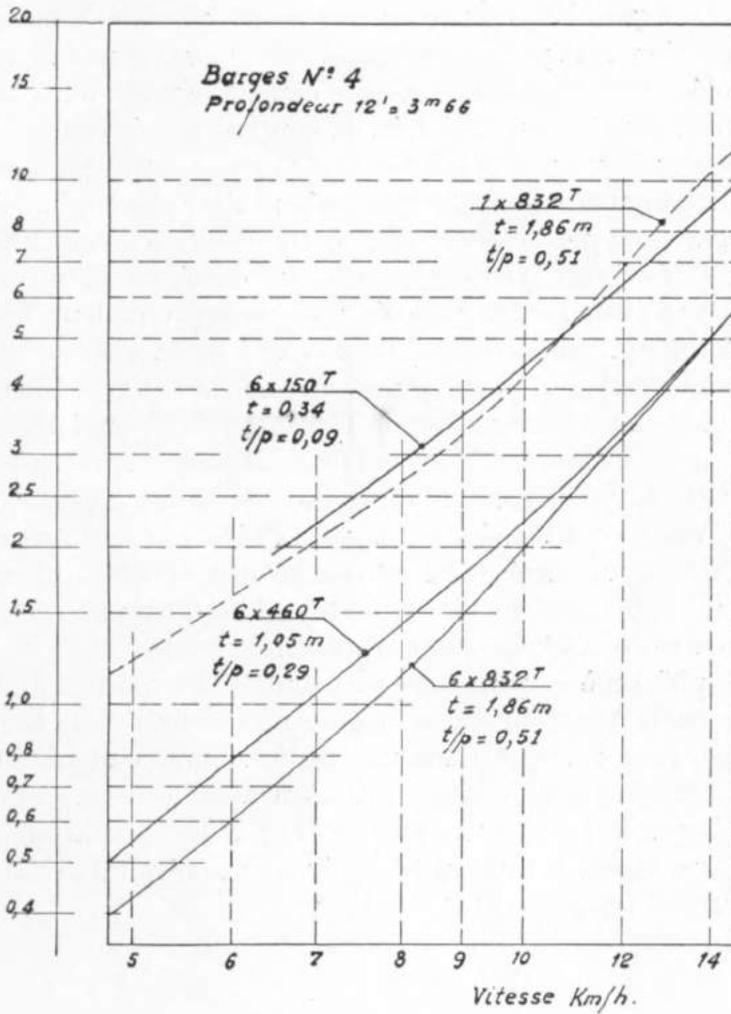


FIG. 3. — ESSAIS DE SADLER.  
Influence du tirant d'eau.

par la barge isolée, c'est-à-dire que la poussée à exercer pour la propulsion de la flottille de 6 barges n'est que 2,7 fois celle nécessaire pour une seule barge.

La figure N° 4 tente de mettre en lumière l'influence exercée par la profondeur de la voie d'eau. Pour la barge isolée de 1,05 m de tirant d'eau naviguant dans une profondeur d'eau illimitée, la courbe de résistance est rectiligne jusqu'à la vitesse de 12 km à l'heure ; le coefficient angulaire de la droite représentative en coordonnées logarithmiques est tel que cette droite correspond à une résistance proportionnelle au carré de la vitesse.

Pour la même barge isolée, lorsque la profondeur d'eau décroît, la proportionnalité au carré de la vitesse cesse de se vérifier à partir d'une vitesse de 8 km à l'heure quand la profondeur est de 6 pieds (1,85 m ou 1,75 fois le tirant d'eau), de 10 km à l'heure lorsque la profondeur est de 12 pieds (3,66 m ou 3,5 fois le tirant d'eau).

Pour les flottilles de 6 barges, la résistance est proportionnelle au carré de la vitesse jusqu'à 10 km à l'heure pour la profondeur de 12 pieds ; elle croît plus vite que le carré de la vitesse pour les profondeurs de 9 et 6 pieds ; ce phénomène peut être attribué à l'importance des courants de retour qui se manifestent autour de la barge lorsqu'elle navigue dans une profondeur d'eau réduite.

Afin de faciliter la comparaison avec les essais effectués par le professeur BOGAERT et par le Laboratoire de Wageningen, le tableau N° 3 résumé les résultats relatifs à une vitesse de 10 km à l'heure.

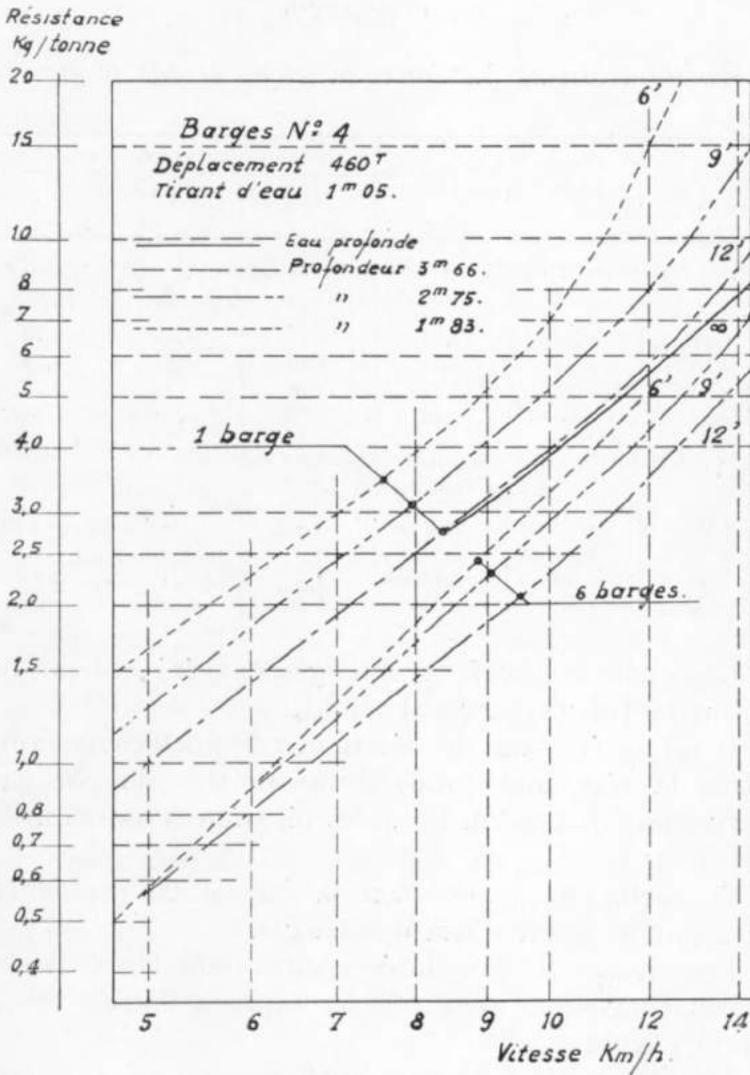


FIG. 4. — ESSAIS DE SADLER.  
Influence de la profondeur.

Tableau N° 3. — *Essais de SADLER :*  
*barge N° 4, vitesse 10 km/h.*

*Résistance en kg par tonne métrique de déplacement.*

| Profondeurs<br>d'eau   | Tirant<br>d'eau :<br>profondeur | Nombre de barges. |      |      |      |
|--|---------------------------------|-------------------|------|------|------|
|  |                                 | 1                 | 2    | 4    | 6    |
| 1° à demi-charge : déplacement 460 tonnes métriques<br>tirant d'eau 1,05 m   |                                 |                   |      |      |      |
| 1,83   | 0,57                            | 7,00              | 9,20 | 4,53 | 3,10 |
| 2,75   | 0,38                            | 4,75              | 6,00 | 3,45 | 2,75 |
| 3,66   | 0,29                            | 3,85              | —    | —    | 4,25 |
| eau profonde   | —                               | 3,80              | 2,75 | 2,30 | —    |
| 2° à pleine charge : déplacement 832 tonnes métriques<br>tirant d'eau 1,86 m |                                 |                   |      |      |      |
| 1,83   | 0,57                            | —                 | —    | —    | —    |
| 2,75   | 0,38                            | 6,5               | —    | —    | 3,0  |
| 3,66   | 0,29                            | 4,15              | —    | —    | 2,05 |
| eau profonde   | —                               | 3,20              | 2,45 | 1,70 | —    |

Les chiffres relatifs à 2 barges ont été obtenus en accouplant deux barges de front.

Il est intéressant de déterminer le coefficient exprimant la résistance totale d'une flottille de plusieurs barges en fonction du total des résistances individuelles des barges.

Ce coefficient varie selon la vitesse, la profondeur d'eau et le tirant d'eau des barges.

Les vitesses les plus intéressantes dans le cas des rivières congolaises sont celles comprises entre 8 et 10 km à l'heure.

Le tableau N° 4 donne le coefficient relatif à ces conditions.

Des essais analogues ont été effectués par le professeur BAIER à l'Université de Michigan. Il en est rendu compte dans son étude intitulée *The Resistance of barges and flottillas.*

Tableau N° 4. — *Rapport entre la résistance d'une flottille et celle d'une barge.*

*Résistances par tonne de déplacement pour  $v = 8$  à 10 km/h par rapport à la résistance d'une barge isolée.*

| Tirant d'eau | Profondeur | Tirant d'eau profond | Nombre des barges |      |      |      |
|--------------|------------|----------------------|-------------------|------|------|------|
|              |            |                      | 1                 | 2    | 4    | 6    |
| 0,34         | 1,83       | 0,19                 | 1,00              | —    | 0,95 | 0,80 |
|              | 2,75       | 0,12                 | 1,00              | —    | 0,93 | 0,81 |
|              | 3,66       | 0,09                 | 1,00              | —    | —    | —    |
| 1,05         | 1,83       | 0,57                 | 1,00              | 1,32 | 0,69 | 0,45 |
|              | 2,75       | 0,38                 | 1,00              | 1,19 | 0,72 | 0,48 |
|              | 3,66       | 0,29                 | 1,00              | —    | —    | 0,58 |
|              | profonde   | —                    | 1,00              | 0,82 | —    | —    |
| 1,86         | 2,75       | 0,68                 | 1,00              | —    | 0,55 | 0,46 |
|              | 3,66       | 0,51                 | 1,00              | —    | —    | 0,45 |
|              | profonde   | —                    | 1,00              | 0,79 | 0,51 | —    |

Nous extrayons de cette étude (pages 52 et 53) les chiffres relatifs à des barges ayant les caractéristiques suivantes :

1) Barges de 175 pieds  $\times$  26 pieds :

|                                       |           |                       |     |
|---------------------------------------|-----------|-----------------------|-----|
| Longueur                              | 53,30 m ; |                       |     |
| Largeur                               | 7,90 m ;  |                       |     |
| Déplacement à l'enfoncement de 1,67 m |           | 643 tonnes métriques. |     |
| » » » »                               | 1,98 m    | 759                   | » » |
| » » » »                               | 2,28 m    | 883                   | » » |

2) Barges de 195  $\times$  35 pieds :

|                                       |           |                        |     |
|---------------------------------------|-----------|------------------------|-----|
| Longueur                              | 59,50 m ; |                        |     |
| Largeur                               | 10,05 m ; |                        |     |
| Déplacement à l'enfoncement de 1,67 m |           | 968 tonnes métriques ; |     |
| » » » »                               | 1,98 m    | 1.160                  | » » |
| » » » »                               | 2,28 m    | 1.350                  | » » |

Tous ces essais ont été effectués par une profondeur de 12" soit 3,66 m.

Contrairement à ce qui avait été pratiqué par le professeur SADLER la flottille de deux barges était constituée de barges en file et non à couple.

Les tableaux N<sup>os</sup> 5 et 6 donnent la résistance pour une vitesse de 10 km à l'heure ; ils sont déduits des chiffres du professeur BAIER en prenant la moyenne des données relatives à 6 et 6,5 milles terrestres.

Tableau N<sup>o</sup> 5. — *Résistance de barges remorquées à 10 km/h dans une profondeur de 12 pieds (selon BAIER).*

| Tirant d'eau                              | Tirant d'eau :<br>profondeur | Résistance en kg<br>par tonne de déplacement |                     |                        |                        |
|---|------------------------------|--|---------------------|------------------------|------------------------|
|   |                              | 1 barge                                      | 2 barges<br>en file | 4 barges<br>2 de front | 6 barges<br>2 de front |
| 1 <sup>o</sup> Barges de 1 × 5 × 26 pieds |                              |  |                     |                        |                        |
| 1,67 m                                    | 0,46                         | 2,37   | 1,97                | 2,13                   | 1,91                   |
| 1,98 m                                    | 0,54                         | 2,45   | 1,85                | 2,03                   | 1,80                   |
| 2,28 m                                    | 0,63                         | 2,59   | 1,78                | 2,03                   | 1,72                   |
| 2 <sup>o</sup> Barges de 195 × 35 pieds.  |                              |  |                     |                        |                        |
| 1,67 m                                    | 0,46                         | 2,37   | 1,80                | 2,00                   | 1,65                   |
| 1,98 m                                    | 0,54                         | 2,39   | 1,70                | 1,94                   | 1,54                   |
| 2,28 m                                    | 0,63                         | 2,48   | 1,66                | 1,96                   | 1,48                   |

Tableau N<sup>o</sup> 6. — *Coefficient de résistance par rapport à la barge isolée (selon BAIER).*

| Tirant d'eau :            | 1    | 2    | 4    | 6    | R 6/R 4 |
|---------------------------|------|------|------|------|---------|
| Barges de 175 × 26 pieds  |      |      |      |      |         |
| 1,67 (0,458)              | 1,00 | 0,83 | 0,90 | 0,81 | 0,90    |
| 1,98 (0,542)              | 1,00 | 0,75 | 0,83 | 0,74 | 0,89    |
| 2,28 (0,625)              | 1,00 | 0,69 | 0,78 | 0,66 | 0,85    |
| Barges de 195 × 35 pieds. |      |      |      |      |         |
| 1,67 (0,458)              | 1,00 | 0,76 | 0,84 | 0,70 | 0,84    |
| 1,98 (0,542)              | 1,00 | 0,71 | 0,81 | 0,64 | 0,79    |
| 2,28 (0,625)              | 1,00 | 0,67 | 0,79 | 0,60 | 0,76    |

Il apparaît que par tonne de déplacement la résistance relative à une flottille de 6 barges n'est que de 80 à 90 % de celle relative à une flottille de 4 barges.

A vitesse constante, en moyenne on peut admettre, 85 %; la poussée à exercer pour 6 barges est 1,3 fois celle nécessaire pour 4 barges; à poussée constante la vitesse avec 6 barges sera d'environ 88 % de celle atteinte avec 4 barges. Il s'agit évidemment de la vitesse par rapport à l'eau; compte tenu d'un courant de 3,5 à 4 km à l'heure, la durée du voyage aller et retour sera accrue de quelque 17 %. La capacité de la flottille étant en même temps augmentée de 50 %, les tonnes kilomètres réalisées seront dans le rapport  $1,5 \times 0,83 = 1,25$  soit un gain de rendement de 25 %.

#### ESSAIS EN VRAIE GRANDEUR.

Dans son étude sur « la résistance à l'avancement des allèges... », M. HANSSENS cite des résultats pratiques obtenus en Afrique; l'effort de traction à exercer sur une barge 0 de 65 m de longueur au tirant d'eau de 1,60 m pour lui imprimer une vitesse de 10 km/h est de l'ordre de 1.600 kg; le déplacement à ce tirant d'eau étant de 750 tonnes, la résistance par tonne de déplacement est de 2,1 kg.

La profondeur d'eau n'est pas précisée, mais M. LEDERER signale dans une communication à l'U. B. I. N. (*Annuaire 1941-48*, page 65) que les essais en rivière par 10 m de profondeur donnent des résultats équivalents à ceux des essais en bassin correspondant à une profondeur de 3,50 m; en d'autres termes, les résistances enregistrées en rivière sont plus élevées que celles fournies par les essais en bassin.

M. LEDERER attribue cette discordance aux causes suivantes :

- 1) Sur le fleuve la barge se trouve dans le sillage du propulseur ;
- 2) La barge n'avance pas en conservant son plan longitudinal parallèle au parcours à effectuer ;
- 3) Les erreurs de parcours allongent le chemin parcouru ; la vitesse réelle est donc plus grande que la vitesse calculée.

Dans une autre communication relative à « La propulsion des bateaux coloniaux » (*Annuaire U. B. I. N.*, 2<sup>e</sup> volume, page 341), M. LEDERER reprend la comparaison entre les résultats obtenus en bassin et ceux enregistrés en rivière.

On avait enregistré à Wageningen pour une barge de 800 tonnes ayant un tirant d'eau de 1,60 m et navigant en profondeur illimitée une résistance de 989 kg.

En rivière, la même barge naviguant par 8 m de profondeur opposait une résistance de 1.760 kg.

L'écart est considérable (78%) ; néanmoins, M. LEDERER relie ces résultats l'un à l'autre en utilisant trois coefficients :

- Le premier tenant compte de la profondeur limitée et qu'il fixe à 1,13 ;
- Le second tenant compte des coutures des rivets et qu'il prend égal à 1,10 ;
- Le troisième tenant compte du flux du propulseur et que selon GEBERS il estime à 1,40.

Il est bien certain que ces coefficients correcteurs sont d'une valeur discutable ; il est d'ailleurs généralement admis que des essais sur modèles effectués dans des profondeurs limitées donnent des résultats qui ne présentent pas avec la réalité une concordance aussi satisfaisante que celle enregistrée dans le cas de profondeurs illimitées.

On trouvera sur cette question d'intéressantes considérations dans l'article *Resistance of Barges in Deep and Shallow water* par J. F. ALLAN et W. P. WALKER qui figure au compte rendu de la réunion tenue le 25 septembre 1947 à Southampton par l'*Institution of Naval Architects*.

La question est traitée également dans la partie de l'exposé de BAIER (*The Resistance of barges and flottillas*) intitulée *Tank testing technique* (pages 46 à 48) et dans la discussion qui a suivi la présentation du mémoire de BAIER (particulièrement l'intervention de COMSTOCK, pages 55 à 58).

Les résultats obtenus par le professeur SADLER ont pu être rapprochés de ceux fournis par des essais effectués en 1916-17 à l'aide du remorqueur *Nokomis* et dont il est rendu compte dans le second volume intitulé *Experimental Towboats* publié en 1921 (*House of Representatives*, document n° 108). Ce remorqueur à roue arrière à pales fixes a été utilisé avec des barges ayant les caractéristiques suivantes :

|  |           |
|--|-----------|
| Longueur entre perpendiculaires                        | 46,45 m ; |
| Longueur des parties relevées à l'avant et à l'arrière | 4,90 m ;  |
| Largeur hors tout                                      | 10,40 m ; |
| Tirant d'eau pour un déplacement total de 720 t        | 1,53 m.   |

Ces barges correspondaient sensiblement à celles portant le N° 6 dans les essais de SADLER. La résistance enregistrée pour une vitesse de 5,25 milles terrestres par heure ou 8,5 km à l'heure fut :

— Pour une flottille de 4 barges 3,37 lbs par short ton soit 1,68 kg par tonne métrique ;

— Pour une flottille de 6 barges 3,13 lbs par short ton soit 1,56 kg par tonne métrique.

Le gain ne serait que de 7 %, mais il convient de remarquer que la comparaison que nous avons faite en utilisant les chiffres de BAIER portait sur une vitesse de 10 km à l'heure.

Quoi qu'il en soit, la résistance enregistrée dans l'essai pratique effectué en rivière ne s'écarte guère des résultats que faisaient escompter les mesures effectuées au bassin des carènes :

— 1,65 kg par tonne métrique pour une flottille de 6 barges N° 6 navigant en eau profonde à la vitesse de 8,5 km à l'heure (voir tableau N° 2).

M. DAWSON dans l'article *Power of shallow-draft river towboats* (*Transactions of The Society of naval architects and marine engineers*, volume 45, 1937, page 145) donne les courbes de résistance obtenues avec 3 remorqueurs différents pour une flottille de 6 barges à charbon ancien modèle déplaçant au total 6,700 short tons soit 6.080 tonnes métriques, propulsée à des vitesses comprises entre 4 et 5,5 milles terrestres par heure.

À la vitesse de 5,25 milles terrestres à l'heure ou 8,5 km à l'heure correspond une résistance de 17.500 lbs soit 2,6 lbs par short ton ou 1,3 kg par tonne métrique. Ce chiffre correspond à celui fourni pour la barge N° 4 par le tableau 2 pour une flottille de six barges.

D'autre part, des essais effectués avec le matériel de la C<sup>ie</sup> Générale des Transports en Afrique (R. VANDERLINDEN, *Matériel de remorquage en poussée*, pages 311 et 312) ont montré qu'un remorqueur développant à 920 tours par minute et à la vitesse de 10,4 km à l'heure, une poussée de 1.100 kg propulsait à cette vitesse une barge déplaçant 434 tonnes ; la résistance dans ces conditions était donc de 2,5 kg par tonne, résultat beaucoup plus favorable que celui que ferait prévoir le graphique fig. 2.

L'analyse des planches 30 et 33 de la brochure *Ex-*

*perimental Towboats, 1921*, donne pour la puissance indiquée à différentes vitesses les résultats du tableau N° 7.

Tableau N° 7. — *Essais du S/W NOKOMIS.*

| Vitesse km/h | Puissance indiquée — HP |                      |
|--------------|-------------------------|----------------------|
|              | 4 barges 2880 tonnes    | 6 barges 4320 tonnes |
| 6,5          | —                       | 200                  |
| 7,0          | 160                     | 250                  |
| 7,5          | 200                     | 320                  |
| 8,0          | 240                     | 400                  |
| 8,5          | 285                     | 500                  |
| 9,0          | 340                     | 600                  |
| 9,5          | 430                     | —                    |
| 10,0         | 530                     | —                    |

Ces essais montrent que la puissance indiquée est pour 6 barges supérieure à 150 % de ce qu'elle est pour 4 barges. Il faut attribuer ce résultat au fait que la roue à pales fixes utilisée n'était pas appropriée aux conditions d'exploitation avec 6 barges. Avec 4 barges le recul était de 22 à 23 % pour des vitesses comprises entre 6 et 9 km à l'heure, alors qu'avec 6 barges pour les mêmes vitesses le recul est compris entre 33 et 37 % ; en même temps le rendement qui pour les mêmes vitesses était compris entre 51 et 44 % pour 4 barges tombe entre 43 et 37 % pour 6 barges.

Des essais effectués à l'aide du même remorqueur pourvu d'une roue à pales mobiles n'ont pas donné de résultats utilisables en raison des défauts de construction de la roue (voir pages 10 et 34 du 2<sup>e</sup> rapport *Experimental Towboats, 1921*). Dans une communication à la *Society of Naval Architects and Marine Engineers*, faite en 1937 par M. DAWSON, ingénieur en chef de Dravo Corporation et intitulé *Power of Shallow-draft river towboats*, il attire l'attention sur l'importance que peuvent acquérir certaines conditions pratiques dont les essais

rendent mal compte. Il signale à ce propos (page 156) que l'insertion d'une barge dynamomètre entre un remorqueur à roue arrière et la flottille qu'il poussait modifia considérablement les conditions de gouverne de l'ensemble, en raison de ce que la position du gouvernail et de la roue dans le remous occasionné par les barges était modifiée.

Le tableau N° 8 montre qu'avec une flottille de 4 barges, le *Nokomis* remorquait à la vitesse de 10 km à l'heure 5,4 tonnes par cheval indiqué ; ce chiffre est à rapprocher de ceux que l'on peut déduire du graphique fourni par M. LEDERER dans son étude sur la propulsion des bateaux coloniaux (*U. B. I. N. 1941-1948*, page 349) : un déplacement de 2.900 tonnes réparti entre 3 ou 4 barges nécessite une puissance de 560 ou 620 chevaux.

D'autre part, à égalité de puissance (530 chevaux), la vitesse tombe de 10 km à l'heure à 8,7 km à l'heure lorsqu'on passe de 4 à 6 barges. Ce résultat correspond à ce que faisaient prévoir les chiffres du tableau n° 6.

## CONCLUSIONS PRATIQUES.

1° Des éléments d'appréciation rappelés ci-dessus on peut conclure que, bien que la résistance individuelle des barges rectangulaires du type américain soit plus élevée à égalité de déplacement que la résistance des barges formées du type rhénan, l'écart s'atténue lorsqu'on considère une flottille de plusieurs barges et disparaît dès que leur nombre atteint 4 ou 6 ;

2° Si la puissance du remorqueur le permet il sera généralement plus avantageux de pousser une flottille de 6 barges à vitesse réduite plutôt qu'une flottille de

4 barges à une vitesse un peu plus élevée. L'exemple des essais du *Nokomis* montre cependant que tout l'avantage résultant de la réduction de résistance de la flottille peut être perdu si les conditions de fonctionnement sont telles que le rendement du propulseur en soit affecté ;

3° Au moment où le mode de remorquage en poussée tend à se développer sur les rivières du bassin congolais, il serait opportun qu'une série d'essais systématiques soient entamés pour étudier, comme les Américains l'ont fait, les caractéristiques des flottilles et des remorqueurs les mieux appropriés.

Bruxelles, le 26 mars 1954.

#### BIBLIOGRAPHIE

- J. F. ALLAN et W. P. WALKER. Résistance of Barges in Deep and Shallow water (Compte rendu de la réunion tenue le 25 septembre 1947 à Southampton par l'Institution of Naval Architects).
- L. A. BAIER. The resistance of barges and flotillas (*Transactions of the Society of Naval Architects and Marine Engineers*, volume 55, pages 45 à 67).
- M. B. E. BARR. The History and Developpment of Machinery for Paddle Steamers (*Transactions of the Institution of Engineers et Shipbuilders in Scotland*, pages 101 à 148).
- E. W. BOGAERT. Contribution à l'étude de la résistance à l'avancement des bateaux dans le canal Albert (Congrès International des ingénieurs navals, pages 65 à 85, Georges Thone, Éditeur, Liège).
- A. J. DAWSON. Power of river towboats (*Transaction of Society of Naval Architects and Marine Engineers*, volume 4, 1947, pages 145 à 159).
- J. GHILAIN. Remorquage en poussée au Congo belge (*Bulletin des Séances de l'Institut Royal Colonial belge*, 1949, pages 929 à 944).
- E. HANSSENS. Résistance à l'avancement des allèges naviguant sur le réseau fluvial du Congo belge (*Annuaire de l'Union belge des Ingénieurs Navals*, UBIN, 1<sup>er</sup> volume, 1930-1941, pages 783 à 863).
- A. LEDERER. La propulsion des bateaux coloniaux (*Annuaire de l'UBIN*, 2<sup>e</sup> volume, 1941-1948, pages 329 à 378).
- H. C. SADLER. The resistance of various types of barges in shallow and

- deep water (*Transaction of the Society of Naval Architects and Marine Engineers*, volume 24, 1916, pages 171 à 174).
- Experimental towboats (House of Representatives ; document n° 857. Washington, Government printing office 1914).
- Experimental towboats (House of Representatives, document n° 108. Washington, Government printing office 1921).
- R. VANDERLINDEN. Matériel de remorquage en poussée de la Cie Générale des Transports en Afrique (*Bulletin des Séances de l'Institut Royal Colonial Belge*, 1949, pages 310 à 315).

**K. Bollengier. — La défense de la presqu'île de Banana.**

Je n'ai pas assisté à la séance du 18 décembre 1953 de la Section des Sciences techniques de l'Institut, séance au cours de laquelle a été présentée une étude de M. BROSIUS, sur « L'exploitation des roches bitumineuses et asphaltiques du Congo belge ».

Ce n'est que par la publication du *Bulletin des Séances*, XXIV, 1953-4 (p. 1592 et suivantes) que j'ai pu prendre connaissance de cette étude.

L'auteur énumère, à la page 1602, les travaux pour lesquels les mastics d'asphalte de Mavuma (Mayumbe) peuvent être employés. C'est ainsi qu'il parle même des pavements en asphalte rouge du hall de la Banque de la Société générale, rue Royale, à Bruxelles, pavement toutefois pas exécuté en mastic de Mavuma-Mayumbe ! Mais c'est ainsi, surtout, qu'il déclare, sans plus :

« Peut-être le mastic d'asphalte de Mavuma permettra-t-il de résoudre, un jour, d'une manière définitive, le problème de l'érosion de la pointe de la presqu'île de Banana ? »

Je souligne, dans le texte cité, quelques mots, afin de montrer que l'auteur ne semble pas être au courant de la question de l'érosion, passée, de la dite pointe.

J'ai soulevé, très sommairement, la question de la pointe de la presqu'île de Banana en un mémoire présenté à notre Section, à la séance du 30 janvier 1953 (1).

J'y ai dit que la presqu'île de Banana, longue et étroite,

---

(1) K. BOLLENGIER, Le port de Matadi (*Mémoires*, coll. in-8°, Tome IX, fasc. 3, 1953, p. 59 et suiv.).

semble (voir fig. 1) constituer une formation en « flèche » (*haak, hook*), la flèche étant dirigée du Nord au Sud.

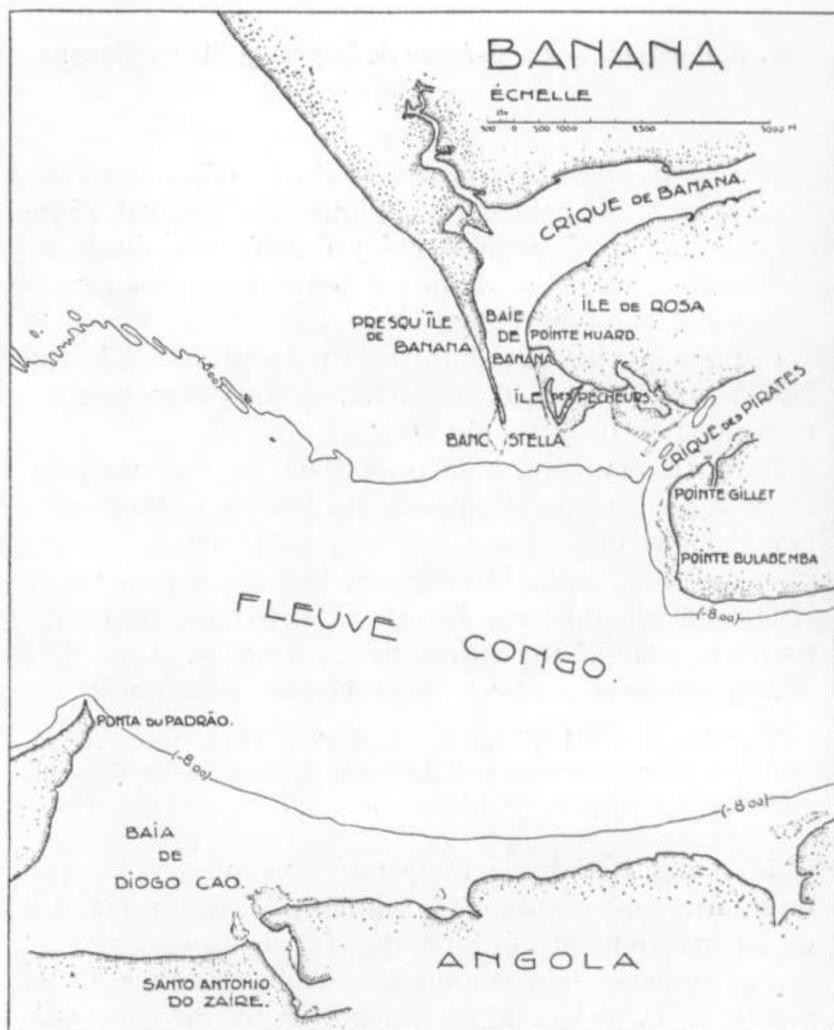


FIG. 1. — Région de Banana.

J'y ai déclaré que cette presqu'île se perdait de façon importante, depuis de nombreuses années, par l'érosion de sa pointe (Sud). Je signalais, en outre, qu'en 1948,

un raccourcissement, presque du coup, s'y était produit, sur quelque 40 m, par affaissement de la pointe. J'ajoutais qu'une érosion très dangereuse s'était produite, également, le long de la rive ouest (côté océan), érosion qui avait rongé cette rive sur quelque 25 m de profondeur (mesurée normalement à la rive) en causant la disparition, entre autres, d'une magnifique allée de cocotiers, une des beautés de la presqu'île, de même que des ruines de quelques vieux bâtiments datant des premiers jours de la présence d'Européens commerçants à Banana, bâtiments dont quelques restes étaient encore visibles, à marée basse, sur l'estran maigrissant, en 1948...

Je signalais que la largeur de la presqu'île s'était vue réduite jusqu'à environ 35 m, à quelque 900 m de l'extrémité de la pointe.

Mais, j'ajoutais qu'il avait été proposé, au ministre des Colonies, eu égard à la situation calamiteuse, de prendre d'urgence les mesures efficaces et indispensables en vue d'enrayer les affaissements à la pointe et l'érosion de la rive ouest, et d'éviter ainsi la rupture et la destruction de la presqu'île, qui constitue une défense naturelle, contre l'océan, de la baie de Banana.

La proposition, faite par moi-même, prévoyait l'établissement d'ouvrages semblables à ceux servant à la défense et à l'engraissement d'estrans à plage de sable.

— Je disais, en ma communication, que le plan de défense n'a été mis en application, en fait, qu'en 1951, au début avec des moyens de fortune, mais que les travaux ont été poussés méthodiquement, et convenablement, depuis 1952. Je signalais que ces travaux ont, depuis lors, non seulement arrêté totalement tout affaissement et toute érosion, mais qu'ils ont provoqué l'engraissement, sur grande échelle, des rives sud et ouest, attaquées, de la presqu'île, en donnant même des résultats inespérés : la presqu'île s'allonge et s'élargit très

fortement, comme le montrent les indications données ci-après.

Il résulte, de ceci, qu'il ne faut donc plus (voir plus haut) inventer un système quelconque, pas même un système au mastic d'asphalte, de Mavuma ou autre, pour résoudre, un jour, d'une manière définitive, le problème de l'érosion de la pointe de la presqu'île de Banana, ce problème étant résolu, complètement et définitivement, disons depuis 1952. On pourra réserver l'asphalte du Mayumbe à d'autres buts...

Je disais, dans mon mémoire prérappelé (p. 63), qu'une étude pourrait être faite sur les travaux de défense de la presqu'île, quand ces travaux seraient plus avancés.

Le texte précité de M. BROSIUS, m'amène à donner dès maintenant des indications sur les résultats déjà obtenus dans la défense de la presqu'île, bien que les travaux ne soient pas encore terminés.

\* \* \*

Le traitement à l'asphalte n'est, d'ailleurs, pas le seul moyen qui ait été proposé pour résoudre le problème de l'érosion de la presqu'île, c'est-à-dire pour sauver la pointe de celle-ci.

On a proposé, il y a de nombreuses années, d'établir devant la rive ouest de la presqu'île — coté océan — à quelque 80 à 100 m de cette rive, un peigne à peu près rectiligne, constitué de troncs de borassus, battus dans l'estran, ces troncs laissant entre eux des vides de quelque trois fois leur diamètre. Cet ouvrage, du genre « *staande dekwerk* », aurait pour but de diminuer, par sa présence, l'énergie des ondes venant frapper l'estran, et de modérer l'attaque sur celui-ci.

Ce peigne a été construit. Il a, toutefois, lors de son établissement, fallu agir suivant des règles empiriques, donnant, entre autres, sa distance à la rive par rapport

à la hauteur des vagues, et l'entredistance des troncs, c.-à-d. l'importance des vides par rapport aux pleins. Cette entredistance ne pouvait pas être trop grande, afin d'obtenir un freinage suffisant de l'énergie des vagues ; elle ne pouvait, non plus, être trop petite afin d'éviter la destruction du peigne par les chocs et par les affouillements trop importants de l'estran, devant l'ouvrage. Il s'agit là d'indications ne pouvant être données que par la pratique, à la suite d'essais suffisamment nombreux, si possible sur le même estran.

Le peigne, ainsi construit devant la presqu'île de Banana, n'a pas eu les résultats espérés, n'a pas pu arrêter l'érosion de la rive ouest, qu'il aurait dû défendre. Peut-être ses vides auraient-ils dû être moins importants par rapport à la distance du peigne à la rive. On pourrait, évidemment, essayer d'établir un second peigne, à vides plus réduits, entre le premier et la rive. Les résultats actuellement acquis par la défense de la presqu'île, par épis-brise-lames, rendent, toutefois, la construction d'un second peigne tout à fait inutile.

Un peigne similaire, mais exécuté en palplanches métalliques, a été établi également, vers la même époque, devant une rive fortement attaquée de la baie d'Albertville. Il n'a, non plus, donné le résultat espéré. La rive a reçu une défense efficace constituée de gros blocs de pierres, et a été stabilisée ainsi. Les palplanches métalliques du peigne peuvent être extraites ; elles constituent une réserve de matériaux réutilisables.

On a proposé des mesures plus radicales, c.-à-d. la construction d'un rideau plein, en palplanches métalliques, ceinturant complètement la partie étroite de la presqu'île, c.-à-d. un rideau de très grande longueur. Solution extrêmement coûteuse, et peut-être dangereuse. Très dangereuse eu égard aux affouillements, très importants, pouvant se produire le long de — devant — cette

ceinture, affouillements qui pourraient mettre en danger l'existence même du rideau, à moins de donner aux palplanches une fiche, c.-à-d. une longueur extraordinaire.

Les auteurs de cette proposition ont insisté fortement, pour l'acceptation de ce projet, auprès d'autorités gouvernementales, alors que les travaux en cours pour la défense de la presqu'île donnaient déjà des résultats extraordinaires et que toute régression des rives de la presqu'île était déjà enrayée !

Les autorités gouvernementales responsables n'ont pas donné suite à ce projet.

Il est presque inutile d'attirer l'attention sur d'autres solutions proposées. Par exemple, sur celle consistant dans le dragage de sables dans la baie de Banana et le déversement de ces sables devant les rives menacées de la presqu'île ! Comme si ces sables n'auraient pas été enlevés et balayés par les courants et par les vagues...

Il y a, d'ailleurs, la déclaration, prérappelée, de M. BROSIUS, quant à un système de défense au mastic d'asphalte de Mavuma, pour un problème qui ne se pose plus.

Il ne fallait pourtant pas, pour la défense de la presqu'île de Banana, à rives présentant des plages de sable, vers la mer, inventer un système particulier de protection. Il suffisait d'imaginer, pour ces rives, *mutatis mutandis*, un système de défense tel que celui appliqué, entre autres, sous les côtes belges, hollandaises et allemandes, également à estran de sable. On pouvait le faire d'autant plus facilement qu'un état d'équilibre avait existé longtemps au droit de la presqu'île de Banana. On pouvait le faire, surtout, parce que la formation, en

« flèche », de la pointe menacée de perdition, semble avoir été due à un apport naturel — dans les temps — de grandes quantités de sable, apport arrêté et renversé, avant 1948, par des causes inconnues.

Il suffisait, pouvait-on espérer, d'appliquer ce système, de notre côte, à la presqu'île qui semblait se trouver à la limite d'un équilibre, peut-être facile à rétablir.

\* \* \*

On a donc jeté, on continue à jeter devant les rives sud et ouest, en perdition, de la pointe, des épis-brise-lames, comme ceux construits sous la côte belge, mais à section transversale très réduite, peu importante, eu égard à la condition, primordiale, de diminuer le plus possible les dépenses, en limitant le volume des matériaux pierreux, qui font défaut à Banana et qui doivent être amenés de Boma.

L'établissement d'un système de défense pour un estran à plage de sable, par des épis-brise-lames, devant arrêter et retenir les sables, suppose la connaissance de l'emplacement, du tracé, de la longueur et des profils longitudinal et transversal de ces ouvrages, le profil transversal devant présenter des pentes douces, afin d'éviter les affouillements trop importants, qui ruineraient l'estran.

Il fallait établir, en vue de l'exécution, un plan général, à tracés d'avant-projet, tant pour les entredistances que pour les directions, la longueur et les profils des épis, ces tracés pouvant et devant être revus au fur et à mesure des constatations à faire pendant l'exécution des travaux, au vu des réactions de la nature, c.-à-d. des engraisements et des maigrissements de l'estran qui pourraient se produire et de l'importance de ceux-ci.

Il fallait, au début, partir d'un plan général, mais en agissant par tâtonnements. Il ne fallait pas s'attaquer

à la construction, à la fois, de tous les épis-brise-lames, mais à l'établissement de quelques-uns seulement de ces ouvrages, ou de parties de ceux-ci, au début, et ce par groupe d'épis, suivant l'exposition des épis, de chaque groupe, par rapport à la mer, c.-à-d. par rapport aux courants et aux vitesses de translation des vagues.

Il fallait donc, à côté d'un dispositif d'avant-projet général raisonnable, établi sur des bases classiques, défendables, à modifier au besoin, en cours de l'exécution, au vu des résultats déjà acquis, disposer sur les lieux d'un observateur ayant l'œil, sachant observer et intervenir immédiatement, au besoin en tâtonnant, en devinant. C'est-à-dire d'un observateur pouvant acquérir rapidement les éléments d'une pratique toute nouvelle pour lui.

L'expérience a été acquise très vite, à Banana, par un fonctionnaire du Service des Voies navigables, un conducteur civil de grand talent, le chef de section, M. PUISSANT, qui s'est distingué, à la Colonie, dans l'exécution extraordinaire de tous genres de travaux du Génie civil et, pour la première fois, à Banana, dans les travaux de défense de la côte. Ce, sous la direction aidante de son chef, le directeur du Service des Voies navigables, M. ROMBOUTS.

Il faut d'ailleurs signaler tout le personnel de la section du Bief maritime du Service des Voies navigables qui, avec un cœur extraordinaire, s'est attelé, par amour du métier, à une nouvelle tâche, obscure au début. Le service trouve, d'ailleurs, sa juste récompense dans le plein succès des travaux, succès plus qu'espéré, obtenu au moment où, dans une colonie voisine, une presqu'île, également en flèche, aussi à plage de sable, se perd, avec destruction de bâtiments, etc... entraînés à la mer.

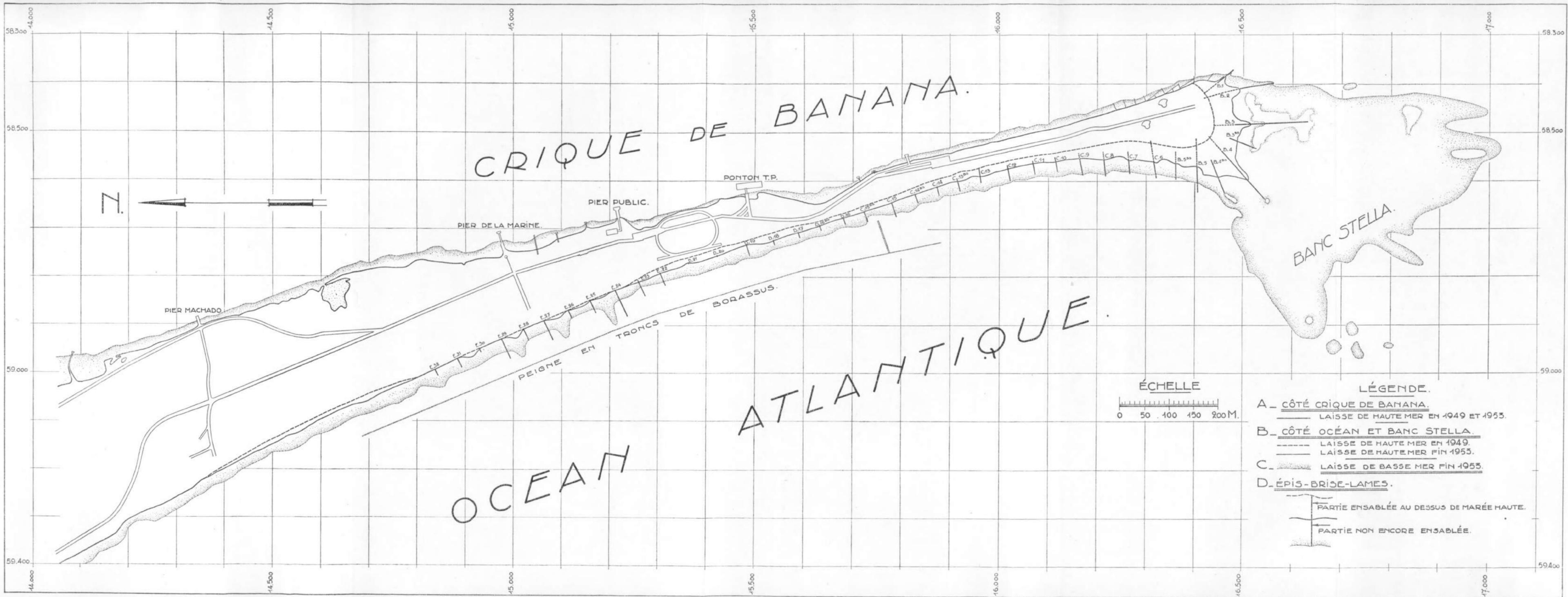


FIG. 2.

La fig. 2 est indicative des tracés des épis-brise-lames déjà établis et des résultats déjà acquis.

Il faut faire remarquer, à ce sujet, que les épis ont été jetés, au début, sur longueur réduite pour chacun d'eux, devant les rives sud et sud-ouest de la pointe et qu'ils ont été allongés au fur et à mesure des engraissements acquis, par eux, en ces endroits. Leur établissement et leur allongement ont été lents, au début, par suite du manque des matériaux pierreux indispensables.

L'effort a, d'ailleurs, été porté, au début, sur l'extrémité de la pointe, également afin d'y provoquer, au plus vite, un engraissement important du Banc Stella, qui soutient et qui doit maintenir la pointe de la presqu'île.

L'extension, par engraissement, de ce banc favorise, d'ailleurs, le dépôt des sables devant la partie sud de la rive ouest de la presqu'île, les résultats acquis par les travaux déjà exécutés se faisant sentir de plus en plus vers le Nord.

Les épis ayant été établis d'abord sous la rive sud de la pointe et devant l'extrémité sud de la rive ouest, il est évident que les résultats déjà acquis sont les plus remarquables et les plus importants en ces endroits. Il résulte des indications de la fig. 2 que la pointe s'est *allongée*, depuis 1950, vers le sud, sur 50-60-70 m, la pointe s'étant *élargie*, en même temps, de 125 m à 190 m, étant entendu que les gains dont question ont été acquis *au-dessus de marée haute*, c.-à-d. à deux mètres au-dessus de marée basse.

Les engraissements acquis jusqu'ici le long de la rive ouest, vers l'océan, au-dessus de marée haute, ont une largeur de 40 à 50 m sur quelque 300 m de longueur de cette rive, comptée à partir de l'extrémité sud de la pointe. Ce gain pourra être augmenté très fortement, peut-on croire, dès que les épis établis devant cette partie de la rive ouest auront été allongés.

Plus au nord de ces 300 m de la rive ouest, là où les

épis ont été établis plus récemment et sont encore relativement courts, les gains n'ont pas encore acquis la même importance, évidemment. Ils sont pourtant déjà très forts : de 30 à 20 m le long de 300 m suivants (au Nord) de cette rive et de 20 à 10 m sur encore 300 m plus vers le Nord. La largeur de la pointe, à sa partie la plus étroite (à quelque 900 m de l'extrémité sud de la pointe, situation 1949), a été portée d'environ 35 m à quelque 45 m.

L'engrèvement de la rive ouest de la pointe, au-dessus de marée haute, est accompagné d'ailleurs d'un fort élargissement de l'estran mouillé (entre les laisses de marée haute et de marée basse), élargissement qui facilite l'établissement et l'allongement des épis devant cette rive, et qui freine fortement l'attaque des vagues.

Mais cet estran mouillé s'est surtout élargi au sud et au sud-ouest de l'extrémité de la pointe, où le Banc Stella, soutien et défense de celle-ci, s'est développé très fortement au-dessus de la laisse de marée basse : on peut, à marée basse se promener sur ce banc, vers le sud, sur quelque 500 m de longueur !

L'allongement des épis établis devant quelques centaines de mètres de la rive ouest, près de l'extrémité de la pointe, devra, d'ailleurs, provoquer le développement du banc, au-dessus de marée basse, également devant cette rive.

De par l'allongement et l'élargissement de la presqu'île, au-dessus de marée haute, les épis deviennent inutiles, sur une grande partie de leur longueur, du côté de leur racine, au fur et à mesure de l'accroissement de l'engrèvement des rives. Les pierres des épis y deviennent disponibles : on les enlève pour les remettre en œuvre pour l'allongement des épis vers la mer, ou pour la construction de nouveaux épis. Ceci souligne la réalité, c.-à-d. l'importance du succès déjà obtenu.

Les travaux se poursuivent par l'établissement et par l'allongement d'épis sous la rive ouest de la presqu'île. Quand ceci sera fait, on pourra revenir vers les épis existant à l'extrémité sud de la pointe, afin d'y consolider encore la situation par l'allongement et l'élargissement de la pointe.

Il résulte de ce qui précède, et des indications de la fig. 2, que le problème de l'érosion de la pointe de la presqu'île de Banana *ne se pose donc plus, qu'il a obtenu sa solution.*

Il a suffi de traiter un estran de sable comme il convient de le faire, c.-à-d. sans heurts et sans chocs, en observant les règles de la continuité, comme on l'enseigne dans nos Écoles, au cours d'hydraulique maritime, de défense des côtes.

Le 26 mars 1954.

### Séance du 30 avril 1954.

La séance est ouverte à 14 h 30 sous la présidence de M. R. *Cambier*, directeur.

Sont en outre présents : MM. R. Anthoine, R. Deguent, E.-J. Devroey, G. Gillon, G. Moulaert, M. van de Putte, F. Van Deuren, membres titulaires ; MM. H. Barzin, A. Gilliard, E. Mertens, E. Roger, P. Sporcq, membres associés ; M. J. Van der Straeten, membre correspondant.

Excusés : MM. K. Bollengier, F. Campus, C. Camus, E. Comhaire, E. De Backer, I. de Magnée, M. De Roover, P. Fontainas, J. Lamoën, P. Lancsweert, M. Legraye, F. Olsen.

#### Désignation d'un secrétaire assistant.

En sa séance du 30 avril 1954 la Commission administrative a désigné M. M. *Walraet*, membre associé de la Section des Sciences morales et politiques, en qualité de secrétaire-assistant, pour être adjoint au Secrétaire général dans la préparation de la Commémoration du XXV<sup>e</sup> anniversaire de l'I. R. C. B., dont le programme sera communiqué ultérieurement.

#### Modifications au règlement des Concours.

Des répétitions ou autres imperfections étant apparues dans le règlement des concours organisés par l'I. R. C. B., la Commission administrative, en sa Séance du

## SECTIE VOOR TECHNISCHE WETENSCHAPPEN

### Zitting van 30 April 1954.

De zitting wordt geopend te 14 u 30 onder voorzitterschap van de H. R. Cambier, directeur.

Zijn insgelijks aanwezig: de HH. R. Anthoine, R. Deguent, E.-J. Devroey, G. Gillon, G. Moulaert, M. van de Putte, F. Van Deuren, titelvoerende leden; de H. H. Barzin, A. Gilliard, E. Mertens, E. Roger, P. Sporcq, buitengewone leden; de H. J. Van der Straeten, corresponderend lid.

Verontschuldigd: de HH. K. Bollengier, F. Campus, C. Camus, E. Comhaire, E. De Backer, I. de Magnée, M. De Roover, P. Fontainas, J. Lamoen, P. Lancsweert, M. Legraye, F. Olsen.

### Aanduiding van een secretaris-assistent.

Tijdens haar zitting van 30 April 1954 heeft de Bestuurscommissie de H. M. Walraet, buitengewoon lid van de Sectie voor Morele en Politieke Wetenschappen, als secretaris-assistent aangeduid, om adjunkt te zijn van de Secretaris-Generaal in de voorbereiding der herdenking van de XXV<sup>e</sup> verjaring van het K. B. K. I., waarvan het programma later zal meegedeeld worden.

### Wijzigingen aan het reglement der Wedstrijden.

Daar er herhalingen of andere onvolledigheden voorkwamen in het reglement der wedstrijden, georganiseerd door het K. B. K. I., heeft de Bestuurscommissie tijdens

30 avril 1954, a apporté les modifications suivantes à l'Annuaire 1953 par rapport au texte de l'Annuaire 1954 :

- p. 18 : Art. 19. Lire : « Les manuscrits des mémoires présentés à l'Institut, de même que les mémoires de concours, demeurent... » au lieu de : « Les manuscrits des mémoires de concours, de même que les mémoires présentés à l'Institut, demeurent... ».
- p. 20 : Supprimer les articles 26 à 30, qui font double emploi avec le règlement des Concours annuels. Remplacer ces art. par « Voir *Statuts*, art. 15 à 18, *Règlement*, art. 11 et 19 et ci-dessous *Concours annuels* ».
- p. 24 : A la suite de l'art. 3, ajouter « Art. 4. — (= *Statuts*, art. 16) Les membres de l'Institut ne peuvent prendre part aux concours annuels ».
- p. 24 : Supprimer l'art. 6 de manière à sanctionner l'usage que des travaux imprimés peuvent être présentés (cf. art. 14).
- p. 24 : Art. 7 : Ajouter : (= *Statuts*, art. 17).
- p. 25 : Art. 8 : Supprimer : « Ces mémoires ne sont pas rendus » (cette phrase fait double emploi avec l'art. 15, p. 26) ;
- p. 25 : Art. 10 : Ajouter : (= *Statuts*, art. 18).
- p. 26 : Art. 14 : Lire : « Les mémoires couronnés et non encore imprimés » au lieu de : « Les mémoires couronnés... ».
- p. 26 : Art. 15 : Lire : « Les mémoires soumis restent la propriété de l'Institut » au lieu de : « Les mémoires soumis sont et restent déposés dans les archives de l'Institut ».

Il a été tenu compte de ces modifications dans le texte publié au *Bull. des Séances*, pp. 18 à 26.

haar zitting van 30 April 1954, de volgende wijzigingen aangebracht aan het jaarboek 1953 in verband met de tekst van het jaarboek 1954.

blz. 19 : Art. 19. Lees : « De handschriften der verhandelingen, voorgelegd bij het Instituut, alsook de verhandelingen voor de wedstrijd, blijven... » in de plaats van : « De handschriften van voor wedstrijden ingediende, of aan het Instituut voorgelegde verhandelingen, blijven... ».

blz. 21 : De artikels 26 tot 30 schrappen, die een dubbel vormen met het reglement der jaarlijkse wedstrijden. Vervang deze art. door : « Zie *Statuten*, art. 15 tot 18, *Reglementen*, art. 11 en 19 en hieronder *Jaarlijkse Wedstrijden* ».

blz. 25 : Na art. 3 bijvoegen : « Art. 4. = (*Statuten*, art. 16). De leden van het Instituut mogen niet deelnemen aan de jaarlijkse wedstrijden ».

blz. 24 : Art. 6 schrappen, zodat het gebruik, dat gedrukte werken mogen voorgelegd worden, bekrachtigd wordt (cf. art. 14).

blz. 24 : Art. 7 : Voeg bij : « (= *Statuten*, art. 17) ».

blz. 25 : Art. 8 : Schrap : « Deze verhandelingen worden niet teruggeven » (deze zin vormt een dubbel met art. 15, blz. 26).

blz. 25 : Art. 10 : Voeg bij : « (= *Statuten*, art. 18) ».

blz. 26 : Art. 14 : Lees : « De bekroonde en nog niet gedrukte verhandelingen... » in de plaats van : « De gekroonde verhandelingen... ».

blz. 26 : Art. 15 : Lees : « De voorgelegde verhandelingen blijven de eigendom van het Instituut » in de plaats van : « De ingediende verhandelingen worden in de archieven van het Instituut bewaard ».

Met deze wijzigingen werd rekening gehouden in de

**L'isolement dans les réseaux électriques à très haute tension.**

Au nom de *M. G. de Rosenbaum*, *M. G. Gillon* présente un manuscrit intitulé comme ci-dessus (voir p. 977).

**Sur le permis de traitement dans la législation minière congolaise.**

*M. M. van de Putte* commente la note qu'il a rédigée sur ce sujet (voir p. 1012).

**Présentation de l'Annuaire hydrologique du Congo belge et du Ruanda-Urundi pour 1953.**

*M. E.-J. Devroey* présente le manuscrit dudit annuaire (voir p. 1024) qui paraîtra dans les mémoires in-8°.

**Représentation à l'Institut pour la Recherche scientifique en Afrique centrale (I. R. S. A. C.).**

MM. *F. Campus* et *E. du Trieu de Terdonck*, membres associés, ont été nommés membre du Conseil d'Administration de l'I. R. S. A. C., par arrêté royal du 15 mars 1954.

**Concours annuel 1956.**

Sur proposition de MM. *I. de Magnée* et *M. Legrave* d'une part et *I. de Magnée* et *P. Sporcq* d'autre part, la Section arrête comme suit les questions dudit concours :

a) *On demande des observations ou synthèses nouvelles susceptibles de faire progresser nos connaissances sur la structure et le mode de formation du Graben des Grands Lacs Africains ;*

b) *On demande une contribution à l'étude de la valorisation de substances minérales congolaises autres que des minerais ou des combustibles.*

tekst, gepubliceerd in de *Mededelingen der Zittingen*, blz. 18 tot 26.

**De isolering in de elektrische hoogspanningsnetten.**

In naam van de *H. G. de Rosenbaum*, legt de *H. G. Gillon* een handschrift voor getiteld zoals hierboven (zie blz. 977).

**Over de toelating van behandeling in de Kongolese mijnwetgeving.**

De *H. M. van de Putte* commenteert de nota die hij over dit onderwerp opstelde (zie blz. 1012).

**Voorlegging van het hydrologisch jaarboek van Belgisch-Kongo en Ruanda-Urundi voor 1953.**

De *H. E.-J. Devroey* legt het handschrift van dit jaarboek voor (zie blz. 1024). Het zal verschijnen in de verhandelingenreeks in-8<sup>o</sup>.

**Vertegenwoordiging bij het Instituut voor Wetenschappelijk Onderzoek in Centraal-Afrika (I. W. O. C. A.).**

De *HH. F. Campus* en *R. du Trieu de Terdonck*, buitengewone leden, werden, bij koninklijk besluit van 15 Maart 1954, benoemd tot lid van de Bestuurscommissie van het I. W. O. C. A.

**Jaarlijkse wedstrijd 1956.**

Op voorstel van de *HH. I. de Magnée* en *M. Legraye* enerzijds, en *I. de Magnée* en *P. Sporcq* anderzijds, weerhoudt de Sectie als volgt de vragen van voornoemde wedstrijd :

- a) *Men vraagt waarnemingen of nieuwe syntheses, vatbaar om onze kennis over de structuur en de wijze van vorming van de Graben van de Afrikaanse Grote Meren uit te breiden ;*
- b) *Men vraagt een bijdrage tot de studie van de valori-*

**Hommage d'ouvrages.**

**Aangeboden werken.**

Le *Secrétaire général* dépose sur le bureau les ouvrages suivants :

De *Secretaris-Generaal* legt de volgende werken neer op het bureau :

**BELGIQUE — BELGIË :**

HOLSTERS, H., Le calcul du mouvement non permanent dans les rivières par la méthode dite des « Lignes d'influence », note sur l'exactitude des résultats (Extrait de *La Houille Blanche*, 1954, 4, pp. 495-509. — Don du Waterbouwkundig Laboratorium, Borgerhout — Anvers).

**CONGO BELGE — BELGISCH-KONGO :**

Handboek der Openbare Werken (De Algemene Directie der Openbare Werken en Verbindingen van het Gouvernement-Generaal, Leopoldstad-Kalina, 1953, 466 blz.).

**AMÉRIQUE — AMERIKA**

**ÉTATS-UNIS D'AMÉRIQUE — VERENIGDE STATEN VAN AMERIKA :**

Housing Cooperatives in the United States, 1949-1950 (Housing and Home Finance Agency, Washington, 1951, 133 p.).

Housing of the Nonwhite Population, 1940 to 1950 (Housing and Home Finance Agency, Washington, 1952, 42 p.).

The Housing Situation 1950, an analysis of preliminary results of the 1950 Housing Census (Housing and Home Finance Agency, 1951, 30 p.).

Practices and Precepts of Marketing Prefabricated Houses (Housing and Home Finance Agency, Washington, 1952, 58 p.).

Relocatable Defense Housing, a Report to the Administrator (Housing and Home Finance Agency, Washington, 1952, 29 p.).

When you buy a home, look at the lot and neighborhood (Housing and Home Finance Agency, Washington, 1950, 14 p.).

Les remerciements d'usage sont adressés aux donateurs.

De gebruikelijke dankbetuigingen worden aan de schenkers toegezonden.

*satie van Kongolese minerale substanties, andere dan ertsen of brandstoffen.*

**Geheim Comité.**

Op aanvraag van geïnteresseerde, kennen de titelvoerende leden, verenigd in geheim comité, en onder voorbehoud van koninklijke bekrachtiging, de titel van erelid toe aan de *H. M. Dehalu*, wiens ouderdom en gezondheidstoestand hem verhinderen regelmatig de zittingen bij te wonen.

De zitting wordt te 15 u 20 opgeheven.

**Comité secret.**

A la demande de l'intéressé, les membres titulaires constitués en comité secret, confèrent, sous réserve d'approbation royale, le titre de membre honoraire à M. *M. Dehalu*, que son âge et son état de santé empêchent d'assister régulièrement à nos séances.

La séance est levée à 15 h 20.

**G. de Rosenbaum. — L'isolement dans les réseaux électriques à très haute tension.**

I. INTRODUCTION.

Nous avons étudié précédemment la façon de déterminer une ligne de transmission T. H. T. au Congo belge (1)\*. Nous nous proposons maintenant d'examiner comment une ligne de transmission, raccordée à une sous-station, influe sur le niveau d'isolement de l'appareillage installé dans celle-ci. Nous nous proposons ensuite d'examiner les résultats des dernières recherches relatives au choix des parafoudres et de leur emplacement dans les sous-stations. Enfin, nous nous proposons de passer brièvement en revue les bases des tendances actuelles de diminution des niveaux d'isolement des lignes de transmission et de l'appareillage des sous-stations.

L'ensemble de toutes ces questions revêt une grande importance du fait de la construction des lignes à T. H. T. pratiquement dans tous les pays du monde. En particulier au Congo belge un programme d'équipement hydroélectrique, en cours de réalisation ou en projet, rend l'étude des facteurs, à même de permettre de réaliser les installations d'une façon moderne et rationnelle, bien à l'ordre du jour.

Le Congo belge est une région tropicale, de niveau isokéraunique très élevé. Il est nécessaire d'en tenir compte en transposant les résultats, obtenus pour les régions modérées, aux cas propres au Congo belge. Dans ce but, nous indiquerons, au cours du texte, l'influence

---

\* Les chiffres entre parenthèses renvoient à la bibliographie, p. 1010.

du niveau isokéramique du Congo belge, quant à certaines conclusions obtenues pour les systèmes de transmission situés dans les régions modérées.

Notre éminent confrère, le professeur G. GILLON, à présenté, en 1937, une communication (22) sur les Progrès réalisés dans la protection des lignes électriques contre la foudre. Dans cette communication le mécanisme de la création des ondes de choc mobiles, naturellement par la foudre et artificiellement au laboratoire, est mis en évidence. De telles ondes mobiles sont à la base de l'étude qui suit.

## II. INFLUENCE DES COUPS DE FOUDRE SUR LES LIGNES DE TRANSMISSION ET PAR À-COUP SUR LES SOUS-STATIONS AUXQUELLES CES LIGNES DE TRANSMISSION SONT RACCORDÉES.

Les sous-stations à très haute tension sont raccordées à des lignes aériennes de transmission d'énergie. Ces lignes aériennes sont soumises à la foudre et aux surtensions atmosphériques ; elles sont de ce fait siège des ondes de choc qui s'écoulent vers les sous-stations raccordées à ces lignes aériennes.

L'onde de choc, créée par la foudre sur les conducteurs d'une ligne aérienne, se propage à la vitesse de 300 m par microseconde (\*). Un disjoncteur de ligne moderne élimine le défaut en 3 cycles environ (2), c'est-à-dire en 0,06 secondes dans le cas habituel de  $f = 50$  herz. Pendant ce temps l'onde de choc peut parcourir une distance de 18.000 km. Si cette onde de choc est générée à une distance inférieure à 18.000 km de la s/st. raccordée à la ligne aérienne, l'onde de choc passera à travers le dis-

---

(\*) Le courant électrique et les ondes de choc se propagent à une vitesse pratiquement égale à celle de la lumière.

joncteur, commandant la ligne aérienne avant que celui-ci ait eu le temps d'interrompre le circuit. Par conséquent, les ondes de choc, créées par la foudre, quelque part en ligne de transmission, atteindront les s/st. et celles-ci doivent être protégées contre ces ondes de choc.

L'onde de choc qui atteindra la s/st. a une amplitude qui dépend de la constitution de la ligne de transmission (3). Sauf dans les cas très rares des coups de foudre directs sur les conducteurs de courant, à proximité immédiate des s/st., l'amplitude de ces ondes de choc (3, 4 et 5) est au plus égale à

$$A \cdot \delta : (1 - k) \quad (1)$$

où A est le niveau d'isolement aux ondes de choc de la ligne de transmission au niveau de la mer.

$\delta$  est la densité de l'air de la région traversée par la ligne de transmission.

K est le facteur de couplage entre les câbles de garde et les conducteurs de courant de la ligne de transmission.

Ainsi une ligne aérienne, de tension nominale de 115 KV, isolée avec 9 éléments Ohio Brass, ayant de ce fait un niveau d'isolement  $A = 850$  KV, traversant une région de  $\delta = 0,855$  et ayant un facteur de couplage de 0,312, peut envoyer aux sous-stations, raccordées à cette ligne de transmission, des ondes de choc ayant une amplitude égale tout au plus à 1060 KV. La forme de ces ondes de choc, dont on doit tenir compte dans l'étude du comportement d'isolement de l'appareillage H. T., est l'une des suivantes :

- 1<sup>o</sup> *Ondes coupées* : dues à des coups de foudre directs sur les phases de la ligne et écoulement à travers les chaînes d'isolateurs vers les pylônes et vers la terre.

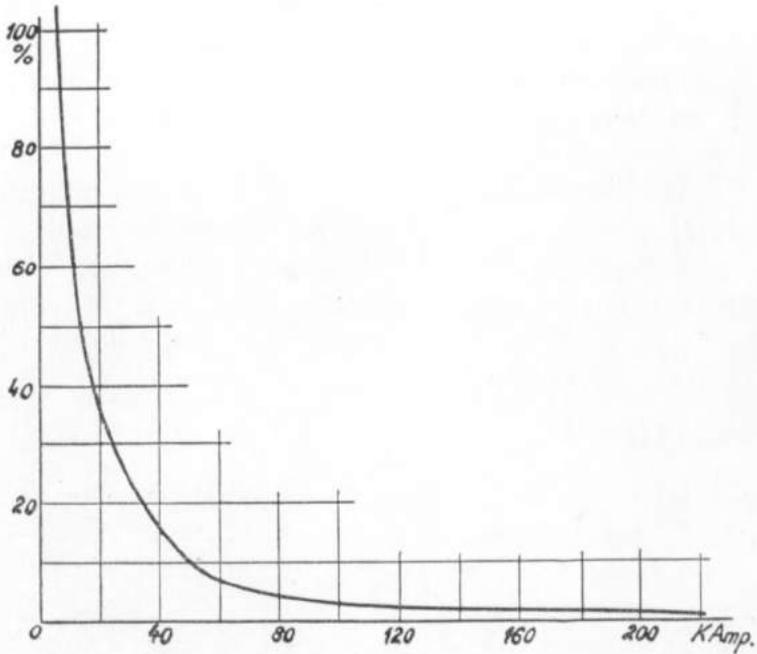


FIG. 1. — Pourcentage de décharges ayant une valeur de crête au moins égale à celle donnée par l'abscisse.

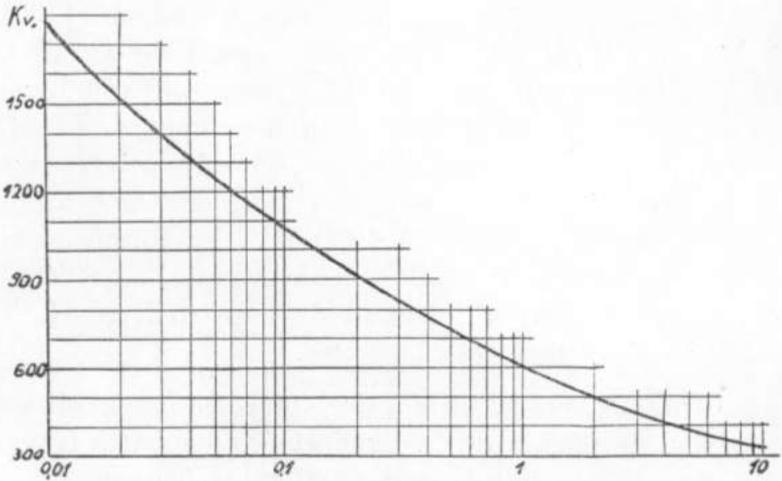


FIG. 2. — Nombre d'ondes de choc arrivant dans une sous-station de la ligne à 230 Kv par année de service et ayant une valeur de crête au moins égale à celle de l'ordonnée.

2° *Ondes pleines* : dues à des coups de foudre directs sur les phases, de potentiel assez faible ne provoquant pas le contournement des isolateurs, et écoulement vers les pylônes et vers la terre.

3° *Ondes à queue courte* : dues à des coups de foudres sur les câbles de garde et contournement des isolateurs, des pylônes vers les phases.

Les ondes de choc, créées sur les conducteurs de la ligne de transmission, dans la zone où cette ligne de transmission a été atteinte par la foudre, n'arrivent pas telles quelles à la sous-station. Lors de sa progression, l'onde de choc rayonne de l'énergie (corona) et en perd par échauffement des conducteurs (cette dernière perte est fonction d'un grand effet pelliculaire). Tout ceci fait que l'onde diminue de valeur de crête et de la raideur du front d'onde. De nombreuses expériences effectuées (CONWELL et FORTESCUE, MCEACHRON, HEMSTREET et RUDGE, BRUNE et EATON, etc...) ont pu confirmer que l'onde de choc a tous ces effets bien prononcés après 1 à 2 km de propagation le long d'un conducteur de ligne aérienne. Il résulte de là que seules les ondes de choc, créées sur 2 km de ligne aérienne adjacente à une s/st. sont dangereuses pour l'appareillage de cette sous-station. En ce qui concerne la fréquence de l'arrivée des ondes de choc dans une s/st., notons que dans les régions modérées, de niveau isokéraunique moyen de 30, il tombe 100 décharges atmosphériques par 100 « miles » de ligne (160 km) et par an. Les 2 km de ligne connectée à la s/st. reçoivent donc, dans ces régions modérées, 1,25 décharges atmosphériques par année de service. La ligne de transmission étant bien protégée par les câbles de garde (qui doivent offrir aux conducteurs de phase un angle de protection de 25 à 30°) une seule décharge parmi 1.000 décharges, atteint les phases

de la ligne de transmission. Le nombre des coups de foudre directs sur les phases de 2 km de ligne au voisinage de la s/st., est ainsi de  $1,25 \times 0,001$  par année de service. Ainsi une onde de choc par 800 ans de service, excessivement dangereuse, pourrait s'écouler dans les régions modérées, directement dans une s/st. Les 999 décharges, interceptées par les câbles de garde, ont une amplitude d'onde de choc donnée par (1). Les 1,25 décharges atmosphériques, sur les 2 km de ligne de transmission, ne conduisent pas toutes à un écoulement d'énergie de choc vers les phases de la ligne et à des ondes de choc s'écoulant vers les s/st. Pour que les chaînes d'isolateurs soient contournées, il faut que le potentiel « U » développé par la foudre, à la tête du pylône de la ligne, soit supérieur à la rigidité diélectrique de la chaîne d'isolateurs. On doit avoir :

$$U = Ri + L(di : dt) \geq A \cdot \delta : (1 - k) \quad (2)$$

où R = valeur de la résistance de prise de terre du pylône, 5 à 10 ohms en moyenne.

L = inductance des pylônes, 20 microhenry en moyenne.

i = courant de décharge à travers les pylônes.

Actuellement, on admet que la forme d'onde du courant « i » de décharge à travers les pylônes est de  $4 \times 40$  ms (3), (18).

La valeur de crête du courant « i » est donnée par la fig. 1 qui résume 2.721 enregistrements obtenus par LEWIS et FOUST (4). En raisonnant sur l'équation (2) et la fig. 1, on arrive aux conclusions suivantes :

- 1° R = 10 ohms, 5 % des 1,25 décharges annuelles donnent lieu à des ondes de choc dangereuses pouvant arriver à la s/st. Soit 1 onde de choc par 16 années de service.

2°  $R = 5$  ohms, 2 % des 1,25 décharges donnent lieu à des ondes de choc dangereuses pouvant arriver à la s/st. soit 1 onde de choc par 40 ans de service.

Ce raisonnement recoupe les résultats obtenus par les théories de MONTEITH ou de HARDER et CLAYTON (4, 5) ; il montre la raison pour laquelle les lignes à T. H. T. de valeur « A » de plus en plus élevée deviennent de plus en plus « lightning-proof ». (\*)

Considérons, à titre d'application concrète, la ligne à 230 KV de l'Ontario Hydro Electric Power Commission (6).

Ligne triphasée simple, neutre à la terre, 2 câbles de garde, un contrepoids continu, longueur 483 km. Région traversée montagneuse et plate. Niveau isokéraunique 25. En absence de données plus précises, nous prendrons  $\delta$  approximativement égale à 1. Le niveau d'isolement aux ondes de choc est  $A = 1415$  KV. Angle de protection offert par les câbles de garde =  $31^\circ$ . Facteur K de couplage = approximativement 25 %. Résistance moyenne de prise de terre  $R = 6,50$  ohms. 0,375 déclenchements par 100 km de ligne et par an du fait de la foudre.

Les mesures faites (7) sont résumées par la fig. 2. Celle-ci indique que l'amplitude de l'onde de choc de  $A \cdot \delta : (1 - k) = 1.900$  KV n'a pratiquement jamais lieu, très probablement du fait de l'amortissement des ondes de choc dans leur progression le long des conducteurs et de  $\delta$  moyen inférieur à 1 ; elle indique que les ondes de choc de valeur de crête supérieure au niveau d'isolement de la ligne (1.415 KV) ont lieu très rarement et elle indique enfin que les ondes de choc d'une valeur de crête de 1.050 KV ou plus arrivent de la ligne de transmission à raison d'une onde de choc par 8 ans de

---

(\*) « A » augmentant « c » doit être plus grand en vertu de (2), or la fréquence de « i » de plus en plus grand diminue comme le montre la fig. 1.

service (N. B. 1.050 KV = niveau d'isolement standard de l'appareillage à 230 KV).

La conclusion de l'analyse faite peut se résumer par :

1<sup>o</sup> L'équipement installé dans les s/st. doit être protégé contre les ondes de choc venant des lignes de transmission raccordées à la s/st.

2<sup>o</sup> La constitution géométrique de la ligne de transmission, soumise aux coups de foudre, fixe la valeur maximum la plus probable de la crête d'onde de choc pouvant arriver de la ligne de transmission subissant les effets de la foudre.

3<sup>o</sup> Les caractéristiques géographiques et topographiques de la région traversée par la ligne de transmission, c'est-à-dire le niveau isokéraunique de cette région, la constitution géologique du terrain de la région traversée par la ligne de transmission (prédisposition de la foudre à tomber en des endroits bien déterminés, théorie de DAUZÈRE) et la constitution du sous-sol conduisant à des terres des pylônes économiques déterminées, fixent la fréquence de l'arrivée des ondes de choc dans les s/st. raccordées aux lignes de transmission.

Pour déterminer quantitativement cette fréquence, on se base généralement sur les résultats établis pour le niveau isokéraunique 30, qui est le niveau isokéraunique des pays industriels où les mesures ont été faites, et on applique ces résultats aux régions de niveau isokéraunique N en tenant compte du rapport (N : 30).

Ainsi, pour les régions tropicales de niveau isokéraunique 150 on peut s'attendre à recevoir, d'une ligne de transmission à 230 KV, 1 onde de choc de 1.050 KV ou plus de crête d'onde non pas par 8 ans de service, mais par 1,6 ans de service. Les s/st. construites dans les

régions tropicales doivent donc être mieux protégées que celles dans les régions modérées.

### III. PROTECTION HABITUELLE DES SOUS-STATIONS.

La s/st. doit être protégée contre 2 effets de la foudre.

1<sup>o</sup> Coups de foudre directs sur la s/st.

2<sup>o</sup> Ondes de choc, dues à la foudre, venant des lignes de transmission. La protection contre les coups de foudre directs est analogue à celle des conducteurs de courant des lignes de transmission et elle est soumise aux mêmes lois. Elle est bien connue.

La protection contre les ondes de choc venant des lignes de transmission, raccordées à l'appareillage à l'intérieur des s/st., est bien plus complexe. Cette protection doit tenir compte de l'amplitude des ondes de choc qui peuvent arriver de la ligne de transmission, de leur forme d'onde et de leur fréquence. L'analyse faite au paragraphe précédent nous a donné à ce sujet les précisions nécessaires. La protection essentielle, utilisée actuellement, est constituée par les parafoudres.

Les parafoudres le plus couramment utilisés sont les parafoudres du type à valve (8). La caractéristique volt-ampermétrique de ces parafoudres est donnée par la fig. 3. La fig. 3 comporte une figure en miniature. Celle-ci est la caractéristique réelle d'un élément de parafoudre, du type à valve, de 12 kV de tension nominale, soumis à un courant de décharge de 5000 A de crête et de forme d'onde  $10 \times 20 \mu\text{s}$ . La figure en miniature permet de se rendre compte de l'exactitude des divers développements à partir de la fig. 3 simplifiée et dessinée en plus grand. Dans l'étude des cas particuliers à l'Anacom, on réalise presque parfaitement la caractéristique réelle d'un parafoudre (18). Dans les études analytiques on se contente

de considérer la droite inclinée MB (9). L'équation de cette droite est :

$$V = E_0 + R. I. \quad (3)$$

$E_0$  est donnée par la fig. 3.  $R$  est déterminée par le rapport  $\Delta V : \Delta I$  en considérant  $I$  comme valant 3.000 et 5.000 A, parce qu'on considère que les courants de décharge à travers le parafoudre se font généralement entre ces 2 valeurs limites de courant  $I$ . La fig. 5, ci-après, précise la situation réelle. Les parafoudres américains conduisent au tableau 1 (9).

TABLEAU I.

| Tension nominale<br>du parafoudre KV | Parafoudre du type dit de |        |          |        |
|--------------------------------------|---------------------------|--------|----------|--------|
|                                      | Sous-station              |        | Lignes   |        |
|                                      | $E_0$ KV                  | R ohms | $E_0$ KV | R ohme |
| 30                                   | 96                        | 2,8    | 122      | 3,5    |
| 37                                   | 117                       | 3,9    | 143      | 5,8    |
| 40                                   | 128                       | 3,9    | 151      | 6,9    |
| 50                                   | 159                       | 5      | 189      | 8,6    |
| 60                                   | 195                       | 5      | 235      | 8,6    |
| 73                                   | 234                       | 7,2    | 284      | 11,5   |
| 97                                   | 314                       | 8,3    |          |        |
| 121                                  | 391                       | 10,5   |          |        |
| 145                                  | 464                       | 14,3   |          |        |
| 169                                  | 546                       | 15,4   |          |        |
| 195                                  | 629                       | 16,5   |          |        |
| 242                                  | 782                       | 20,9   |          |        |

La droite MB de la fig. 3 est, en fait, très faiblement inclinée et on peut la confondre approximativement avec la droite horizontale d'ordonnée  $E_0$ . Dans ce cas on peut dire, à titre d'approximation, que la tension aux bornes du parafoudre est constante et égale à  $E_0$  quel que soit le courant de décharge à travers le parafoudre. Le parafoudre a donc la propriété de limiter la tension à ses bornes à une valeur fixe, quelle que soit l'amplitude de l'onde de choc de tension appliquée au

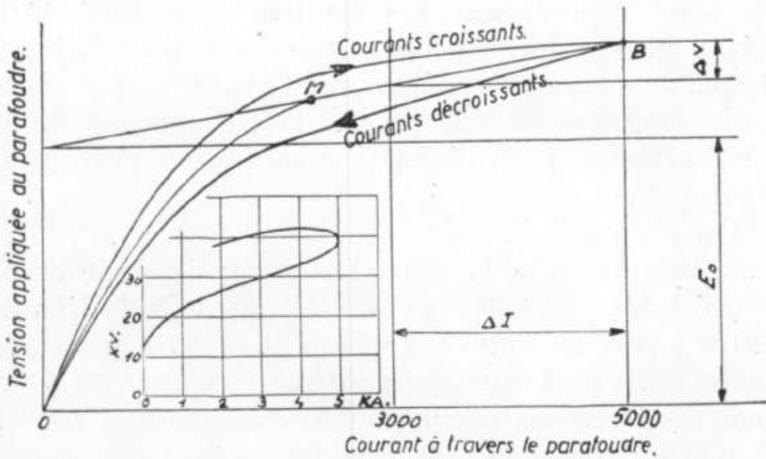


FIG. 3. — Caractéristique  $f(VI) = 0$  d'un parafoudre du type à valve.  
Tension nominale du parafoudre KV Parafoudre du type dit de sous-station.

parafoudre. Le parafoudre constitue de ce fait un « seuil » pour la tension de choc arrivant de la ligne de transmission. Le choix de l'isolement, à adopter pour l'appareillage placé dans la s/st. et protégé par le parafoudre, doit tenir compte de ce « seuil » de protection et d'autres phénomènes qui se passent à l'intérieur de la s/st. elle-même. L'isolement de l'appareillage dans la s/st. est coordonné, d'une façon pour ainsi dire proportionnelle, avec le niveau d'isolement égal au « seuil » du parafoudre. On a donc avantage à utiliser les parafoudres ayant un « seuil » très bas. Malheureusement, on est limité dans ce sens par :

- 1<sup>o</sup> Amplitude des ondes de choc venant des lignes de transmission que le parafoudre devra supporter ;
- 2<sup>o</sup> Tension normale du réseau auquel le parafoudre est connecté ;
- 3<sup>e</sup> Surtensions de durée appréciable du réseau auquel le parafoudre est connecté.

Le premier facteur est plus ou moins le même pour

les lignes de transmission d'une tension nominale donnée. Il en est de même pour le deuxième et le 3<sup>e</sup> facteurs. Le parafoudre est donc déterminé, d'une façon approchée, mais suffisamment précise, par la connaissance de la tension nominale du réseau de transmission où ce parafoudre devra être utilisé.

Les réseaux à T. H. T. sont toujours avec le neutre mis directement à la terre. Les surtensions, de durée appréciable, sont celles dues aux défauts. Lors de défauts, entre phases ou entre une phase et la terre p. ex., la phase saine peut être le siège d'une surtension de 40 % pour les réseaux à tension nominale inférieure à 230 kV et d'une surtension de 30 % pour les réseaux à tension nominale égale ou supérieure à 230kV. (Ces valeurs résultent des études à l'aide des composantes symétriques). Si « V<sub>n</sub> » est la tension nominale du réseau (entre phases) une colonne de parafoudre connectée entre une phase et la terre peut être soumise à :

$$(V : 1,73) \times 1,4 = 0,80 V \text{ (parafoudres à 80 \% de V).}$$

$$(V : 1,73) \times 1,3 = 0,75 V \text{ (parafoudres à 75 \% de V).}$$

La tension « V » considérée pour le choix du parafoudre est la tension nominale du réseau « V<sub>n</sub> » augmentée de 5 % pour tenir compte de la régulation de tension du réseau. La tension nominale du parafoudre est alors celle donnée par le tableau II.

TABLEAU II.

| Système de transmission |                     | Tension nominale des parafoudres KV |                   |      |
|-------------------------|---------------------|-------------------------------------|-------------------|------|
| V <sub>n</sub> KV       | 1,05 V <sub>n</sub> | Neutre isolé                        | Neutre à la terre |      |
|                         |                     | 100 %                               | 80 %              | 75 % |
| 115                     | 121                 | 120                                 | 96                | —    |
| 138                     | 145                 | 144                                 | 117               | —    |
| 230                     | 242                 | 240                                 | 192               | 180  |
| 288                     | 302                 | 300                                 | 240               | 228  |
| 345                     | 360                 | 360                                 | 388               | 270  |
| 360                     | 378                 | 378                                 | 303               | 282  |

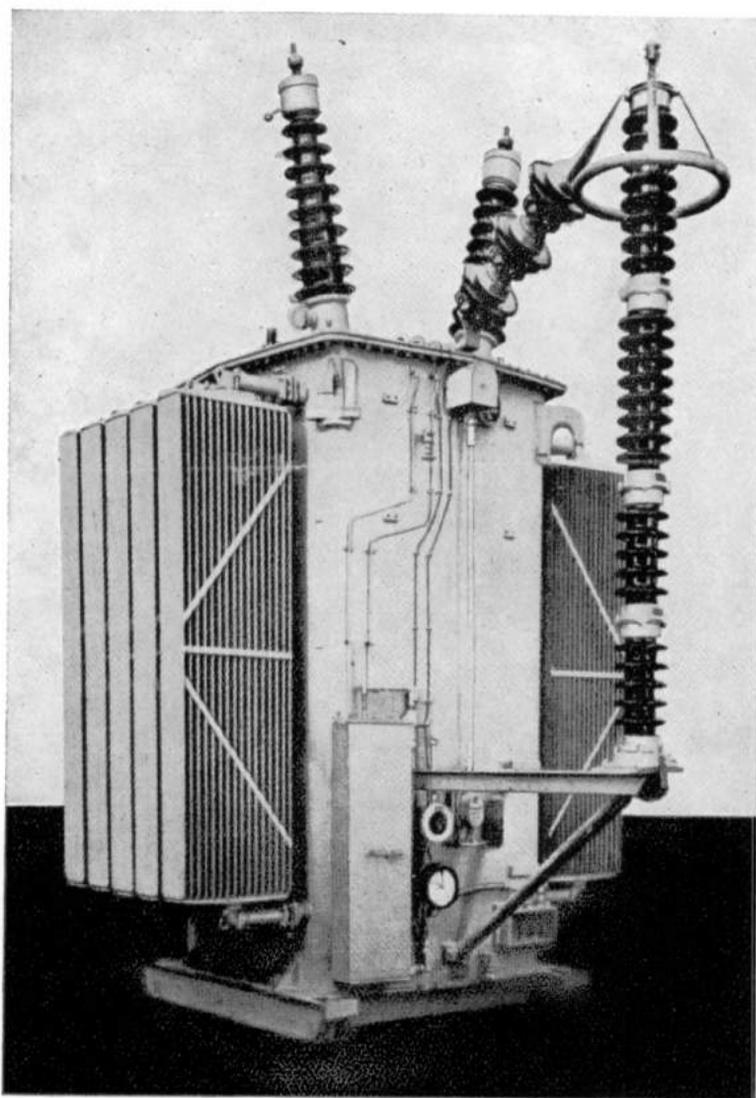


Fig. 4. — Parafoudre 121 kV monté directement sur transformateur monophasé.

#### IV. PROGRÈS RÉCENTS DANS L'UTILISATION DES PARAFODRES.

Les travaux de BLUME et de BOYADJIAN ont montré que les transformateurs réagissaient vis-à-vis des ondes de choc comme des capacités pures. La valeur de ces capacités a pu être déterminée dans la plupart des cas usuels. On a pu construire les lignes aériennes expérimentales, identiques aux lignes réelles, connecter à ces lignes les parafoudres normalement utilisés, connecter les capacités de remplacement des transformateurs, lancer des ondes de choc sur la ligne expérimentale, ondes identiques à celles arrivant normalement, suite aux décharges atmosphériques, et mesurer à l'oscillographe cathodique les ondes de choc aux bornes du parafoudre et celles aux bornes du transformateur (10, 14). La conclusion de ces essais a été :

- 1° Le parafoudre doit se placer le plus près possible du transformateur. La tendance qui en est résultée est de placer le parafoudre aux bornes mêmes du transformateur (11). Fig. 4.
- 2° Le parafoudre, placé à une certaine distance du transformateur, doit avoir de préférence une connexion en « V » et non la connexion en « T ».

Ne pas procéder de la sorte conduit à avoir, aux bornes du transformateur, une tension plus forte, par suite de l'effet de réflexion de l'onde de choc dans les diverses connexions.

Les expériences faites ont, d'autre part, confirmé le fait que la réduction de la tension nominale des parafoudres conduit à la tension de choc, aux bornes du transformateur, protégé par le parafoudre, également réduite.

Une autre série d'expériences porta sur la détermination du courant de décharge à travers les parafoudres.

On chercha à établir l'amplitude maximum de ce courant de décharge et également la forme d'onde de ce même courant.

Les recherches, relatives à l'amplitude du courant de décharge, sont résumées par la fig. 5. Cette figure est basée sur 15.099 enregistrements, dans diverses s/st. aux E. U. A., portant sur 2.477 années de vie des parafoudres (Années de vie = Nombre d'années d'observations  $\times$  nombre de parafoudres observés) (12). La fig. 5

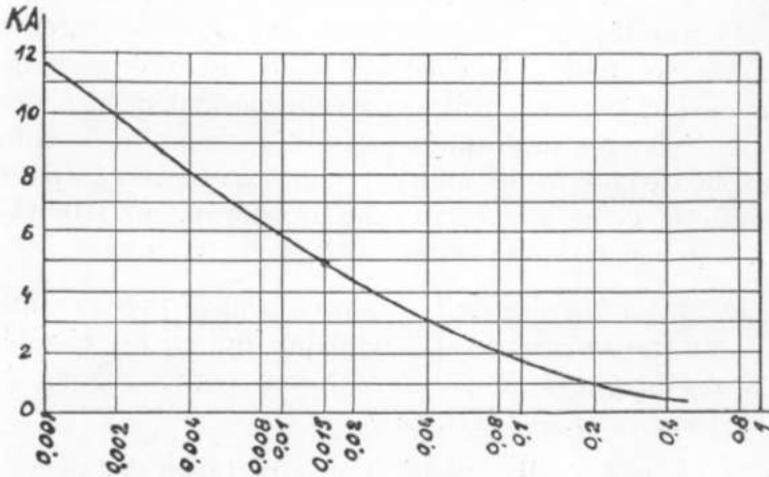


FIG. 5. — Nombre de décharges à travers le parafoudre par année de service et dont la valeur de crête est égale ou supérieure à celle donnée par l'ordonnée.

indique qu'un parafoudre subit un courant de décharge de 5000 A une fois par 85 années de service dans les régions tempérées. Les études, basées sur un courant maximum de 5000 A à travers le parafoudre, couvrent donc avec sécurité les parafoudres installés dans les régions modérées. Pour les régions tropicales, de niveau isokéraunique de 150 p. ex., la même sécurité ne serait probablement obtenue qu'en prenant un courant maximum de décharge de l'ordre de 9.000 à 10.000 A. (0,003 onde par année de service  $\times$  5 = 0,015 onde par année de service, soit 1 onde par 85 années de service).

Les recherches, relatives à la forme d'onde du courant de décharge à travers le parafoudre, ont été difficiles à faire et n'ont comporté que quelques centaines d'enregistrements systématiques. Elles ont indiqué que la forme d'onde la plus fréquente est celle de  $1 \times 20 \mu s$ , ou celle de  $2 \times 20 \mu s$ . Cela résulte des fig. 6 et 7 (13). Ces résultats, qui sont de plus en plus reconnus (17), indiquent que la pratique standard courante de considérer un courant de décharge à travers le parafoudre de la forme d'onde de  $10 \times 20 \mu s$  est inexacte et devrait être modifiée. Un fait très regrettable a alors lieu. La grande quantité des renseignements standards relatifs aux parafoudres, basée sur l'utilisation de l'onde conventionnelle  $10 \times 20 \mu s$  devient inutilisable. En Europe, les caractéristiques des parafoudres, basées sur l'onde de forme  $1 \times 30 \mu s$  p. ex., s'avèrent, par contre, très proches de la réalité. La coordination d'isolement de l'appareillage installé dans les s/st., est basée sur l'onde conventionnelle de  $1,5 \times 40 \mu s$ . La coordination faite de cette façon s'avère proche de la réalité, car la tension d'onde aux bornes du parafoudre, résultante d'un courant de décharge à travers le parafoudre, de forme d'onde d'environ  $2 \times 20 \mu s$ , apparaît comme très voisine de l'onde, de tension de  $1,5 \times 40 \mu s$ , mais d'amplitude de 15 % environ plus forte que celle obtenue avec l'onde conventionnelle de  $10 \times 20 \mu s$ . (Discussions à l'A. I. E. E. de l'étude 17).

Notons que la forme d'onde du courant à travers le parafoudre, la plus fréquente, semble être de  $2 \times 20 \mu s$ , alors que celle du courant de décharge à travers les pylônes de la ligne de transmission semble être de  $4 \times 40 \mu s$ . Cette différence, entre les 2 formes d'onde, se comprend physiquement, en notant qu'un pylône d'une ligne de transmission présente un caractère de résistance ohmique associée à une *self-induction*, alors que le parafoudre présente un caractère de résistance

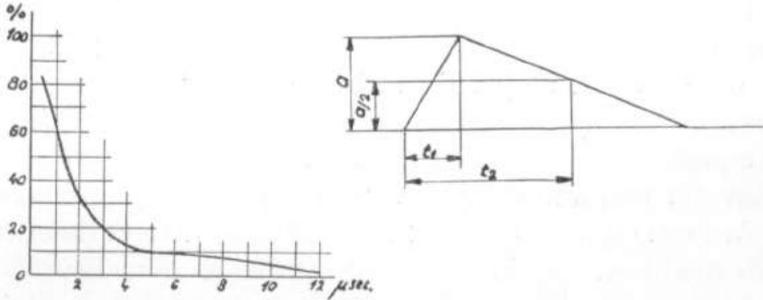


FIG. 6. — Pourcentage de décharges ayant un front d'onde de durée  $t^1$  égale ou supérieure à celle donnée par l'abscisse.

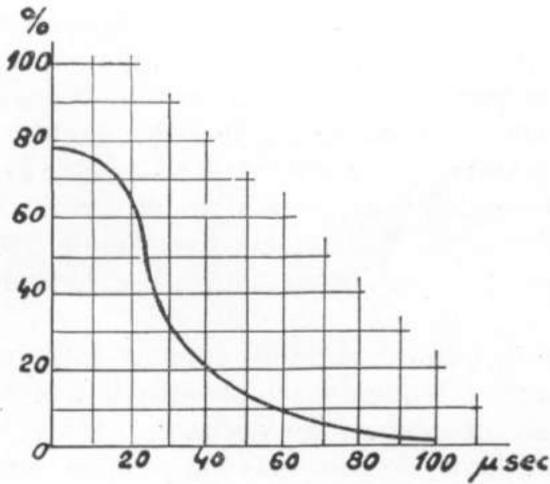


FIG. 7. — Pourcentage d'ondes ayant un temps  $t^2$  égal ou supérieur à celui donné par l'abscisse.

ohmique non inductive. L'effet de la *self-induction* d'un pylône de la ligne de transmission est de diminuer la pente du front d'onde et également celle de queue de l'onde.

Les connaissances sur les ondes de choc, arrivant de la ligne de transmission, et sur le comportement des parafoudres, étant acquises, on a cherché à se rendre compte de l'éloignement maximum possible d'un parafoudre par rapport au transformateur protégé, d'isolement connu. On a appliqué à cet effet, la méthode de « Analog Computer » (9). Cette méthode a été mise en œuvre précédemment pour déterminer la tenue des lignes de transmission sous l'action de la foudre (5) et elle a pu être vérifiée vis-à-vis des résultats mêmes de l'exploitation des lignes de transmission.

Rappelons que l'Analog Computer (Anacom) (19) est une table à calcul, analogue à celle d'une table à calcul ordinaire, celle de Tablelec à Bruxelles p. ex., mais basée sur un principe de fonctionnement un peu différent.

On porte sur l'anacom, le réseau à étudier, en miniature. On applique à l'anacom la situation électrique qui doit exister en réalité. Dans notre cas actuel, on applique les analogues des ondes de choc réelles, venant des lignes de transmission. On contrôle à l'oscilloscope (oscillographe cathodique spécial) la forme des ondes appliquées et on relève à ce même appareil les ondes telles qu'elles apparaissent en des points intéressants et caractéristiques du réseau en miniature. L'étude des régimes transitoires est particulièrement aisée. Un contacteur synchrone (\*) à 8 éléments pouvant s'ouvrir et rompre le circuit, 1 à 20 fois par seconde, provoque une répétition d'états transitoires identiques et crée des

---

(\*) La société « Westinghouse » vient de mettre au point un contacteur électronique devant remplacer avantageusement le contacteur synchrone.

ondes stationnaires qui apparaissent sur l'écran de l'oscilloscope. Ces ondes stationnaires sont d'un examen visuel facile et peuvent également être photographiées pour une étude détaillée. La méthode « pas à pas » de la table à calcul ordinaire pour l'étude des phénomènes transitoires ordinaires est ainsi évitée. La région d'application est considérablement étendue et porte sur les applications inaccessibles aux tables à calcul ordinaires. La  $s/st$ . envisagée et la forme d'onde de choc arrivant de la ligne sont représentées par la fig. 8. Le schéma de l'analogie est représenté par la fig. 9. Les résultats des essais à l'analog computer sont donnés par le tableau III et par la fig. 10 qui en résulte.

TABLEAU III.

*Valeurs de  $E_t$  et  $E_p$  obtenues à l'Anacom en fonction des variables (ZC : F) et (s : V.F.).*

| Z C :<br>F | s : V. F. |       |        |       |      |      |      |      |
|------------|-----------|-------|--------|-------|------|------|------|------|
|            | 0,081     | 0,031 | 0,0625 | 0,125 | 0,25 | 0,50 | 1    | 2    |
| 0          | 1,01      | 1,03  | 1,10   | 1,22  | 1,46 | 1,88 | 2    | 2    |
| 0,25       | 1,08      | 1,14  | 1,25   | 1,38  | 1,58 | 1,94 | 2,05 | 2,06 |
| 0,5        | 1,10      | 1,22  | 1,32   | 1,43  | 1,63 | 1,94 | 2,11 | 2,10 |
| 1          | 1,12      | 1,26  | 1,34   | 1,47  | 1,70 | 1,98 | 2,13 | 2,23 |
| 2          | 1,25      | 1,26  | 1,37   | 1,50  | 1,72 | 1,97 | 1,98 | 2,21 |
| 4          | 1,04      | 1,27  | 1,37   | 1,51  | 1,71 | 1,97 | 1,98 | 2    |

Z : Impédance d'onde, en ohms, supposée la même pour toutes les connexions envisagées.

F : Durée du front d'onde, en  $\mu s$ .

S : Distance entre le parafoudre et le transformateur, en mètres.

V : Vitesse de propagation de l'onde de choc,  $300 M/\mu s$ .

$e_{max}$  : Amplitude maximum de l'onde de choc venant de la ligne de transmission.

C : Capacité représentative du transformateur,  $\mu\mu F$ .

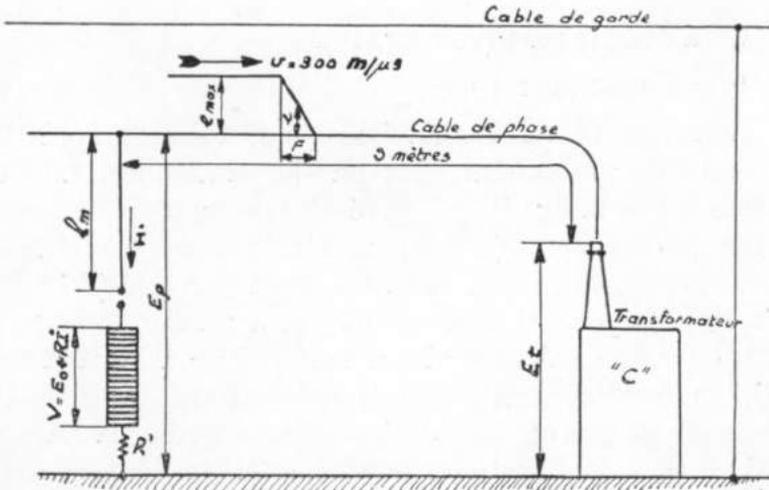


FIG. 8. — Schéma simplifié d'une sous-station.

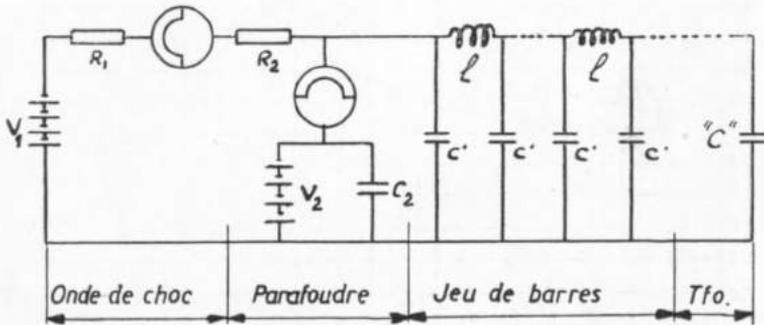


FIG. 9. — Schéma « analogue » de la fig. 8 porté sur l'ANACOM.  $c$  et  $l$  définissent les sections élémentaires en  $\pi$  représentant les connexions.  $C$  est la capacité de remplacement du transformateur.

Et : Tension de choc aux bornes du transformateur.  
Ep: Tension de choc aux bornes du parafoudre.

On a d'autre part (voir fig. 10).

$$F = \epsilon_{\max} : (\text{de} : dt) \quad (4)$$

$\epsilon_{\max}$  est la valeur maximum qui subsiste après le « seuil » de protection offert par le parafoudre. Le tableau III et la fig. 10 qui en résulte permettent de constater que le rapport (Et : Ep) ne subit pas une très grande influence du fait de la variation de la variable (ZC : F). Ceci est important à noter, car on a parfois difficile à attribuer une valeur suffisamment précise à la capacité (C) de remplacement d'un transformateur. A titre de sécurité on prend, quand C est mal connue, la valeur  $ZC : F = 4$ . La fig. 10 ou le tableau III en indiquent la raison (valeur Et : Ep la plus grande possible). L'ampli-

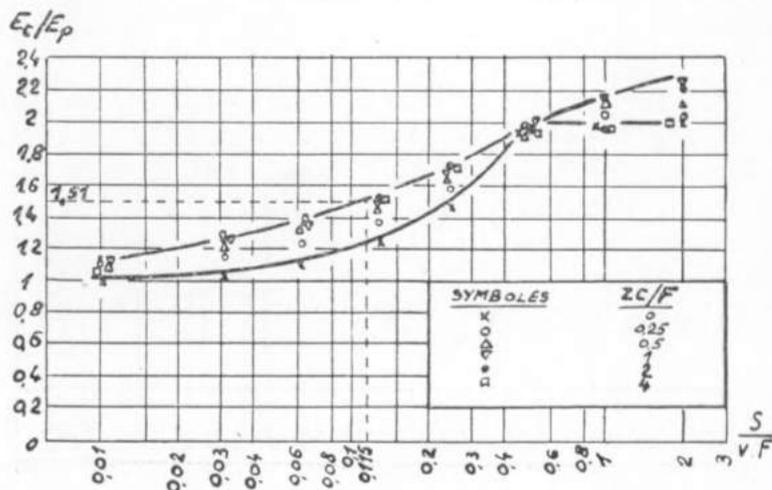


FIG. 10. — Résultats de l'étude à l'ANACOM de la sous-station représentée par la fig. 8.

tude maximum de l'onde de choc venant de la ligne de transmission est connue car elle peut être déterminée, comme nous l'avons d'ailleurs montré au début du texte.

Pour l'étude des cas concrets on fait une hypothèse sur la pente du front d'onde de choc. Cette hypothèse est basée sur la connaissance physique des ondes de choc venant des lignes de transmission. On prend généralement  $(de : dt) = 500 \text{ kV}/\mu\text{s}$ .

Le courant à travers le parafoudre est donné par :

$$I = \frac{2e - 2E_0}{Z + 2(R + R')} \quad (5) (*)$$

où «  $e$  » est la valeur de la tension de choc arrivant de la ligne de transmission,  $R'$  la valeur de prise de terre du parafoudre et les autres symboles sont ceux déjà rencontrés dans le texte.

Il résulte de (5) que :

$$dI : dt = 2 (de : dt) : [Z + 2(R + R')] \quad (6)$$

Les valeurs numériques du tableau III permettent toutes sortes d'études. Pour en donner la portée, examinons un cas concret.

Les lignes de transmission à 115 kV nominale, avec neutre directement à la terre, aboutissent à une s/st. schématisée par la fig. 8. Les ondes de choc venant des lignes de transmission peuvent avoir  $e \text{ max} = 1060 \text{ kV}$ . L'impédance d'onde est prise égale à 450 ohms. Le transformateur utilisé a un isolement de 650 kV. Le parafoudre à utiliser en fonction du tableau II est de 96 kV de tension nominale. En fonction du tableau I on a alors  $E_p = 314 \text{ kV}$  et  $R = 8,3 \text{ ohms}$ . La longueur «  $l$  » de la connexion du parafoudre est de 10 m. Le coefficient de *self-induction* d'une telle connexion est généralement de 1,4 microhenry par m. La résistance de

---

(\*) Formule établie en se basant sur les lois de propagation des ondes de choc (Réf. 4 chapitre 15) et sur l'équation (3) de cette note. On utilise parfois la formule

$$I = (2e - E_0) : (Z + R)$$

C'est notamment le cas des études analytiques de la réf. 9.

prise de terre du parafoudre, qu'on peut réaliser dans cette sous-station, est de 2 ohms. On se demande quelle est la distance maximum « s » que l'on peut adopter entre le parafoudre et le transformateur protégé ?

La tension maximum  $E_s$  de service vaut :

$$E_s = (\sqrt{2} : \sqrt{3}). V_n = 0,81.121 = 98,8 \text{ kV.} \quad (7)$$

$$dI : dt = 2 \times 500 : (450 + 20,6) = 2,125 \text{ K Amp}/\mu\text{s.}$$

La tension aux bornes du parafoudre vaut :  $E_p = (E_0 + RI) + R'I + L.(di : dt) + E_s = 314 + (8,3 + 2) 2,125 + 14 \times 2,125 + 98,8 = 465 \text{ kV.}$

La tension aux bornes du transformateur peut être au plus la tension d'isolement au choc augmentée de la tension maximum de service, c'est-à-dire valoir :

$$E_t = 650 + 98,8 = 748,8 \text{ kV.}$$

$$\text{d'où } E_t : E_p = 748,8 : 465 = 1,61$$

Nous lisons dans le tableau III que la valeur de la variable  $s$  : VF vaut (cas de ZC : F = 4)  $0,125 + 0,125 \times (1,61 - 1,51) : (1,71 - 1,51) = 0,1875$   $F = e \text{ max} : (de : dt) = 465 : 500 = 0,93 \mu\text{s.}$

Nous avons donc

$$s = (c : V \times F) \times V.F = 0,1875 \times 300 \times 0,93 = 52,2\text{m.}$$

La distance entre le parafoudre et le transformateur protégé ne doit donc pas dépasser 52 m. Il est à noter que le calcul est fait en supposant que la tension de service s'ajoute à la tension de choc et à la valeur maxima possible. Ce cas, le plus défavorable, ne se produit pas toujours et de ce fait la valeur de « s » obtenue couvre avec sécurité tous les cas possibles. Des études généralisées, faites de la même façon que celle qui précède, donnent lieu à des tableaux IV et V.

TABLEAU IV.

Distance maximum entre le parafoudre et le transformateur dans l'hypothèse de :

1.  $l = 10$  m,  $(de : dt) = 500$  kV/ $\mu$ s.
2.  $(di : dt) = 2200$  Amp/ $\mu$ s, forme d'onde  $10 \times 20\mu$ s.
3. transformateurs de plein isolement standard.

| Tension nominale du système KV | Parafoudres utilisés du type dit de | Distance « s » mètres maximum pour les parafoudres de |      |
|--------------------------------|-------------------------------------|---|------|
|                                |                                     | 100 %   | 80 % |
| 69                             | station                             | 10  | 25   |
|                                | ligne                               | 10  | 9    |
| 115                            | station                             | 13,5  | 40,5 |
| 138                            | station                             | 14  | 38   |
| 230                            | station                             | 17,5  | 57   |

Le parafoudre de 80 % réduit l'amplitude de l'onde de choc plus fort que le parafoudre de 100 % et de ce fait la distance « s » peut-être accrue.

TABLEAU V.

Influence de la longueur « l » sur la longueur « s » en utilisant un parafoudre de 80 % de la tension nominale et des ondes de choc de pente différente.

| Tension nominale KV | Valeur de base        |                             | Distance « s » en mètres pour 1 valant |      |
|---------------------|-----------------------|-----------------------------|--|------|
|                     | Niveau d'isolement KV | $\frac{de}{dt}$ KV/ $\mu$ s | 0 m                                    | 10 m |
| 34,5                | 600                   | 250                         | 74,5                                   | 47   |
|                     |                       | 500                         | 37                                     | 16   |
|                     |                       | 1000                        | 18,5                                   | 2,5  |
| 138                 | 930                   | 250                         | 107                                    | 93   |
|                     |                       | 500                         | 54                                     | 38   |
|                     |                       | 1000                        | 27                                     | 14   |
| 230                 | 1440                  | 250                         | 140                                    | 127  |
|                     |                       | 500                         | 71                                     | 57   |
|                     |                       | 1000                        | 35                                     | 20   |

### V. EFFET D'AUTO-PROTECTION DES SOUS-STATIONS.

On s'est rendu compte, pendant ces dernières années, que les s/st., possédant plusieurs utilisations et des connexions complexes, présentaient, vis-à-vis des ondes de choc, arrivant des lignes de transmission, un certain effet d'auto-protection (8). Cet effet d'auto-protection peut être expliqué par une démonstration mathématique admettant quelques approximations de simplification.

Une sous-station à utilisations multiples peut être représentée approximativement par la fig. 11.

Considérons le parafoudre comme étant placé à la bifurcation de toutes les lignes et utilisations de la s/st. Soit une onde de choc arrivant par une des lignes de transmission à la bifurcation (A) dont question.

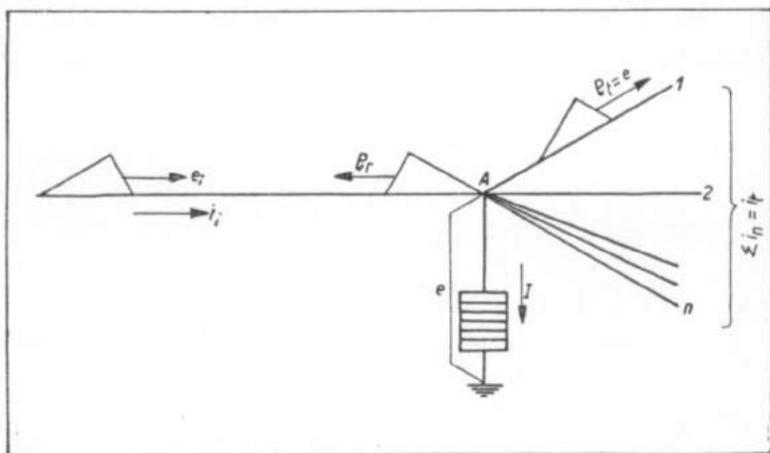


Fig. 11. — Schéma simplifié d'une sous-station à utilisations multiples.

L'onde de choc de tension incidente ( $e_i$ ) est liée à l'onde de choc de courant incident ( $i_i$ ) par la relation

$$e_i = Z_0 \cdot i_i \quad (8)$$

Dès que l'onde incidente arrive au point de bifurcation (A) une onde réfléchie se crée et on a

$$e_r = Z_0 \cdot i_r \quad (9)$$

L'onde réfléchie passe à travers l'onde incidente et au moment de passage les amplitudes s'ajoutent algébriquement. On a :

$$e = e_i + e_r \quad (10)$$

$$i = i_i - i_r \quad (11)$$

en appelant ( $e$ ) et ( $i$ ) les ondes totales. Il en résulte que :

$$e = 2e_i - Z_0 \cdot i \quad (12)$$

L'onde totale créée au point A se transmet à chacune des ( $n$ ) lignes partant du point A, supposées toutes de même impédance d'onde ( $Z_0$ ). En admettant l'approximation que les ( $n$ ) lignes sont assez longues pour que les réflexions en retour sur ces ( $n$ ) lignes ne soient pas importantes et puissent être négligées, le courant d'onde sur chacune des ( $n$ ) lignes vaut ( $e : Z_0$ ) et le courant total des ( $n$ ) lignes vaut

$$i = n \cdot (e : Z_0) \quad (13)$$

Admettons pour commencer qu'à la bifurcation A il n'y ait pas de parafoudre. On a alors par (13 et 12).

$$e = 2e_i - Z_0 \cdot (e : Z_0) \cdot n$$

d'où

$$e = \frac{2 e_i}{1 + n} \quad (14)$$

La tension d'onde, qui se crée au point A, est donc fonction de l'onde incidente ( $e_i$ ) et également du nombre ( $n$ ) d'utilisations (arrivées, départs et utilisations proprement dites). Par exemple, l'onde incidente étant de 1060 kV et la s/st. possédant 6 utilisations.

$$e = 304 \text{ kV.}$$

Ceci montre bien l'effet auto-protecteur de la s/st.

Si nous plaçons au point A de bifurcation un parafoudre on a

$$i = I + n (e : Z_0) \quad (17)$$

En portant (15) dans (12) et utilisant (3) il vient.

$$I = \frac{2e_i - (n + 1)E_0}{Z_0 + (n + 1)R} \quad (16)$$

En faisant  $n = 1$  et  $R = R + R'$  nous avons la formule (5) que nous avons utilisée précédemment. En faisant ( $n = 0$ ), parafoudre en bout de ligne, on a la formule citée à propos de la formule (5) ci-avant (\*).

La formule (16) indique d'autre part qu'il ne peut y avoir de décharge à travers le parafoudre que si la relation

$$e_i > \frac{n + 1}{2} \cdot E_0 \quad (17)$$

est réalisée.

Dans l'exemple traité ci-dessus ( $n = 6$ ),  $E_0$  est de 314 kV. Pour qu'il y ait décharge du courant à travers le parafoudre il aurait fallu que  $e_i > (7 : 2) \cdot 314 = 1100$  kV.

Or, l'onde de choc d'amplitude maximum pouvant arriver des lignes de transmission de l'exemple est de 1060 kV. Il ne peut y avoir aucune décharge à travers le parafoudre. L'expérience de l'exploitation du poste considéré (20) indique bien que tel est le cas car les compteurs de décharges, installés entre les parafoudres et leur prise de terre, n'ont jamais enregistré une décharge quelconque.

Les études à l'Anacom des s/st. du super-réseau américain à 315/330 kV (2) ont indiqué un effet auto-

---

(\*) Bas de la page 997.

protecteur remarquable (3, 18). Nous en donnons un exemple par la fig. 12. La fig. 12 représente d'une part le schéma d'une s/st. à 330 kV portée à l'Anacom (les longueurs des connexions sont en mètres et sont indiquées sur cette figure) et elle représente d'autre part les résultats de l'étude à l'Anacom de cette s/st.

La comparaison entre les ondes de choc appliquées, mesurées au départ du générateur d'ondes, et celles mesurées aux bornes d'un transformateur, dans diverses hypothèses, montre l'effet auto-protecteur accru à fur et à mesure de l'accroissement des utilisations mises en service de la s/st. étudiée.

#### VI. TENDANCES ACTUELLES DE DIMINUTION DE L'ISOLEMENT DE L'ÉQUIPEMENT DES SOUS-STATIONS.

L'onde de choc, arrivant de la ligne de transmission dans une sous-station, est diminuée en amplitude par l'action du parafoudre et ceci d'autant plus que la tension nominale des parafoudres installés est plus petite (14). Les tendances actuelles, basées sur la bonne construction moderne des parafoudres, sont d'utiliser les parafoudres de tension nominale plus réduite que celle des parafoudres habituellement adoptés. L'onde de choc qui se dirige vers l'équipement de la s/st., après passage par les bornes de connexion du parafoudre, est ainsi réduite et le niveau d'isolement de l'équipement de la s/st. peut être réduit. Cette réduction conduit à un coût du kWh fourni à l'utilisateur diminué d'une façon appréciable. On raisonne comme suit :

Dans un système de transmission il y a principalement 4 causes de surtensions transitoires

- 1° Décharges atmosphériques ;
- 2° Ondes de manœuvres ;

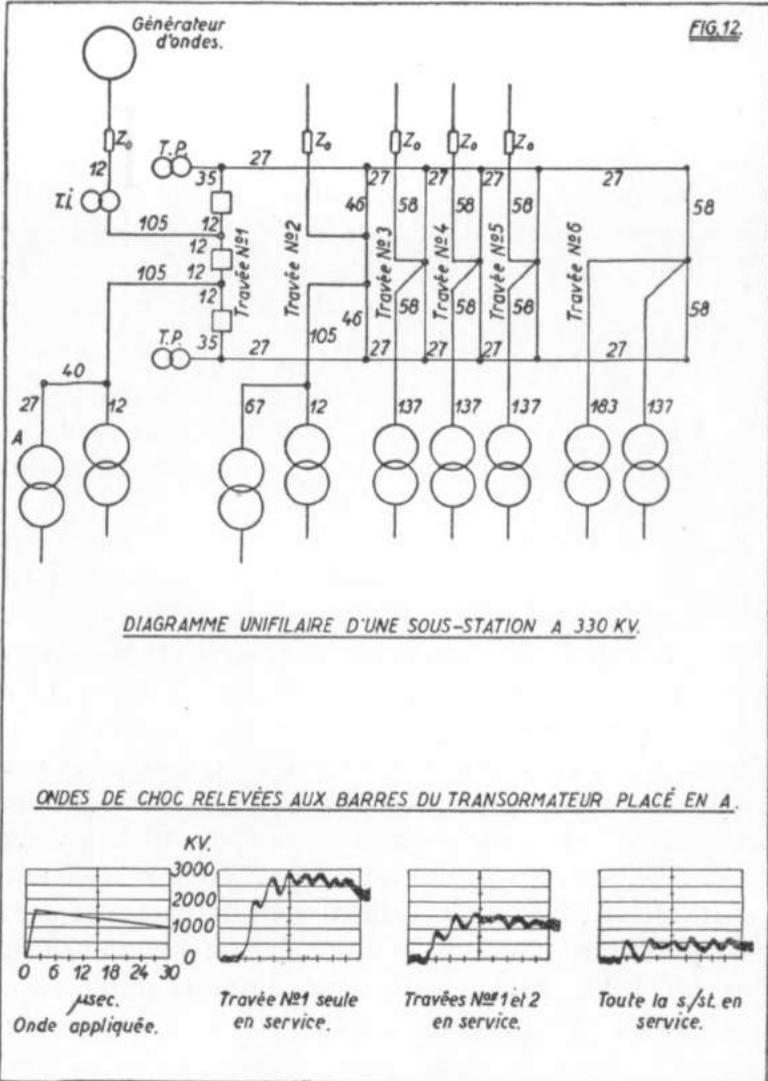


Fig. 12. — Schéma d'une sous-station à 330 kV portée à l'Anacom et résultats de l'étude à l'Anacom de cette sous-station.

3° Variations de charge ;

4° Défauts.

Dans les systèmes à T. H. T., avec le neutre toujours directement à la terre, les ondes de manœuvres donnent une tension le plus souvent égale à 2 fois la tension de service et en tous les cas toujours inférieure à 3 fois la tension de service. Ces ondes de manœuvre se comportent pratiquement comme les ondes de choc proprement dites. L'équipement étant prévu pour les ondes de choc dues à la foudre, plus fortes en amplitude que les ondes de manœuvre, on couvre avec sécurité le comportement vis-à-vis des ondes de manœuvre. (Les surtensions dues aux défauts sont de 30 à 40 % de la tension de service).

La fig. 3 en miniature, caractéristique réelle d'un parafoudre, indique que normalement seule une décharge atmosphérique sera à même d'initier le fonctionnement d'un parafoudre (voir la courbe supérieure des courants croissants). Le parafoudre ne sera en danger que si la décharge atmosphérique lui est appliquée simultanément avec la surtension du service normal. Ceci est évidemment possible, mais peu probable, car les ondes de choc de tension, dues à la foudre, circulent sur les conducteurs atteints et les conducteurs sains n'arrivent pas à avoir des valeurs de tension mettant les parafoudres monopolaires de phases saines en fonctionnement. Lors des pertes brusques de charge, les ondes de choc, dues à la foudre, sont épuisées avant que l'à-coup du système et la surtension des alternateurs puissent produire des tensions additionnelles, à même d'agir avec les ondes de choc, et de provoquer la destruction du parafoudre. La pratique de l'exploitation de nombreux systèmes de transmission indique que la destruction des parafoudres pour les causes reprises en 2°, 3° et 4° est pratiquement inexistante. En admettant cette possibilité de destruction et

en examinant le coût de la destruction du parafoudre et la réduction du coût de la s/st., grâce à l'emploi du parafoudre de tension nominale réduite, on arrive à de telles possibilités d'économie (10) que l'emploi de parafoudres de tension nominale réduite se généralise de plus en plus et a passé au stade de standardisation aux E. U. A. C'est ainsi que nous lisons dans le numéro de juin 1953 de *Electrical Engineering* (15)

« Le choix de l'isolement de l'équipement dépend de l'amplitude de la tension fixée par l'équipement de protection. En 1941 l'action conjointe de N. E. M. A., de A. I. E. E. et de E. E. I. a conduit à établir une liste de niveaux d'isolement de base standards. Le 29 mai 1950 ce problème a été réexaminé à nouveau par ces 3 organismes et une nouvelle standardisation établie. On a reconnu que l'expérience d'exploitation avec les systèmes à l'isolement réduit, mais avec de très bonnes terres a donné d'excellents résultats. De ce fait on a introduit un niveau d'isolement de 825 KV pour les systèmes à 230 KV dont les mises à la terre seraient particulièrement bonnes ». (L'ancien niveau d'isolement standard pour les systèmes à 230 KV était de 1.050 KV).

On ne doit pas perdre de vue que la fourniture d'énergie électrique aux usagers doit remplir deux conditions essentielles.

- 1° Être fournie d'une façon ininterrompue et sûre;
- 2° Être fournie à un prix aussi bas que possible.

Plus les installations, nécessaires pour produire, transporter et fournir l'énergie électrique, sont parfaites et sûres, plus elle sont coûteuses et plus le coût du kWh fourni est élevé. Les tendances modernes sont, de ce fait, de réaliser les installations permettant d'assurer la fourniture d'énergie électrique d'une façon sûre dans la plupart des cas probables, mais non dans tous les cas possibles. En d'autres termes, les installations sont faites en prenant des « risques » calculés. Dans cet ordre d'idées on peut noter en particulier les points suivants.

a) L'isolement adopté pour les lignes de transmission est actuellement réduit à une valeur strictement nécessaire. Cette réduction d'isolement diminue considérablement le coût de la ligne de transmission. Ceci a lieu d'abord à cause du nombre d'isolateurs plus réduit et ensuite à cause de l'influence de la réduction de la longueur des chaînes de suspension sur les dimensions des pylônes de la ligne de transmission. Cette réduction d'isolement a d'autres effets heureux : réduction de *self-induction* apparente et augmentation de capacité apparente de la ligne de transmission. L'ensemble de ces 2 facteurs conduit à une puissance naturelle de la ligne et à la capacité de transport d'énergie électrique accrues, facteurs à même de diminuer le coût du kWh transporté. C'est ainsi que la ligne suédoise à 380 kV d'Harspranget à Midskog, a un niveau d'isolement de 1.775 kV. Les nouvelles lignes suédoises à 380 kV, actuellement en construction, ont un niveau d'isolement de 1.500 kV (16).

En contre-partie, on doit évidemment soigner la résistance des prises de terre des pylônes et utiliser de plus en plus la pose du contrepoids. On doit également soigner la façon de mettre les câbles de garde et de réaliser l'angle de protection entre les câbles de garde et les conducteurs de courant. Le comportement de la ligne de transmission vis-à-vis de la foudre reste alors très bon malgré la diminution du niveau d'isolement.

b) L'isolement diminué des lignes de transmission conduit aux ondes de choc, pouvant arriver aux sous-stations, d'amplitude plus réduite. Les parafoudres à utiliser peuvent alors posséder un « seuil » plus faible et ceci conduit à des niveaux d'isolement de l'appareillage installé dans les s/st. plus faible. Les Suédois ont estimé que le fait de réduire le niveau d'isolement des lignes à 380 kV de 1.775 kV à 1.500 kV conduisait à une réduction d'environ 8 % dans les frais de construction des postes et des lignes du réseau à 380 kV (16).

En adoptant des parafoudres de tension nominale plus basse que celle habituellement admise — tendance aux E. U. A. — le coût des s/st suédoises à 380 kV pourrait probablement être rendu encore plus bas.

## VII. CONCLUSION.

Nous venons de passer en revue et de coordonner en un tout systématique les connaissances *essentielles* et *actuelles* à la base du choix des niveaux d'isolement de l'appareillage des systèmes de transmission d'énergie électrique à T. H. T.

Le domaine d'électrotechnique passé en revue est fort complexe et une certaine confusion y régnait jusqu'à ces toutes dernières années (21). Les études sur lesquelles nous nous sommes basé, et dont nous avons résumé les résultats, ont clarifié beaucoup d'aspects de ce domaine. Les tendances modernes, qui en résultent, conduisent à adopter des niveaux d'isolement de l'appareillage à T. H. T. plus réduits que ceux utilisés précédemment.

En ce qui concerne la réalisation des systèmes de transmission à T. H. T. au Congo belge, nous pensons que les tendances modernes devraient être suivies dans une certaine mesure, tout en faisant preuve de prudence. Les raisons en sont :

- a) La réduction des niveaux d'isolement est basée sur le fonctionnement des parafoudres de protection.  
Le fonctionnement des parafoudres ne semble pas connu avec toute la précision voulue car les données statistiques, tenant compte de tout ce qui est actuellement connu, ne sont pas très nombreuses.
- b) Le risque couru avec les parafoudres installés dans les régions tropicales est plus grand que celui couru avec les parafoudres installés dans les régions mo-

dérées. La fréquence de l'arrivée des ondes de choc dangereuses est accrue. C'est le cas pour le Congo belge.

- c) Au Congo belge, les systèmes de transmission d'énergie électrique sont d'importance vitale. Tout accident d'appareillage revêt un caractère dramatique.

Toute heure d'arrêt compte.

L'éloignement des systèmes de transmission, et de leurs s/st, des endroits où se trouvent les ateliers de réparation puissamment outillés, rend les réparations coûteuses et malaisées.

En Europe et aux E.U.A. ces facteurs jouent moins et on peut s'y permettre de courir des risques qu'on doit éviter au Congo belge, et d'une façon générale en Afrique.

L'attention étant attirée sur ce qui précède, il faut admettre que les recherches modernes ont permis de préciser certains phénomènes complexes et permettent, de ce fait, de réaliser les s/st à T. H. T. d'une façon plus économique que dans le temps. Précédemment, le manque des connaissances précises était couvert par des sécurités prises tant soit peu exagérées. Par conséquent, au Congo belge, la réalisation des systèmes de transmission à T.H.T. doit être faite prudemment, mais en tenant compte des résultats de recherches modernes. A cette seule condition des réalisations économiques et sûres seront possibles.

Connaître exactement les bases d'appréciation, à même de permettre de constituer les s/st à T. H. T. d'une façon rationnelle et économique, était le but que nous avons poursuivi dans notre étude.

Shituru-Jadotville,  
le 21 février 1954.

## RÉFÉRENCES

1. G. DE ROSENBAUM, Lignes de transport de force à très hautes tensions au Congo belge (*Mémoires de l'I. R. C. B.*, 1953).
2. G. DE ROSENBAUM, Projet américain du transport d'énergie électrique par courants alternatifs triphasés en utilisant des lignes doubles à 315 kV (*Bulletin des Séances de l'I. R. C. B.*, XXII, 1952, 2).
3. Lightning Protection in Extra High Voltage Stations. Analysis, Anacom Study and Results (Gross, Blim et Dillard. Transactions of the American Institute of Electrical Engineers, 1952).
4. Westinghouse Electrical Transmission and Distribution Reference Book (Éd. 1944 et 1950).
5. G. DE ROSENBAUM, Tenue des lignes de Transmission d'Énergie Électrique sous l'action de la Foudre (*Bulletin de la Société belge des Électriciens*, 1949, p. 211, p. 218).
6. Lightning Performance of Typical Transmission Lines (Ohio Brass Cy. E. U. A. publication, n° 811-11, page 97).
7. Lightning Investigation at 115/230-KV. Stations. H. M. Ellis, p. 892 (*Electrical Engineering*, October 1953).
8. Semaine de Discussions à la Société Française des Électriciens (*Bulletin de la S. F. E.* avril 1953). Voir également réf. 4.
9. WITZKE et BLIM. Co-Ordination of Lightning Arrester Location, with Transformer Insulation Level (*Transactions of A. I. E. E.*, 1950).
10. Lightning Arrester as a Criterion for Insulation Levels (Rorden A. I. E. E. Transactions 1950).
11. La protection par parafoudre et la coordination des isolements (*Revue des A. C. E. C.*, n° 1, 1953).
12. CLEM, NEAFER, RUDGE et POWELL. Proposed Basic Impulse Insulation Levels for High-Voltage Systems (*A. I. E. E. Transactions*, 1950).
13. GROSS et MC CANN. Field Investigation of Lightning Surges at Substations (*A. I. E. E. Transactions*, 1947).
14. KALB. Some Effects of Lightning Arrester Protective Characteristic and location upon Station Apparatus Protection (*A. I. E. E. Transactions*, 1951).
15. WAGNER, WITZKE, BECK et TEAGUE. Insulation Co-ordination (*Electrical Engineering*, June 1953).
16. RUSCK, RATHSMAN et JANCKE. Conférence Internationale des Grands Réseaux. Session 1952. Rapport n° 404. « Réseaux Suédois à 380 KV. »
17. CORNELIUS. Use of 10 × 20 Current Waves for Lightning-Arrester Tests (Power Apparatus and Systems A. I. E. E. Transactions. October 1953).

18. GROSS, Le VESCONTE, DILLARD. Lightning Protection in Extra-High-Voltage Stations (*Electrical Engineering*, November 1953, étude condensée). (*Power Apparatus and Systems. A. I. E. E.* October 1953, étude complète).
19. Charles L. WAGNER. Anacom Solves System Transients (*Electrical World*, November 16, 1953).
20. G. DE ROSENBAUM. Lignes à haute tension du Haut-Katanga au Congo belge. — Comportement de ces lignes vis-à-vis de la foudre. (*Bulletin de la Société belge des Électriciens*, n° 4, 1950).
21. R. LANGLOIS-BERTHELOT. L'Ingénieur d'isolation chez le constructeur et chez l'Usager (*Annales de l'Institut Polytechnique de Grenoble*, Tome II, 1953, n° 3).
22. G. GILLON. Progrès réalisés dans la protection des lignes électriques contre la foudre (*Bulletin des Séances de l'I. R. C. B.*, VIII, 1937, 1).

**M. van de Putte. — Note sur le permis de traitement  
dans la législation minière congolaise.**

Le chapitre III du décret minier du 24 septembre 1937 réunit sous le titre « Du permis de traitement » des stipulations qui existaient déjà, mais d'une façon éparse, dans le décret du 16 avril 1919 sur la recherche et l'exploitation des substances minérales au Katanga. Comme aucune innovation n'est intervenue, le passage du rapport du Conseil colonial relatif au décret de 1919 a conservé, sur cette matière, toute sa valeur au point de vue interprétatif.

Il n'a pas été accordé de permis de traitement jusqu'ici; on peut donc aborder l'étude des dispositions législatives concernant ce sujet avec le seul souci de situations futures éventuelles. Il est raisonnable de croire que des circonstances nouvelles, telle la présence d'énergie électrique à bon marché, permettront d'envisager l'installation d'usines de traitement autonomes. Encore faut-il que les stipulations légales ne constituent pas une entrave à pareils projets.

\* \* \*

Le chapitre III comporte onze articles (nos 96 à 106) ; les deux premiers délimitant le champ d'application des mesures édictées dans les neuf articles suivants.

L'article 96 stipule :

« Celui qui se propose de faire seulement le traitement des substances visées à l'article 2 doit être muni d'un permis de traitement ».

Les substances visées à l'article 2 sont :

- 1) Les substances minérales utilisables par leur teneur en métaux et les terres rares ;
- 2) Les substances utilisables par leur teneur en soufre ou en phosphore ;
- 3) Les substances fossiles, combustibles ou bitumineuses ;
- 4) Le sel gemme, les sels métalliques, les sources salines ;
- 5) L'amiante et le mica ;
- 6) Le diamant et les autres pierres précieuses.

Comment faut-il interpréter le mot « seulement » ?  
Qu'entend-on par traitement ?

Le mot « seulement » indique une exclusivité absolue. Si l'on détachait arbitrairement le chapitre III de l'ensemble de la législation à laquelle il est incorporé, il semblerait qu'un permis de traitement ne doive pas être demandé lorsque l'usine comprend l'une ou l'autre fabrication n'entrant pas dans le cadre du traitement des substances visées à l'article 2. Mais tenant compte du contexte, il paraît évident que le mot « seulement » s'applique au cas de tout quiconque se propose de traiter les dites substances sans être titulaire d'un permis d'exploitation.

En effet, ce permis comporte comme droit accessoire celui d'effectuer le traitement des minerais extraits. Tous ceux qui ne sont pas dans ce cas doivent se munir d'un permis de traitement. Cette interprétation est d'ailleurs corroborée par la suite du texte : l'article 100 exige que les statuts reçoivent l'approbation préalable du ministre des Colonies et l'article 101 cite parmi les conditions à remplir que « l'objet de la société est limité au traitement des minerais... ainsi qu'aux opérations accessoires ».

Quant à la signification du mot « traitement », rappelons que le texte du projet de décret prévoyait « traitement mécanique ou métallurgique » et que le Conseil colonial a supprimé ces deux qualificatifs en raison du fait que « dans l'état actuel de développement de la technique industrielle, (ils) ne sont plus assez larges pour couvrir toutes les éventualités ».

On a donc voulu donner au mot « traitement » le sens le plus large. D'ailleurs, le rapport de 1937 signale qu'à une demande de ce qu'il fallait entendre par traitement et jusqu'où s'étendait sa définition, il fut répondu que

« Le rapport de 1919 faisait déjà observer qu'il est impossible de formuler une règle générale stricte ; c'est avant tout une question de pratique et de tradition industrielle... On a insisté également sur la distinction qu'il y a lieu de faire entre l'industrie extractive et l'industrie manufacturière qui utilise et transforme les matières premières fournies par l'industrie extractive ».

Pour le surplus, le rapport de 1937 renvoie à celui de 1919 qui donnait quelques exemples dont il sera question ultérieurement.

La pratique et la tradition industrielle s'accordent pour appliquer le terme « traitement » à toutes les opérations, quel que soit leur caractère physique, chimique ou autre, lorsqu'on se réfère à la matière qui sert de point de départ à l'opération envisagée. On dira « le traitement des minerais », le « traitement de la fonte, de l'acier ou de l'alliage ». Lorsqu'on cite le produit résultant du traitement, on dira « la production de la fonte », « la fabrication de l'acier », etc...

L'article 96 du décret minier de 1937 vise « ...le traitement des substances mentionnées à l'article 2... ». Il n'est donc question que de la matière première utilisée, sans spécifier quel sera le produit qui résultera du traitement, ni la nature de celui-ci. Pour que le permis de traitement soit requis, il faut que le point de départ du

« traitement » soit une des substances mentionnées à l'article 2 et non un produit résultant déjà d'une telle opération. Il faudrait donc conclure du texte, s'il n'était commenté par le législateur, qu'il ne faut pas de permis lorsque l'on met en œuvre des concentrés, ceux-ci résultant d'un traitement. Mais le rapport du Conseil colonial précise que les opérations doivent être conduites « jusqu'à la fusion ».

Les exemples cités dans le rapport de 1919 confirment ce point de vue. Il mentionne en effet que « les opérations de fusion pour produire le métal rentrent dans le domaine du décret ; ainsi la réduction des minerais de cuivre, d'étain, de zinc, de plomb, de même que la production de la fonte dans le haut-fourneau, de même encore que les opérations de désargentation du plomb, la production du coke ou des briquettes » et fait remarquer à juste titre :

« Mais une aciérie qui achèterait toute la fonte qu'elle consomme à d'autres sociétés, pourrait se fonder sans permis ».

Cependant, ranger la désargentation du plomb parmi les opérations nécessitant l'octroi d'un permis paraît être une opinion contestable ; le minerai extrait de la mine a déjà subi une fusion réductrice ayant produit du plomb impur. Il serait plus logique d'apparenter ce traitement de désargentation à celui que subit la fonte lors de la fabrication de l'acier, ou à tout autre affinage. Et le fait que le genre de traitement est différent n'y change évidemment rien.

Il est des cas où l'interprétation à donner au texte pourrait être moins nette, par exemple, si l'usine achetait à l'exploitant de la mine des mattes, des speiss, ou tout autre produit intermédiaire obtenu par fusion. Il ne s'agit plus de substances minérales au sens de l'article 2, car on ne les extrait pas de gisements. On pourrait toutefois soutenir que le minerai n'a subi qu'un traitement de

concentration ne représentant qu'une partie du traitement de la métallurgie extractive.

S'il s'agit de substances fossiles, combustibles ou bitumineuses, tant la fabrication de briquettes, expressément mentionnée dans le rapport du Conseil colonial, que celle d'autres agglomérés et la distillation du charbon, nécessitent l'octroi d'un permis. Mais comme la distillation peut être conduite jusqu'à un stade plus ou moins avancé, on peut se demander à quel moment le permis ne sera plus requis.

Ces considérations confirment l'extension qui peut être donnée au sens du mot « traitement » et cette opinion est encore renforcée par l'article 101 qui y ajoute « les opérations accessoires ».

Il n'empêche que, dans la pratique, l'article 96 conduira à des situations paradoxales. Selon le texte et les commentaires, le titulaire d'un permis de traitement sera soumis à toutes les obligations qui lui incombent de ce chef si l'usine valorise au maximum les substances qu'elle traite. Par contre, si les opérations d'affinage, de raffinage et autres « opérations accessoires » sont confiées à une usine indépendante achetant le produit brut, aucune de ces obligations ne lui sera imposée.

\* \* \*

L'article 97 précise que :

« Le permis de traitement confère au titulaire le droit de traiter les minéraux concessibles extraits des mines concédées par le gouvernement de la Colonie ».

Il existe au Congo d'autres pouvoirs concédants que le gouvernement de la Colonie, à savoir le Comité Spécial du Katanga, la Compagnie des Chemins de Fer du Congo Supérieur aux Grands Lacs Africains et le Comité National du Kivu. Les articles 107, 119 et 131 étendent

respectivement à chacun de ceux-ci, les dispositions du décret minier mais, bien que sous le contrôle du gouvernement de la Colonie, les pouvoirs concédants constituent néanmoins des entités indépendantes entre elles.

Cette indépendance a pour conséquence, en ce qui concerne l'application des articles 96 et 97, que le permis de traitement n'est requis que si l'usine compte s'établir dans le même domaine que celui dans lequel est situé le gisement des substances qu'elle va traiter. Si l'usine compte s'établir dans le domaine d'un autre pouvoir concédant, ses promoteurs ne doivent pas demander de permis.

Cela est confirmé par les rapports du Conseil colonial sur les décrets de 1919 et de 1937.

Le rapport de 1919 fait remarquer que

« le permis de traitement n'est imposé qu'à ceux qui traitent des minerais extraits dans les limites territoriales du Katanga. Celui qui voudrait fonder au Katanga des usines pour y traiter exclusivement des minerais importés, ne serait aucunement soumis au décret actuel et n'aurait pas à se munir d'un permis de traitement ».

Les mots « minerais importés » visent incontestablement les minerais originaires de régions autres que celles comprises dans les limites territoriales du Katanga, même si elles se situent dans les limites du Congo belge.

Le rapport de 1937 s'exprime comme suit à l'occasion de l'examen d'un cas particulier :

« Les textes sous discussion ne visent que le traitement des minéraux concessibles extraits des mines concédées par la Colonie : en principe, par conséquent, le traitement des minerais provenant de l'étranger devrait faire l'objet d'une entreprise distincte ; il en est de même d'ailleurs lorsqu'il s'agit du traitement des minéraux extraits des mines situées dans le domaine de différents pouvoirs concédants ».

Et si l'entreprise envisage de traiter à la fois des produits de l'extraction minière dépendant du domaine du pouvoir concédant, dans lequel elle compte s'établir, et

ceux de mines situées dans le domaine d'autres pouvoirs concédants ou de l'étranger ? Alors, dit le rapport,

« pareille entreprise pourrait faire l'objet d'une convention particulière dont l'approbation par décret pourrait se faire en dérogeant aux dispositions du paragraphe sous discussion ».

Une autre éventualité a fait l'objet des commentaires suivants :

« Le second cas est celui d'une société constituée à l'initiative d'une ou de plusieurs entreprises minières pour traiter à façon les minerais extraits par un ou plusieurs exploitants. Les dispositions sur le permis de traitement ayant pour objet d'empêcher la Colonie d'être privée de ses redevances, il est évident que leur application ne devrait pas être étendue au cas où l'entreprise de traitement travaillerait de façon à faire simplement payer aux concessionnaires des mines les services rendus au point de vue transformation. Ici encore, des modalités particulières pourraient faire l'objet d'un décret en dérogation de stipulations de la législation minière ».

Certes, un décret peut toujours déroger à un décret antérieur. Mais il est peu souhaitable de prendre des dispositions législatives alors qu'il s'agira de cas particuliers qui auront des points communs mais différeront toujours par l'un ou l'autre élément. En outre, l'origine des approvisionnements des usines peut se modifier. Le régime du permis « particulier » de traitement resterait-il inchangé ? Pour ne citer qu'un exemple, on peut aisément imaginer qu'après avoir traité à la fois des produits de l'extraction minière de la Colonie et d'autres provenant de l'étranger, une nouvelle découverte permette de remplacer ces derniers par des produits originaires soit du domaine de la Colonie, soit de celui d'un autre pouvoir concédant. Dans cette éventualité, une assimilation avec le cas du minerai importé serait possible, mais dans la première il faudrait annuler le décret particulier et en revenir à la législation générale.

On constate donc que des situations paradoxales peu-

vent résulter de l'application des stipulations de l'article 97.

\* \* \*

L'article 98 règle la voie à suivre pour obtenir le permis.

L'article 99 stipule les engagements que doit prendre quiconque sollicite l'octroi d'un permis de traitement, soit l'autorisation d'acquérir ce permis. Il s'agit :

- a) Du paiement de redevances ;
- b) D'une participation à remettre à la Colonie dans les bénéfices d'une cession éventuelle du permis ;
- c) D'un droit de préemption sur la production, réservé à la Colonie et, à son défaut, à la Belgique ;
- d) D'un acquiescement à toute mesure que la Colonie devrait établir dans l'intérêt général pour restreindre, régulariser ou centraliser la production ou la vente des produits.

La question du paiement de redevances a été fort controversée. Le texte se réfère à l'article 76 du décret minier et exige qu'une partie des bénéfices résultant du traitement soit remise à la Colonie. La quotité varie, suivant une échelle progressive, depuis 10 % des bénéfices qui ne dépassent pas 3 % du capital social jusqu'à 50 % des bénéfices qui excèdent 35 % du capital.

Les articles 100 et 101 concernent, comme il a déjà été dit, l'approbation des statuts de sociétés par actions désirant obtenir ou acquérir un permis de traitement. Les statuts doivent répondre aux conditions énoncées par l'article 76 du décret minier, c'est-à-dire qu'outre les redevances progressives sur les bénéfices, il faut encore accorder au pouvoir concédant un droit de souscription au capital, un droit de contrôle, un droit de vote spécial. Le décret minier attribue ces prérogatives au pouvoir

concedant en raison de l'octroi du droit d'exploiter le gisement qui peut être assimilé à un apport justifiant une rétribution spéciale. Mais dans le cas des usines de traitement, des membres du Conseil colonial ont fait remarquer, à juste titre, qu'aucun apport analogue n'existe.

Le rapport de 1937 rappelle les considérations émises en 1919 pour justifier les prétentions de l'administration :

« En limitant la participation du pouvoir concedant aux seuls bénéfiques produits par l'extraction des minerais, on ouvrirait la porte à de multiples difficultés, à des contestations sans fin, à des fraudes incessantes.

.....

» Les redevances portant sur les bénéfiques produits par le traitement aussi bien que sur ceux qui proviennent de l'extraction, il fallait soumettre ceux qui ne font que le traitement à toutes les obligations, à toutes les mesures de contrôle, à tout le régime juridique que le décret impose à ceux qui font l'extraction. Or, le régime, tel que l'organise le décret de 1919 et le concevait déjà le décret de 1910 suppose à la base la délivrance d'un permis ».

Toutefois, en 1919 il s'agissait d'une législation propre au Katanga et les commentaires de H. LÉONARD <sup>(1)</sup> font nettement ressortir que le décret devait tenir compte des conventions dont le Comité Spécial du Katanga pouvait se prévaloir. Notamment, celui-ci avait explicitement droit à des redevances sur l'exploitation et le traitement au point que, si le traitement métallurgique des minerais n'avait pas lieu dans son domaine, il pouvait établir sur le minerai, ainsi exporté de son domaine, un droit de sortie compensatoire (art. 59, litt. A, 2<sup>o</sup> du décret minier de 1919). En fait, jamais un tel droit de sortie n'a été établi ni, *a fortiori*, perçu, mais on comprend mieux pourquoi la législation minière de 1937

---

<sup>(1)</sup> H. LÉONARD : Législation minière du Congo belge et du Ruanda-Urundi. Les Nouvelles, I, 1931, pp. 361 et suivantes, nos 354, 390, 391, 394, 395, 487 et 488.

contient des dispositions particulières concernant le permis de traitement.

L'article 102 reprend des questions analogues à celles traitées dans les articles précédents mais dans le cas où le titulaire du permis serait autre qu'une société par actions.

En vertu de l'article 103, la cession du permis ne peut se faire sans l'autorisation écrite et préalable du Ministre. Cet article mentionne les conditions auxquelles la cession ne peut déroger.

Les articles 104 et 106 soumettent le titulaire d'un permis de traitement aux dispositions de certains articles concernant le permis d'exploitation. Ces dispositions visent le cas de décès du titulaire (art. 73), le privilège du pouvoir concédant pour les sommes qui lui seraient dues (art. 80), la responsabilité personnelle des administrateurs en ce qui concerne certaines pénalités (art. 81) et la possibilité de prononcer la déchéance en raison de l'inexécution de certaines obligations (art. 90, 5°).

Enfin, l'article 105 exonère la cession ou l'apport de permis de traitement de la rédevance de 6 % prévue à l'article 57.

\* \* \*

Comment expliquer que les dispositions législatives concernant le permis de traitement n'ont pas encore donné lieu à une application positive, à l'octroi d'un permis ? Tout d'abord, parce que les premiers qui ont envisagé de traiter au Congo les substances visées étaient tout naturellement les titulaires de permis d'exploitation miniers : l'exploitant constate qu'en raison de certaines circonstances, géographiques par exemple, il a intérêt à diminuer le volume transporté et à procéder à une valorisation du produit exporté. Rien, dans la législation, ne l'incitait à séparer l'activité minière de l'activité indus-

trielle, puisqu'il possédait, à titre accessoire, le droit de traiter les substances extraites et que l'une et l'autre activité étaient soumises à des charges identiques. S'il les trouvait trop lourdes en ce qui concerne le traitement et que les frais de transport le permettaient, il pouvait effectuer, ou faire effectuer, le traitement à l'étranger. C'est d'ailleurs ce qu'avait aperçu le législateur de 1910 et de 1919 et il avait prévu la possibilité de contrarier ces exportations en autorisant l'établissement de droits de sortie spéciaux, disposition d'ailleurs restée lettre morte bien que des minerais aient été exportés.

D'autre part, certains exploitants miniers ont séparé l'activité minière proprement dite de l'activité industrielle consistant à traiter le minerai, en se basant sur les conventions particulières qui leur avaient été octroyées.

Enfin, l'on ne peut nier que les dispositions législatives imposées à ceux qui se proposent de ne faire que le traitement de substances visées par le décret n'encouragent pas ces initiatives. L'établissement d'usines de traitement exige des capitaux importants et la possession de connaissances techniques très spécialisées. La mise au point des procédés, souvent couverts par des brevets, pour les adapter aux matières premières extraites de la mine, nécessite presque toujours des recherches longues et coûteuses. Il faut donc que de telles affaires ne soient pas, de surcroît, de la part des pouvoirs publics, l'objet d'exigences que leurs promoteurs jugent excessives.

Les principales raisons invoquées pour justifier ces exigences sont, d'une part, une mise sur pied d'égalité des exploitants miniers traitant eux-mêmes les produits de la mine et de ceux qui ne feraient que le traitement ; d'autre part, la crainte de l'administration d'être frustrée, par des fraudes, des redevances qui lui sont dues.

La mise sur pied d'égalité serait atteinte d'une autre

façon en exonérant le traitement de toute obligation de « permis » et en autorisant les exploitants miniers qui effectuent eux-mêmes le traitement à scinder leurs activités. Quant aux possibilités de fraude, on pourrait les éliminer en déterminant la valeur du minerai au départ de la mine d'une manière analogue à celle utilisée pour fixer les prix de base pour l'application des droits de sortie. Mais les deux arguments invoqués et leur réfutation ne sont en somme que considérations de second plan.

Au premier plan se trouve la détermination de la politique générale que les pouvoirs publics veulent poursuivre dans l'intérêt supérieur du pays. Cette politique est évidemment susceptible de fluctuations et de modifications profondes. S'il est à présent reconnu souhaitable de promouvoir l'industrialisation du pays, si le but poursuivi est de tirer le meilleur parti des ressources en énergie que le pays possède, il faut créer les conditions nécessaires pour encourager l'initiative privée à valoriser au maximum les ressources du pays en matières premières. L'installation d'usines de traitement doit alors être favorisée. En vue de réaliser pareil objectif, il faudrait remanier les dispositions du décret minier concernant le permis de traitement.

30 avril 1954.

**E.-J. Devroey. — Présentation  
de l'Annuaire hydrologique du Congo belge  
et du Ruanda-Urundi (1953).**

M. E.-J. Devroey présente l'Annuaire hydrologique 1953 du Congo belge et du Ruanda-Urundi, élaboré par le Comité hydrographique du Bassin congolais.

On sait que ce comité, créé par arrêté du 1<sup>er</sup> mars 1950 du Prince Régent, a pour objet de réunir, coordonner, compléter et diffuser les données relatives au régime des cours d'eau et des lacs du Congo belge et du Ruanda-Urundi, et d'en étudier l'application à l'amélioration et à l'extension de la navigation,

Cet ouvrage, qui constitue le cinquième du genre, résume l'état de nos connaissances hydrologiques du Congo belge et du Ruanda-Urundi au 31 décembre 1953.

Les éditions antérieures comportaient respectivement :

En 1947 : 60 tableaux d'observations ;

En 1950 : 103 ;

En 1951 : 141 ;

En 1952 : 155, tandis que l'annuaire actuel mentionne, jour par jour, les résultats relevés en 1953 aux 234 stations régulièrement observées, contre 195 en 1952. Pour chaque station, il est fourni en outre les moyennes mensuelles et annuelles ainsi que les diagrammes-enveloppes, c'est-à-dire les plus hautes et plus basses eaux connues depuis le début des observations.

Pour la station de Léopoldville, la période d'observation s'étend, sans interruption, sur 52 années.

Il résulte dudit annuaire que le réseau des voies navigables du Congo belge comportait au 31 décembre 1953, un développement de 15.939 km, dont 2.655 km présentant en tout temps un mouillage minimum de 1,30 m ; 9.324 km, un mouillage d'un mètre, et 14.501 km un mouillage de 0,80 m. Il faut y ajouter 138 km pour le bief maritime dont le mouillage a été porté officiellement à 30 pieds en juin 1953.

De leur côté, les concessions de chutes d'eau pour la production d'énergie hydroélectrique totalisaient, au 31 décembre 1953, une puissance de 947.102 CV parmi lesquels 299.759 CV installés et 609.503 CV en construction.

Les chiffres au 31 décembre 1952 étaient respectivement de 764.785 CV, 258.624 CV et 208.983 CV.

30 avril 1954.

Séance du 21 Mai 1954.

---

Zitting van 21 Mei 1954.

## Séance du 21 mai 1954.

La séance est ouverte à 14 h 30 sous la présidence de M. R. Cambier, directeur.

Sont en outre présents : MM. R. Bette, E.-J. Devroey, P. Fontainas, G. Gillon, G. Moulaert, F. Olsen, M. van de Putte, membres titulaires ; MM. F. Campus, C. Camus, E. De Backer, L. Descans, M. Legraye, E. Mertens, membres associés ; MM. J. Quets, P. Geulette, J. Van der Straeten, membres correspondants.

Excusés : MM. De Roover, A. Gilliard, J. Lamoën, P. Lancsweert, P. Sporcq.

### Commémoration du XXV<sup>e</sup> anniversaire de l'I. R. C. B.

Voir p. 882.

### La jonction ferrée Kamina-Kabalo, et le pont-rail, route sur le Lualaba à Zofu.

M. C. Camus résume la communication qu'il a rédigée sur ce sujet (voir p. 1031).

#### Homage d'ouvrages.

Le *secrétaire général* dépose ensuite sur le bureau les ouvrages suivants :

#### Aangeboden Werken.

De *Secretaris-Generaal* legt daarna op het bureau de volgende werken neer :

#### BELGIQUE — BELGIË :

BERMANE, M. D., Quinze années d'essais de corrosion atmosphérique en Belgique, résultats des travaux de la Commission IV

### Zitting van 21 Mei 1954.

De zitting wordt geopend te 14 u 30 onder voorzitterschap van de H. R. Cambier, directeur.

Zijn insgelijks aanwezig: de HH. R. Bette, E.-J. Devroey, P. Fontainas, G. Gillon, G. Moulaert, F. Olsen M. van de Putte, titelvoerende leden; de HH. F. Campus, C. Camus, E. De Backer, L. Descans, M. Legraye, E. Mertens, buitengewone leden; de HH. J. Quets, P. Geulette, J. Van der Straeten, corresponderende leden.

Verontschuldigd: de HH. De Roover, A. Gilliard, J. Lamoen, P. Lancsweert, P. Sporcq.

#### **Herdenking van de XXV<sup>e</sup> verjaring der oprichting van het K. B. K. I.**

Zie blz. 883.

#### **De spoorweg Kamina-Kabalo en de railbrug, weg op de Lualaba te Zofu.**

De H. C. Camus vat de mededeling, die hij over dit onderwerp heeft opgesteld, samen (zie blz. 1031).

#### **Geheim comité.**

De titelvoerende leden, verenigd in geheim comité, wisselen van gedachten over de kandidaturen voor de opengevallen plaats van titelvoerend lid.

De zitting wordt te 15 u 50 opgeheven.

de l'A. B. E. M. (Association belge pour l'Étude, l'Essai et l'Emploi des Matériaux, Bruxelles, 1953, 22 pp. = *Extrait de l'Industrie Chimique Belge*, 19, 1954, pp. 231-240).

Dragues Ellicott, Catalogue 810 (Elliott Machine Corporation, Baltimore (Maryland), 1954, 33 p. — Don de M. L. Dubois, Bruxelles).

## EUROPE — EUROPA

### POLOGNE : POLEN :

STEINHAUS, H., O zagadnieniu taryfy elektrycznej (Société des Sciences et des Lettres de Wrocław, Wrocław, 1947, 49 pp. = *Travaux*, Série, B, 1).

Les remerciements d'usage sont adressés aux donateurs. Aan de schenkers worden de gebruikelijke dankbetuigingen toegezonden.

### Comité secret.

Les membres titulaires, constitués en comité secret, échan- gent leurs vues sur les candidatures à une place de membre titulaire devenue vacante.

La séance est levée à 15 h 50.

**C. Camus. — La jonction ferrée Kamina-Kabalo et le pont route-rail sur le Lualaba à Zofu.**

Le Plan Décennal comporte à son programme, dans le domaine des voies de communication, la jonction du K. D. L. et du C. F. L. et celle du K. D. L. et du Chemin de Fer Matadi-Léo, en vue de rendre les réseaux du Congo belge plus homogènes et éviter, dans la mesure du possible, les transbordements et manipulations.

Le projet de liaison Stanleyville-Bukavu, dont les reconnaissances ont été entamées, a été provisoirement abandonné en raison de la faible importance du trafic. En effet, les dépenses assez importantes d'un chemin de fer ne se justifient que pour un trafic de bout en bout de 4 à 500.000 t. Or, le Kivu ne présente pas encore cette importance et le Gouvernement a très sagement décidé l'amélioration de certains tronçons de routes existantes pour les mettre à grande section, ainsi que l'étude de variantes.

L'ensemble constituera une route capable de charrois très lourds, qui pourra suffire momentanément au développement de la région du Kivu.

Les autres liaisons sont :

— Celle de Port-Francqui/Léopoldville, qui est maintenue au programme, espérons-le pour une réalisation peu lointaine ;

— La jonction Kindu-Port Empain/Ponhierville, pour pallier les difficultés de navigation du bief moyen pendant les eaux basses ; la construction de cette liaison ferrée s'avère moins urgente du fait de la jonction

Kamina-Kabalo, mais s'imposera certainement dans un avenir pas fort lointain.

La liaison qui s'imposait en premier lieu était celle K. D. L.-C. F. L., qui établit la liaison Est-Ouest à travers l'Afrique et, en même temps, supplée l'insuffisance du bief supérieur du Lualaba, de Kabalo à Bukama, qui a une durée de 4 à 5 mois à la saison des eaux basses.

Il est du plus haut intérêt que le réseau ferré K. D. L., qui s'étend de Port Francqui à Sakania et Dilolo, ayant deux antennes vers l'Ouest et représentant 2.500 km de voie, soit raccordé au réseau C. F. L., comprenant 839 km ferrés et 1.540 km fleuve et lac (voir Planche 1).

Cette jonction, dite « Kabalo-Kamina » ou « K. M. K. », répond à un besoin stratégique et économique.

Du point de vue stratégique :

Le Gouvernement anglais a centré la défense de ses territoires d'outre-mer sur l'Est Africain, à Nairobi, qui devient le réduit de la défense anglaise pour le cas où la Grande-Bretagne serait isolée.

Nous savons que l'utilisation du Canal de Suez et de la Mer Rouge peut devenir précaire, de même que le Soudan Anglo-Égyptien avec exutoire vers Le Caire.

Dès lors, Nairobi ne pourrait être alimenté que par la voie de Mombasa, ce qui impliquerait pour les transports militaires le détour par le Cap de Bonne Espérance avec tous les dangers que ce détour comporte du fait des sous-marins.

La liaison entre les côtes occidentale et orientale d'Afrique par un chemin de fer partant de Lobito, avec l'appoint du Léo/Port-Francqui, serait de nature à maintenir des communications rapides.

La distance de Lobito à Dar-es-Salam, avec antenne vers Mombasa et le Lac Victoria, serait de quelque 4.500 km.

D'autre part, la construction du tronçon Shabani-

Guija, de 320 km, entre le chemin de fer de Rhodésie et celui de Mosambique, raccourcit très sensiblement la distance entre le Congo belge et Lourenço Marques ; alors qu'actuellement il faut faire le détour par Johannesburg. Le réservoir énorme de l'Afrique du Sud et des Rhodésies, tant en hommes qu'en matériel, se trouvera de ce fait rapproché de Nairobi.

Du point de vue économique, son importance est grande.

Actuellement, pour atteindre le Lac Tanganika et le Kivu, la marchandise met, de Matadi, plusieurs mois, parcourant via Stanleyville  $\pm$  3.500 km ; elle subit 5 transbordements intermédiaires.

Via Port-Francqui et la jonction, la distance sera de  $\pm$  3.000 km et 3 manutentions.

Via Lobito,  $\pm$  3.100 km et une seule manipulation.

Si les kilométrages ne sont pas tellement différents, les délais de transport sont sérieusement affectés par les transbordements, qui, en moyenne, impliquent (et encore théoriquement) 5 à 6 jours de battement ; mais ces 5 à 6 jours sont le plus souvent dépassés. Soit, via Stanleyville, plus d'un mois.

Ces transbordements favorisent les vols et entraînent fatalement des avaries aux emballages, quand ce n'est pas à la marchandise elle-même.

Le K. M. K. ouvrira à l'économie générale les riches régions de Kongolo, Nyunzu, Kabalo, Manono et Kabongo, et mettra à la portée de la colonisation européenne les magnifiques plateaux de la région de Kabongo et de Sohe.

Enfin, un facteur important d'incertitude sont les saisons des basses eaux au bief moyen, entre Ponthierville et Kindu-Port Empain, et au bief supérieur, entre Bukama et Kabalo, qui, certaines années, ont freiné sérieusement les transports.

Pour ce dernier bief cependant, la situation est amélio-

rée suite à la mise en service récente de l'usine hydro-électrique de N'Zilo, qui turbine  $\pm 100$  m<sup>3</sup>/s, représentant une tranche d'eau de 1 cm par m<sup>3</sup>/s, soit, aux eaux basses, de  $\pm 0,40$  m aux profondeurs de  $\pm 1,40$  m.

La nouvelle centrale Le Marinel, en construction, améliorera encore la situation.

Mais, aux basses eaux, les énormes superficies des lacs Kisale, Upemba, Kabwe, Zimbamba et des marais qui les entourent, absorbent le volume d'eau turbiné et l'action de ce dernier ne se fait plus guère sentir en aval de Kadia.

On peut donc affirmer que, parmi les voies ferrées nouvelles à construire, la jonction C. F. L.-K. D. L. devait avoir un droit de priorité.

Une objection qui vient tout naturellement à l'esprit est que  $\pm 1.200$  km de voie fluviale en plus via Stanleyville, seront, du point de vue tarifs, remplacés par un égal parcours de voie ferrée, donc plus coûteux.

C'est ici qu'interviennent les tarifs inter-réseaux, dits de parité, c'est-à-dire que la marchandise, qu'elle soit d'importation ou d'exportation, payera le prix le plus bas des trois voies via Dar-es Salam, Stanleyville ou Kamina.

Un syndicat fut constitué par le B. C. K. et le C. F. L. pour financer les études. Ces deux sociétés mirent en commun leur personnel d'études sur place pour fixer les grandes lignes du tracé, dont l'étude de détails fut poursuivie ensuite, sous le contrôle du dit syndicat, par les brigades des deux compagnies, au départ de Kabalo ou de Kamina.

Plusieurs liaisons ont été examinées au départ de Kabalo, qui est un point obligé : Kabalo-Kabinda ou Luluabourg, Kabalo-Luputa, Kabalo-Mwadi Kayembe et Kabalo-Kamina (voir Planche 2).

Les deux premiers tracés réalisaient plus directement la liaison Est-Ouest, mais présentaient une longueur plus grande, en plus de difficultés de construction, le pays

étant fortement vallonné, même montagneux ; le tracé coupait trois cours d'eau importants : le Lomami, la Lubischi et la Luemba, qui nécessitaient des cubes de terrassement élevés ainsi que trois ouvrages d'art importants.

De plus, le détour qui en résultait pour le trafic local lac Tanganika-Élisabethville et vice-versa, se chiffrait par  $\pm 200$  km ; dès lors, le bief supérieur conservait toute son importance économique, mais aussi tous ses inconvénients.

La direction générale Kabalo-Kamina échappait à cet inconvénient et, du point de vue longueur (444 km) et difficultés techniques, se présentait infiniment mieux.

Le tracé pouvait se tenir en crête de partage Lomami-Lualaba et présentait donc un minimum de terrassements.

Des reconnaissances aériennes et la route Kabalo-Kabongo-Kamina existante facilitèrent ce choix.

Ce choix fait, 8 reconnaissances au tachéomètre plus détaillées furent effectuées, dont deux furent retenues : celle de Kitenge-Lenge et celle de Lilembwe (voir Planche 3).

Bien que le tracé Kilembwe soit plus court, par contre le volume de terrassements ainsi que le nombre d'ouvrages d'art du tracé « Kitenge-Lenge » sont beaucoup moins importants que ceux du tracé Kilembwe :

|                               | Kitenge-Lenge            | Kilembwe                 |
|-------------------------------|--------------------------|--------------------------|
| terrassements                 | 1.700.000 m <sup>3</sup> | 2.250.000 m <sup>3</sup> |
| ponts de 30 m                 | 3                        | 3                        |
| ponts de 20 m                 | 0                        | 1                        |
| ponts de — de 20 m            | 0                        | 17                       |
| buses et dalots de 0,90 à 2 m | 1.500 m. ct              | 1.880 m. ct              |

Le tracé dit « Kitenge-Lenge » fut adopté et reçut l'approbation du Gouvernement de la Colonie ; les études définitives furent conduites suivant ce tracé.

Après une série de reconnaissances des rives du Lualaba et de sondages en aval et en amont de Kabalo, le point de passage fut fixé à Zofu, à 10 km en amont de Kabalo.

Les grands axes du problème étant fixés, les levés tachéométriques furent poussés activement, tant du côté Kamina que du côté Kabalo.

La partie du tracé de reconnaissance entre les km 110 et 160 étant en terrain particulièrement difficile, il fut recouru à la photographie aérienne sur une bande de  $\pm 6$  km.

Cette mosaïque fut envoyée à Bruxelles, où l'*Institut Géographique Militaire* (I. G. M.) détermina l'emplacement des points au sol. Le Service des Études les établit sur place et les releva au tachéomètre.

Cette restitution fut faite avec courbes de niveau équidistantes de 10 m, ce qui permit le choix sans aléas, sur plans, du meilleur « tracé ».

Des photos furent établies de la minute originale au 1 : 20.000 avec les précisions suivantes :

- a) En planimétrie : erreur maximum 1,5 ‰ sur la longueur des bandes, et 5 m localement ;  
en réalité, on a obtenu une précision de 49 m sur 55 km, soit 0,9 ‰ ;
- b) En altimétrie : sur l'ensemble : précision du levé barométrique ;  
localement : erreur maximum de 3 m en région découverte.

Le prix de 500 F le km<sup>2</sup> de levés aériens avec restitution, soit  $\pm 250.000$  F contre  $\pm 650.000$  F par les méthodes ordinaires, nous fit en plus gagner 7 mois.

Les caractéristiques imposées furent : pentes et rampes de 12,5 ‰, rayon minimum de 500 m (voir Planche 4).

L'allure générale du tracé se présente ainsi :

km 0-km 10 : terrain plat ; 45.000 m<sup>3</sup> de terrassements ;  
km 10 : pont de Zofu de 750 m ; fleuve Lualaba supérieur ;

km 10-km 80 : terrain plat ; 255.000 m<sup>3</sup> de terrassements ;  
km 80-km 94 : terrain montagneux ; 200.000 m<sup>3</sup> de terrassements ;  
km 85 : pont de 31 m sur la rivière Kadiabilongo ;  
km 94-km 116 : terrain moyen ; 83.000 m<sup>3</sup> de terrassements ;  
km 116-km 160 : terrain très difficile ; 675.000 m<sup>3</sup> de terrassements ;  
km 124 : pont de 31 m sur la rivière Lusanze ;  
km 160-km 186 : terrain moyen ; 93.000 m<sup>3</sup> de terrassements ;  
km 186-km 250 : terrain difficile ; 569.000 m<sup>3</sup> de terrassements ;  
km 204 : pont de 31 m sur la rivière Luguvu.

De Kabongo à Kamina, le tracé ne présente pas de grosses difficultés. Le B. C. K. en a poursuivi les études et implantation sur le terrain.

Les gros cubes comportent 12.000 m<sup>3</sup> au km, avec des nœuds de 30.000 m<sup>3</sup> et 70.000 m<sup>3</sup> au km, aux cumulées km 85 et km 135.

Le sol est argilo-sablonneux. Les sondages ont délimité  $\pm$  100.000 m<sup>3</sup> de terrassements en terrain de schiste et limonite compacte.

Le Syndicat C. F. L.-B. C. K. présenta le tracé au Ministre des Colonies, qui l'accepta.

Le Syndicat, constitué le 3 mai 1949, fut dissout le 28 décembre 1952.

Entretemps, la formule de construction fut adoptée comme suit :

- a) Section Kamina-Kabongo (200 km) : financée et construite par le B. C. K. ;
- b) Section Kabongo-Kabalo (245 km) : financée par le Gouvernement de la Colonie et construite par le C. F. L. ; le 26 juin 1952, le Ministère lui confia la construction en tant qu'entrepreneur général.

Une formule fort heureuse fut trouvée pour permettre à la Colonie de prendre rapidement toutes décisions pendant la construction et suivre celle-ci ; elle consista dans la création d'un *Comité de construction du Chemin de fer Kabalo-Kabongo*, composé de 3 ingénieurs représentant le Département et 3 ingénieurs représentant

le C. F. L., la présidence étant assurée par cette société.

Cette formule s'est montrée d'une rare souplesse et elle est vraiment à conseiller dans des cas semblables.

Le planing des travaux administratifs préparatoire fut :

- Engagement du personnel ;
- Commande des habitations démontables : hôpital, dispensaire pour le personnel et service médical ;
- Établissement du cahier des charges du pont de Zofu ;
- Établissement du cahier des charges des terrassements ;
- Commande de 250 km + 30 km = 280 km de voie (rails, traverses, accessoires), soit 35.000 t environ ;
- Commande des 3 ponts de 31 m ;
- Commande des châteaux d'eau et pompes ;
- Commande d'une bourreuse MATISA pour le ballastage ;
- Commande du matériel téléphonique et télégraphique.

Une partie du personnel fut trouvée à l'exploitation du réseau C. F. L. et complétée successivement.

Six habitations (3 en briques adobes) furent construites d'urgence ; il fut expédié de Belgique 13 habitations type démontables métalliques de « JAMBES », 2 maisons Sluysmans, 3 roulottes, 6 maisons en aluminium, 9 logements type Altente, 10 maisonnettes anversoises, qui constituèrent par leur combinaison le logement du personnel, les bureaux, les magasins, les dispensaires, un hôpital (qui comprend deux salles de médecine générale pour hommes et femmes, de 10 lits chacune, et une salle de 10 lits contiguë à la salle d'opération), les maternités, les pavillons d'isolement, etc...

A la date de ce jour, le C. F. L. a 25 agents en service

sur place, indépendamment des 61 agents des sous-contractants.

Pour les indigènes, 100 logements démontables furent exécutés d'urgence, et les camps furent construits au fur et à mesure des besoins.

Un hydrologue fut envoyé sur place pour la captation, par puits artésiens, des couches phréatiques et fournir ainsi aux camps l'eau potable nécessaire.

Le recrutement de la M. O. I. fut organisé et se poursuivit surtout dans les territoires limitrophes des travaux. Un petit complément a été recherché dans le Ruanda-Urundi.

Le planing prévoyait un effectif sur place de 3.500 travailleurs seulement pour les travaux de terrassements à partir de janvier 1954.

Grâce à la mécanisation très poussée des terrassements, ce chiffre est actuellement, en pleins travaux, de 7 à 800 et ne sera pas dépassé.

Pour tous les travaux : terrassements, pont de Zofu, ponts de 31 m, pose de la voie, service médical, service du transbordement et transport des rails de rive droite à rive gauche à Zofu, le total de la M. O. I. n'atteint que 2.069 travailleurs, dont environ 750 pour les terrassements.

La situation démographique est très bonne : 1.246 femmes légitimes et 1.362 enfants.

La réputation des travaux parmi les populations est excellente ; en effet, parmi les 2.069 travailleurs précités, il y a 1.069 engagés spontanés.

L'hospitalisation des travailleurs est en moyenne d'environ 0,3 % par jour.

De janvier 1953 à mars 1954, il a été enregistré dans les maternités de la Construction, qui fonctionnent sous la responsabilité des épouses de certains de nos agents européens, 150 naissances viables.

Le ravitaillement en vivres est particulièrement soigné ; les cantines fonctionnent avec pleine satisfaction.

Deux médecins et quatre infirmiers européens assurent le service médical.

Un club avec salle de cinéma pour le personnel européen et indigène a été construit à Kabalo, en compte commun par le C. F. L. et les sous-traitants.

Tout ce petit monde, Européens et Indigènes, s'entend fort bien et travaille avec enthousiasme, malgré les conditions parfois dures dues aux travaux et à la vie en brousse. Je les en félicite tout particulièrement.

L'établissement du cahier des charges du pont de Zofu a soulevé de nombreuses questions.

Il fut procédé par adjudication-concours.

Bien que le C. F. L. ait fourni certaines données de sondage du sous-sol, du profil du fleuve, du débit en saison des hautes eaux et du régime des pluies, les soumissionnaires étaient tenus de contrôler ces données et de les compléter en vue de déterminer la nature des fondations, le débouché du pont, le nombre de travées, la nature des rampes d'accès, lesquelles font partie de l'entreprise.

Le but dominant a été d'éviter la dispersion des responsabilités. Il ne fallait pas que les entrepreneurs puissent reporter sur le maître de l'ouvrage, à la faveur de certaines interprétations, une portion de leurs responsabilités qui devaient rester entières.

A ce point de vue, le C. F. L. n'a jamais transigé et s'est toujours gardé d'entamer avec les entrepreneurs des discussions qui auraient pu, dans la suite, restreindre leur responsabilité.

Le lit majeur du fleuve à la rive gauche, qui constitue une zone d'inondation marécageuse, demandait une étude spéciale ; la rampe d'accès à 12,5 ‰ y atteint près de 900 m.

Le tirant d'air fut fixé à 12,40 m au-dessus du niveau

des plus hautes eaux enregistrées, soit 534,60. L'intrados du pont se trouvait donc à la cote 547.

Cette cote fut fixée en vue de ménager la navigation sur le fleuve en aval. En effet, les installations du chantier naval se trouvent concentrées à Kongolo et il fallait pouvoir assurer le passage des unités pour leur réparation.

Le cahier des charges laissait toute latitude aux soumissionnaires quant au projet à présenter : fer, béton armé, mixte, béton précontraint. Seuls l'aluminium et les ponts soudés étaient exclus, de même que les projets de pont à travée mobile ; c'est en raison de l'élimination de cette alternative que le tirant d'eau a été porté à 12,40 m.

Les taux de travail des matériaux, leur mise en œuvre ainsi que leur condition de réception, furent ceux de l'I. B. N. (du 16 juin 1951).

Le cahier des charges, qui comprenait une centaine de pages, plans et annexes, comportait des précisions concernant le compactage pour les rampes d'accès, qui représentaient quelque 300.000 m<sup>3</sup> de terrassements. Les essais Proctor normal à 25 coups et Proctor modifié à 55 coups furent imposés ; le compactage devait donner une terre de densité comprise entre ces deux limites.

Une disposition spéciale prévoyait que les soumissionnaires devaient, à leurs frais, se couvrir auprès d'une compagnie d'assurance agréée par le C. F. L., et ce à l'intervention du *Bureau Seco-Congo*, chargé du contrôle technique de l'entreprise, contre tous risques pendant la construction de l'ouvrage, de même que les risques de la responsabilité décennale telle qu'elle résulte de l'application des articles 1792 et 2270 du Code civil.

Il a été prévu l'octroi de 4 primes de 40.000 F, 60.000 F, 80.000 F et 100.000 F pour récompenser les projets les plus intéressants.

Le 20 février 1953, il fut procédé à l'ouverture des soumissions.

Onze entreprises isolées ou groupées remirent 46 offres différentes, allant de 130 à 336 millions, avec des délais variant de 24 à 36 mois.

Les grandes différences dans les offres provenaient de la longueur proprement dite du pont, qui variait de 410 à 625 m, suivant que la rampe d'accès de la rive gauche comprenait ou non des travées d'inondation ; suivant aussi la largeur estimée du lit majeur qui, selon la hauteur des eaux, varie fortement ; suivant aussi des études hydrographiques faites pour déterminer le débit du fleuve et, partant, du débouché.

Certaines solutions étaient, du point de vue technique, particulièrement intéressantes ; notamment celle en béton précontraint de système Freyssinet et celles, également en précontraint, de poutres continues de l'Ingénieur BIRGUER et du Professeur MAGNEL.

Je vais vous présenter ces quelques projets, sans les commenter techniquement ; cela nous conduirait trop loin.

On élimina d'abord les solutions les plus coûteuses ; parmi elles se trouvaient la plupart des solutions en précontraint, contrairement à toute attente.

Parmi les projets de prix comparables, il s'en trouvait en poutre continue ; mais une certaine crainte naquit du fait que le terrain de fondation ne présentait peut-être pas une résistance à l'abri de tout tassement, qui aurait pu, dans un système hyperstatique, créer des efforts secondaires extrêmement importants, voire même dangereux si le tassement atteignait des proportions quelque peu importantes. Les projets à fondations sur pieux en béton furent éliminés ; les spécialistes consultés, notamment des professeurs d'université, donnaient la préférence aux fondations sur caissons havés, étant donné l'inconnue de la nature du sous-sol.

Huit projets furent retenus, dont :

1<sup>o</sup> Type Bowstring en béton ; diagonale et tirant en béton précontraint ;

2<sup>o</sup> Type piles en béton armé avec consoles supportant une travée indépendante ;

3<sup>o</sup> Type piles en béton sur caisson havé, poutres métalliques cantilever, en acier A. 52 ; membrure horizontale, tablier monobloc en béton armé ;

4<sup>o</sup> *Idem*, mais tablier métallique avec platelage en béton armé ;

5<sup>o</sup> Type métallique, poutre continue en treillis en acier A. 37 ;

6<sup>o</sup> Type poutre droite continue en béton armé ;

7<sup>o</sup> *Idem* au 4<sup>o</sup>, mais en acier A. 37 ;

8<sup>o</sup> Type poutre continue à âme pleine en A. 37.

Une des offres intéressantes présentées était en acier A. 52 qui répondait aux conditions de notre cahier spécial des charges, basé sur les règlements de l'I. B. N. (NBN n<sup>o</sup> 5), qui a été homologué par le Gouvernement belge et qui est suivi par les grandes administrations en Belgique.

En fin de compte, le projet présenté par *Engema*, en collaboration avec les *Ateliers de construction de Jambes-Namur*, la *Société des Batignolles*, *Socomi* — et plus tard, *Gecico* qui s'y était jointe, fut retenu définitivement en principe (voir Planche 5).

La longueur fut portée à 750 m contre 600 ; par contre, les arches d'inondation prévues à la rampe d'accès rive gauche furent supprimées, car, après étude, il fut estimé préférable d'augmenter le débouché propre du pont que de prévoir une augmentation de celui-ci dans le lit majeur, donc uniquement pour les hautes eaux.

De plus, on prévint les travées non navigables avec

pente de 3 ‰ en vue de réduire l'importance et surtout la hauteur maximum du remblai, qui était ramenée de 17 m à 15 m.

Étant donné la longueur du pont, la pente lui donnait une allure beaucoup plus agréable à l'œil.

Cependant, l'adoption de l'acier A. 52 donna lieu à des craintes, bien qu'il ait été adopté au pont des Ardennes, à Namur, et que les Chemins de fer allemands l'emploient depuis avant guerre pour leurs grands ponts sur le Rhin.

L'acier A. 52 doit présenter, d'après I. B. N. (fascicule N. B. N. 153-11) :

|                        |                         |
|------------------------|-------------------------|
| R 52 à 62 K°           |                         |
| Re pour $e \geq 12$ mm | : 36 kg/mm <sup>2</sup> |
| $e$ entre 12 et 16 mm  | : 34 kg/mm <sup>2</sup> |
| $e$ entre 16 et 30 mm  | : 34 kg/mm <sup>2</sup> |

Mais l'I. B. N. ne prévoit d'essais de résistance et de vieillissement que pour le A. 52 H. S., c'est-à-dire haute soudabilité pour construction soudée à l'arc électrique.

Il nous revient que certaines pièces destinées au Pont des Ardennes s'étaient brisées en tombant.

Après enquête, ce fait fut reconnu inexact ; néanmoins, en vue d'avoir tous nos apaisements, notre conseiller, M. le Professeur DESPRETS, spécialiste en ponts métalliques, fut envoyé en mission auprès du *Bundesbahn* (chemins de fer allemands) afin de nous documenter sur l'utilisation par lui de cet acier.

Les règlements allemands sont plus prudents que l'I. B. N. et prévoient des coefficients de majoration des charges différents suivant qu'il y a trafic de moins de 25 trains ou plus de 25 trains/jour, et suivant le rapport  $\frac{F_{\min}}{F_{\max}}$  des efforts alternés.

Ainsi, pour  $\frac{F_{\min}}{F_{\max}}$  allant de 1 à 0,1, le coefficient de majoration des charges va :

De 1,40 à 1,04 pour I. N. B. ;

De 1,50 à 1,05 pour règlement allemand moins de 25 trains ;

De 1,944 à 1,340 pour règlement allemand plus de 25 trains quand effort maximum est une traction.

Les chemins de fer allemands ont attiré particulièrement notre attention sur ce que la métallurgie de l'acier A. 52 résultait d'une technique très spéciale et qu'il devait provenir d'usines spécialisées telles que les Usines de Differdange qui peuvent fournir du A. 52 HS (haute soudabilité) avec résilience minimum de 12 contre 6,6 prescrit.

Il fut prévu aussi des essais de vieillissement, qui est le rapport

$$\frac{\text{résilience du métal à l'état vieilli}}{\text{résilience du métal à l'état de livraison}} \geq 0,6.$$

Les aciers ont été commandés à HADIR et ARBED, deux groupements luxembourgeois, et on renonça à appliquer les règlements allemands plus sévères, ce qui aurait conduit à des augmentations de prix de la soumission.

Enfin, pour tenir compte de la nature de cet acier, nous avons limité les tensions admissibles dans les calculs à :

|                    | Traction et compr. | Cisaillement    |
|--------------------|--------------------|-----------------|
| C. F. L.           | 21 et 23 K°        | 12,6 et 13,8 K° |
| I. B. N.           | 21 et 26 K°        | 12,6 et 15,6 K° |
| Règlement allemand | 21 et 24 K°        | 12,1 et 13,8 K° |

suivant les cas de sollicitation :

N° 1 : Charges permanente et mobile et impact ;

N° 2 : En plus : lacet, vent, démarrage, variation température, frottement des appuis.

Le train de charges fut fixé à une locomotive Mountain de 135 t, à 22 t par essieu, suivi d'un tender et de wagons de 16 t par essieu, ce qui réserve l'avenir.

L'association temporaire *Engema-Les Batignolles-Socomi-Gecico* fut déclarée adjudicataire le 29 juin 1953.

La première pierre de la culée rive droite fut posée le 4 mars 1954 par le Gouverneur de la province du Katanga, et bénie par les Vicaires apostoliques BOUVE et MORLION.

Les fondations présentent un double caisson en béton avec couteaux inférieurs, construit à même le fond du fleuve à l'abri d'un batardeau en palplanches métalliques.

L'enfoncement se fait par havage et, à l'arrivée à profondeur, il est coulé un bouchon en colcrete de 2,40 m qui reporte les pressions au sol,

Les efforts au renversement des piles ont été calculés pour la pression d'une île de papyrus qui a été évaluée à 150 t.

Afin de déterminer ces efforts considérables, qui impliquaient, pour la base des piles, des dimensions assez fortes, il fut procédé, au fleuve, à des essais de rupture de câble d'un bateau fortement ancré dans le fleuve et recevant la pression d'une île de papyrus. Les dynamomètres cédèrent, mais la rupture des câbles indiqua suffisamment la poussée des papyrus.

Le problème avait été différent pour le pont en béton armé de Kongolo, les îles de papyrus étant désagrégées dans les passes des Portes d'Enfer, où la turbulence est considérable.

Par ailleurs, au pont de Zofu, le sous-sol est sablonneux et argile verdâtre, tandis qu'à Kongolo les fondations s'appuyent sur le rocher (voir Planche 6).

La section des piles dans les travées d'inondation présente deux caissons de 7 m  $\times$  4,40 m, havés dans le sens du courant, soit 8,80 m + un intervalle de 4 m et un chevêtre réunissant les deux caissons ; soit 12,80 m d'empannement longitudinal pour résister au renversement.

Les calculs ont été établis sur les bases des théories de

TERZAGHI et de CACQUOT sur l'équilibre des massifs pulvérulents à frottement interne.

D'autres formules existent : de FROLICH, de RANKINE, de VIERENDEEL ; l'application de ces formules a donné des résultats comparables.

La formule de CAQUOT s'écrit :

$$p = p_0 j e^{\pi \tan \varphi}$$

où :

$p$  = pression maximum résultant des calculs ;

$p_0$  = pression exercée au pourtour de la fondation et à l'extérieur de celle-ci ;

$j = \tan^2 \left( \frac{\pi}{4} + \frac{\varphi}{2} \right)$  = coefficient de butée ;

Ce qui devient en désignant par  $h$  la hauteur des terres et  $w$  leur poids spécifique :

$$p = \omega h j e^{\pi \tan \varphi}$$

= angle de frottement interne ;

$e$  = base logarithmique neperien.

La loi des variations indique qu'à partir de  $\varphi = 25^\circ$ , la pression admise augmente très rapidement.

Or, les essais des carottes de sondage au Laboratoire géotechnique à l'Université de Gand, ont donné  $30^\circ$  comme angle de frottement et même davantage, ce qui donne un  $j e^{\pi \tan \varphi}$  de 22,8 avec un coefficient de sécurité 3 pour sollicitation normale et 2 pour sollicitation extrême, soit 6 K<sup>o</sup> comme taux travail normal.

De plus, pour prévenir les risques d'affouillement, le cahier des charges imposait une revanche de :

2,50 m dans le lit mineur ;

1 m dans le lit majeur ;

à partir de laquelle les calculs s'appliquaient.

Toutes les conditions de sécurité étaient donc bien prévues.

Des sondages complémentaires ont été exécutés à des

profondeurs, au droit de chaque pile, allant jusqu'à la cote 506 (soit 16 à 19 m sous le niveau du fleuve).

Le sol traversé est formé sur 5 à 6 m de gros sable, ensuite du sable gris à laitance verdâtre de 0/2 ; puis, comme substratum, de l'argile grise compacte verdâtre oscillant entre les cotes 506 et 513.

La fondation de la culée R. D. fut arrêtée à la cote 534,50 ; celle de la pile n° 2 à la cote 516,20.

Les essais des sols sur place ont été poursuivis à l'appareil *diepsondering* qui donne les résistances du sol tant en compression qu'en frottement ; le taux admis au calcul a été de 4 kg.

Il est probable que les fondations des autres piles se tiendront aux environs de la cote 514-516.

A la suite de nouveaux sondages dans le lit majeur, la fondation sur pieux en béton fut admise à partir de la pile n° 8 (voir Planche 7).

Le but des sondages à la cote 506-510 était de s'assurer de l'homogénéité sur une assez grande épaisseur de l'argile compacte verdâtre.

L'eau ainsi que le sable du fleuve ont fait l'objet d'analyses en vue de leur utilisation dans les bétons.

Les courbes granulométriques ont été établies d'accord avec le *Bureau Seco-Congo* et les Laboratoires des Universités de Gand et de Bruxelles.

Des cubes d'essai pour le ciment et les bétons sont envoyés par avion, au fur et à mesure du bétonnage, aux laboratoires de ces Universités ; les résultats en sont transmis télégraphiquement aux chantiers.

La coupe en travers du pont a donné lieu avec l'entreprise à plusieurs études (voir Planches 8 et 9). On s'est arrêté à deux poutres de rive de 6,50 m de passage, pour réserver l'électrification future, présentant un caisson inférieur et supérieur de 500 mm de largeur et 600 mm de hauteur ; réunies par des entretoises (pièces de pont) en

poutrelles DIN de  $147 \rightarrow \overset{300}{\text{I}}_{600}$  à chaque nœud et deux longrines sous-voie de  $117 \rightarrow \overset{152}{\text{I}}_{457}$ .

La voie est posée sur ballast ; le pont est rail-route, de largeur entre bordures de 3,30 m ; deux passages pour piétons, en porte-à-faux, sont prévus de chaque côté.

Le platelage est formé d'une dalle en béton armé, s'appuyant sur les deux longrines centrales et les membrures inférieures ou supérieures, suivant qu'il s'agit des travées de navigation ou de celles à voie supérieure, et se prolonge en porte-à-faux pour former les trottoirs.

Les calculs sont terminés pour les deux travées d'extrémité de 40 m. Le traçage est en cours et l'expédition est prévue pour juin et juillet.

Le montage est prévu comme suit : d'abord travée de 40 m sur laquelle on monte à blanc celle de 56 m, le tout faisant contrepoids pour le montage en porte-à-faux de la travée de  $66 \text{ m} + 10 \text{ m} = 76 \text{ m}$  ; ensuite, la travée de 56 m est démontée et remontée en porte-à-faux.

Le matériel des travaux est très important et comprend notamment : 3 remorqueurs, 13 pontons, 10 wagons, 2 sonnettes complètes, 4 tracteurs, 7 grues, 11 appareils de terrassements (bulldozers, scrapers, rippers, etc...), groupe concasseur, etc...

Le personnel, dont l'engagement doit avoir l'approbation du C. F. L., a une longue expérience de travaux semblables tant en Belgique qu'à l'étranger.

La rampe d'accès de la rive gauche, la plus importante, sera constituée d'un remblai dont la tête aura une hauteur de 15 m, une largeur à la base de 64 m et une largeur de plateforme de  $2 \times 7 \text{ m}$  pour la voie et la route.

Le sol d'assise débarrassé de sa vase a été essayé au Laboratoire géotechnique, et le Professeur VERDEYEN

estime qu'il s'affaissera de 0,20 à 0,40 m sous le poids du remblai.

Les sondages ont été effectués pour définir la qualité du sous-sol et être assuré de la stabilité de cette masse de terre qui représente 300.000 m<sup>3</sup> ou 450.000 t.

Le compactage prévu par le cahier des charges impose une compacité comprise entre le Proctor normal et le Proctor modifié. Un matériel d'essais très complet a été envoyé sur place pour suivre le compactage.

Des bermes et des écoulements ont été prévus, ainsi que le gazonnage en cynodon et une protection des pieds du remblai sur 100 m à l'amont et 50 m à l'aval, par un perré maçonné de 60 cm/40 cm jusqu'au niveau de 634,60 ; le restant étant protégé par un perré non maçonné.

Le planning prévoit l'achèvement des travaux pour octobre 1955. Avec un peu de chance, on peut espérer que ce délai sera respecté.

Il coïncide avec l'achèvement prévu pour les travaux de terrassement et de ballastage de la voie.

Il est possible que l'achèvement du pont subisse un léger retard ; par contre, comme les terrassements sont déjà fort avancés, il est dès maintenant prévu qu'ils seront terminés bien avant le pont. Dès lors, rien n'empêchera de mettre la jonction Kabalo-Kamina en service et d'établir une liaison directe avec le B. C. K., en consentant toutefois un transbordement à Zofu R. G. pour amener la marchandise à Kabalo ; cette disposition, provisoire pour quelques mois, permettrait déjà une sérieuse amélioration dans le transport des marchandises.

La construction des 3 ponts de 31 m sur les rivières Kadiabilongo, Lusanze et Luguvu, aux km 85, 124 et 204, a donné lieu à une adjudication publique ; les plans des travées et des culées ont été établis par le C. F. L..

Des offres reçues, celle conjointe des sociétés *Auxeltra-*

*Beton et Socol-Congo* fut acceptée pour un montant de 14.000.000 F environ.

Les portées métalliques ont été adjudgées directement par les C. F. L. aux *Ateliers de la Dyle*, la plus basse des 15 offres reçues, pour une somme de  $\pm$  4 millions.

Les travées, à âme pleine, ont un poids de 95 t environ.

Les fondations ne présentent aucune difficulté.

Le pont de la Kadiabilongo est terminé ; celui de la Lusanze est en construction.

Ceci termine l'exposé des ouvrages d'art.

Nous ne parlerons pas des buses, dalots et aqueducs, qui sont des constructions courantes.

Les terrassements du km 37 à Kabongo ont fait l'objet d'une adjudication publique.

La difficulté de recruter la main-d'œuvre et le désir de ne recruter la majeure partie qu'à proximité des chantiers, fit que le cahier des charges imposa la mécanisation presque intégrale des terrassements.

Quatre soumissions furent reçues ; celle présentée par l'association temporaire *Auxeltra-Beton/Socol-Congo* fut retenue comme la plus avantageuse et présentant le plus de garantie par l'expérience de ces sociétés d'entreprises et le matériel important dont elles pouvaient disposer immédiatement. Le matériel mis en action actuellement par ces firmes est le suivant :

- 22 tournapulls et tournadozers ;
- 3 gros tracteurs ;
- 6 graders, chargeurs et scrapers ;
- Plusieurs pelles Lorrains ;
- 3 compresseurs ;
- 21 bennes automobiles.

Les prix oscillaient entre 68 et 125 F le m<sup>3</sup> de terrassements avec des prix de transport allant de 60 à 1.000 m variant de 6 à 57 F le m<sup>3</sup>.

L'adjudication fut passée le 1<sup>er</sup> avril 1953, les travaux devant être terminés fin mai 1955, laissant encore 5 mois

de marge pour le tassement des remblais, le ballastage et la pose de la voie pour atteindre octobre 1955, date prévue pour l'achèvement du pont de Zofu.

Les terrassements représenteront environ 2.300.000 m<sup>3</sup>, dont  $\pm$  100.000 m<sup>3</sup> en terrain rocheux.

Les gros cubes se trouvent au km 84 et du km 120 au km 140.

Le matériel utilisé est de tout premier ordre.

Les cubes exécutés atteignent à ce jour la cadence de 112.000 m<sup>3</sup>/mois.

La fourniture de ballast, soit 250 km à 600 litres au m, ou 150.000 m<sup>3</sup> à raison de 600 m<sup>3</sup> par jour, fera l'objet d'une adjudication spéciale.

Quatre carrières ont été relevées : Kamutondo (km 34), Kitanda (km 85), Kamweze (km 117) et Lenge (km 210).

Des échantillons de pierres ont été essayés au laboratoire ; ils se sont montrés excellents.

Un matériel de pose spécial a été commandé pour réduire l'emploi de la M. O. I.

Le rail pèse 30 kg ; les barres ont 16 m ; traverses métalliques de 42 kg ; les attaches sont constituées de boulons et crapauds.

Le plan de pose est de 1.500 traverses au km.

Aux dernières nouvelles, les déboisements et déssouchages sont terminés sur 138 km ; les terrassements sont terminés jusqu'au km 110 et en cours sur 40 km.

Aux tranchées rocheuses des km 122 et 134, 12 tournapulls et tournadozers, une niveleuse et 1 scarificateur ont été concentrés.

La pose atteint le km 80.

Des 35.000 t de rails et traverses, il ne reste que 7.000 t à expédier.

Le B. C. K., de son côté, poursuit la construction de la partie Kamina-Kabongo avec la plus grande activité et un matériel puissant et moderne ; les travaux y avancent à grands pas. Au 31 décembre 1953, 148 km

de terrassements étaient terminés et la pose du rail atteignait le km 85.

Voilà, Messieurs, à grands traits comment se présentent les travaux en cours d'une jonction ferrée qui transformera profondément les conditions économiques de ces régions et dont la section Kabalo-Kabongo représentera une dépense de plus de 1 milliard de francs, c'est-à-dire environ 4 % du coût prévu du Plan Décennal.

M. VAN DEN ABEELE, Administrateur général des Colonies, accompagné de M. DE FAUCONVAL DE DEKEM, Directeur du Plan Décennal, a honoré les travaux de sa visite. Il s'est montré particulièrement frappé par la mécanisation apportée à leur exécution et par l'esprit qui règne sur les chantiers, tant du côté du personnel européen que des travailleurs indigènes (dont 50 % des effectifs sont constitués par des engagements spontanés).

Ces travaux font honneur à l'esprit d'entreprise de nos entrepreneurs et de nos techniciens, et à nos Ministres des Colonies qui ont conçu le Plan Décennal et veillent à sa réalisation.

21 mai 1954.



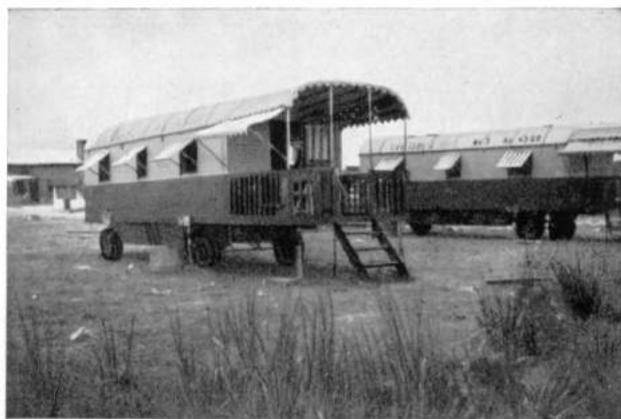
Jonction C. F. L.-K. D. L. / Section Kabalo-Kabongo.  
Terrassements au bulldozer.



Jonction C. F. L.-K. D. L. / Section Kabalo-Kabongo.  
Niveleuse en action.



Jonction C. F. L.-K. D. L. / Section Kabalo-Kabongo.  
Débarquement de la première locomotive à Zofu rive gauche.



Jonction C. F. L.-K. D. L. / Section Kabalo-Kabongo.  
Logements d'européens.



Jonction C. F. L.-K. D. L. / Section Kabalo-Kabongo. Terrassements par scraper.



Jonction C. F. L.-K. D. L. / Section Kabalo-Kabongo. Tournapull en action.



Jonction C. F. L.-K. D. L. / Section Kabalo-Kabongo. La plate-forme à Kitanda.



Jonction C. F. L.-K. D. L. / Section Kabalo-Kabongo. La voie.

**LIAISON.**

MATADI-STANLEYVILLE-KABALO-ALBERTVILLE-DAR-ES-SALAM :

4629 Km REELS      3325 Km CONVERTIS.

MATADI-PORT-FRANCOUI-KAMINA-ALBERTVILLE-DAR-ES-SALAM :

4267 Km REELS      3809 Km CONVERTIS.

LOBITO-TENKE-KAMINA-ALBERTVILLE-DAR-ES-SALAM :

4330 Km REELS      4285 Km CONVERTIS.

BASE DE CONVERSION

LEOPOLDVILLE - STANLEYVILLE : 3Km EAU = 1Km RAIL.

LEOPOLDVILLE - PORT-FRANCOUI : 2 " " " "

PONTHIEVILLE - KINDU : 3 " " " "

ALBERTVILLE - KIGOMA : 3 " " " "

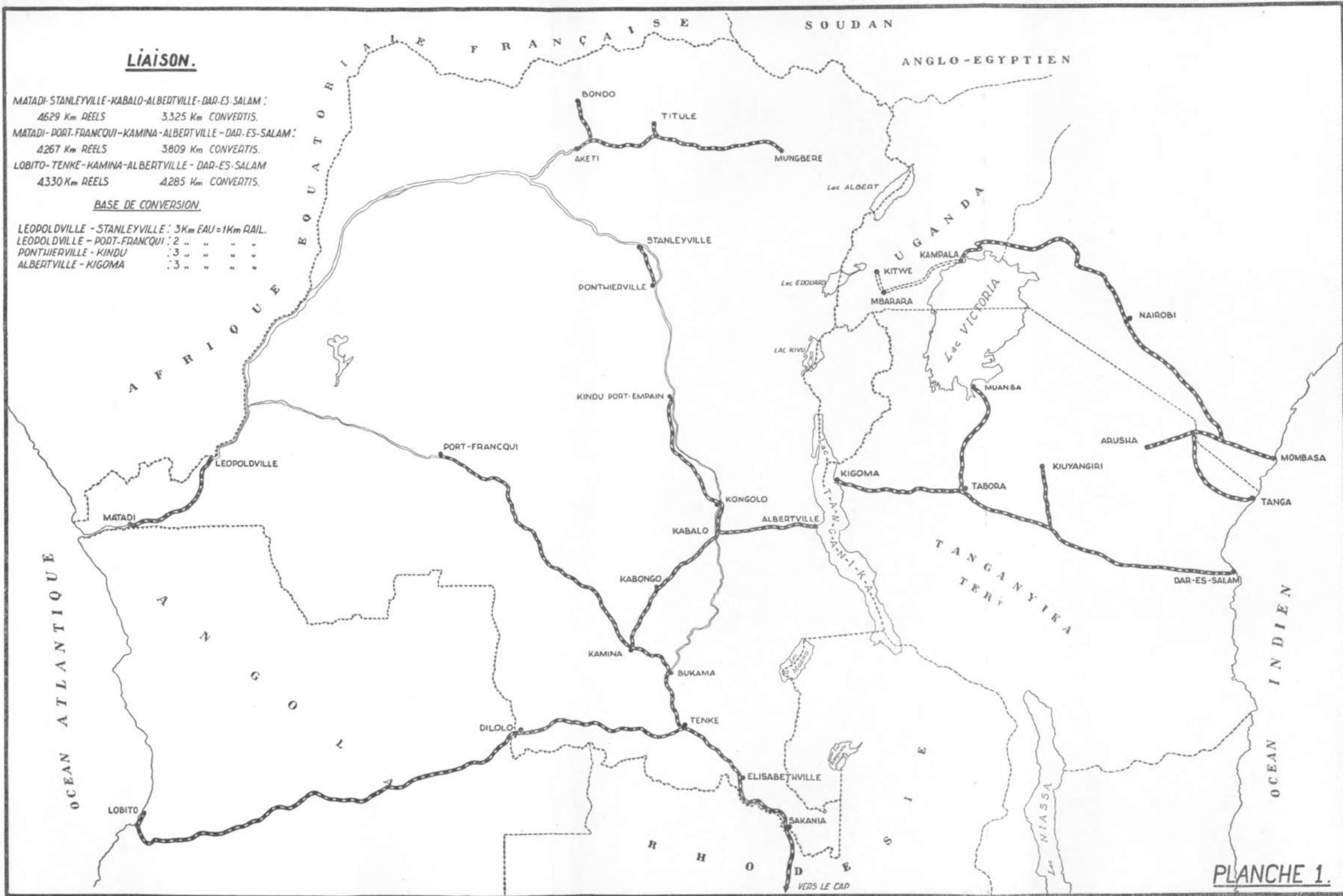
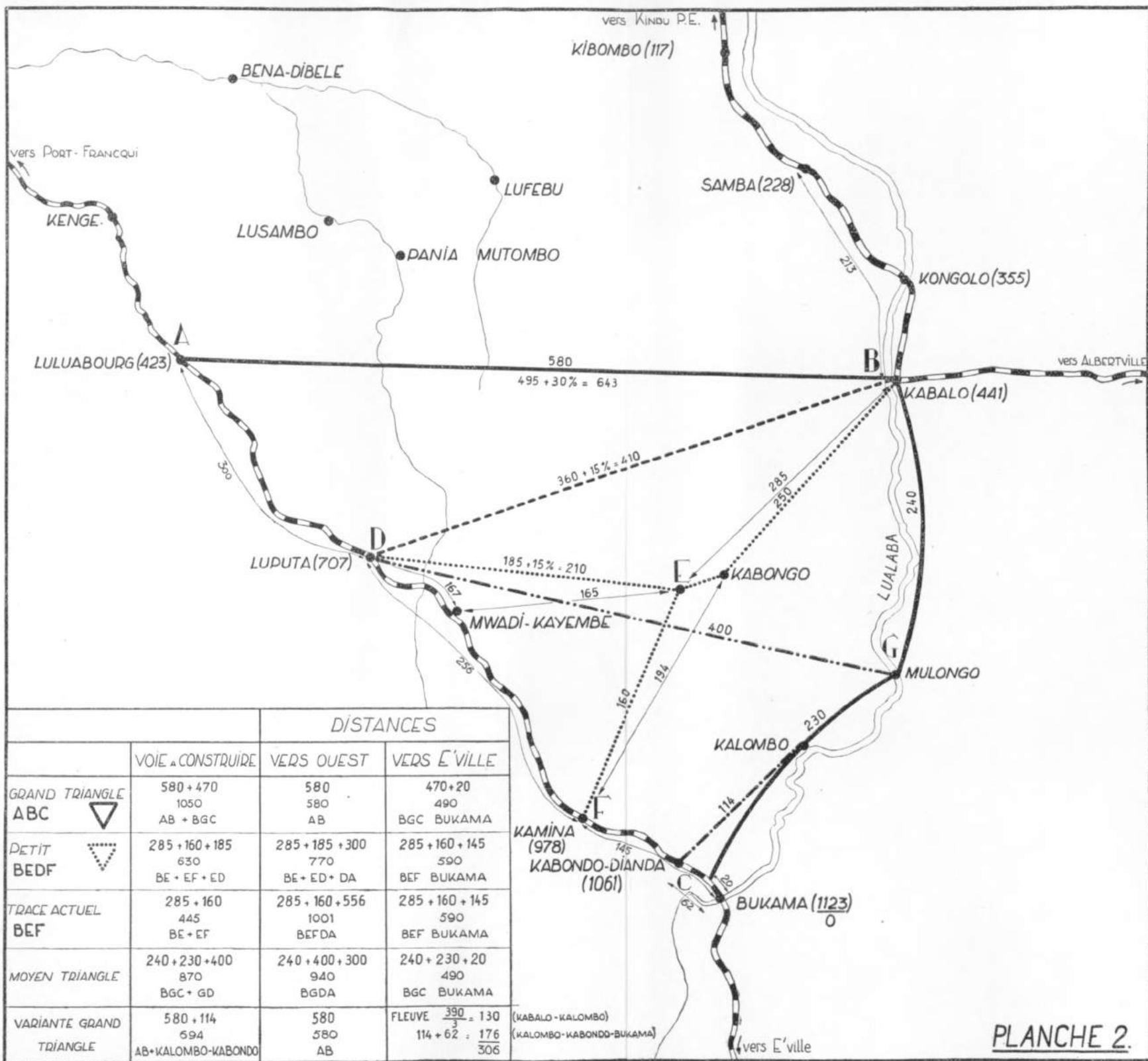


PLANCHE 1.



|                            |  | DISTANCES                              |   |
|----------------------------|--|--|---|
|                            | VOIE A CONSTRUIRE                          | VERS OUEST                             | VERS E'VILLE  |
| GRAND TRIANGLE<br>ABC      | 580 + 470<br>1050<br>AB + BGC              | 580<br>580<br>AB                       | 470 + 20<br>490<br>BGC BUKAMA   |
| PETIT<br>BEDF              | 285 + 160 + 185<br>630<br>BE + EF + ED     | 285 + 185 + 300<br>770<br>BE + ED + DA | 285 + 160 + 145<br>590<br>BEF BUKAMA  |
| TRACE ACTUEL<br>BEF        | 285 + 160<br>445<br>BE + EF                | 285 + 160 + 556<br>1001<br>BEFDA       | 285 + 160 + 145<br>590<br>BEF BUKAMA  |
| MOYEN TRIANGLE             | 240 + 230 + 400<br>870<br>BGC + GD         | 240 + 400 + 300<br>940<br>BGDA         | 240 + 230 + 20<br>490<br>BGC BUKAMA   |
| VARIANTE GRAND<br>TRIANGLE | 580 + 114<br>694<br>AB + KALOMBO - KABONDO | 580<br>580<br>AB                       | FLEUVE $\frac{390}{3} = 130$<br>114 + 62 = 176<br>306<br>(KABALO - KALOMBO)<br>(KALOMBO - KABONDO - BUKAMA) |

# RECONNAISSANCE KABALO A KABONGO

| TRACES            | LONGUEURS KM. |                          |                          | VOLUME TOTAL<br>TERRASS ?<br>M <sup>3</sup> |
|-------------------|---------------|--------------------------|--------------------------|---|
|                   | REELLE        | VIRTUELLE                |                          |   |
|                   |               | SENS<br>KABALO<br>KAMINA | SENS<br>KAMINA<br>KABALO |   |
| TRACE KILEMBWE    | 244           | 616                      | 368                      | 2.230.000                                   |
| " KAHAY           | 249,5         | NON                      | CALCULE                  | 2.134.000                                   |
| " KITENGE - LENGE | 251           | 640                      | 396                      | 1.705.000                                   |
| " KITENGE KABONGO | 255,5         | 674                      | 424                      | 2.060.000                                   |
| " LULENGE LENGE   | 266,5         | 651                      | 419                      | 1.750.000                                   |
| " LULENGE KABONGO | 262,5         | 662                      | 439                      | 2.034.000                                   |
| " TENDEY LENGE    | 277,5         | 666                      | 462                      | 1.583.000                                   |
| " TENDEY KABONGO  | 273,5         | 677                      | 482                      | 1.868.000                                   |

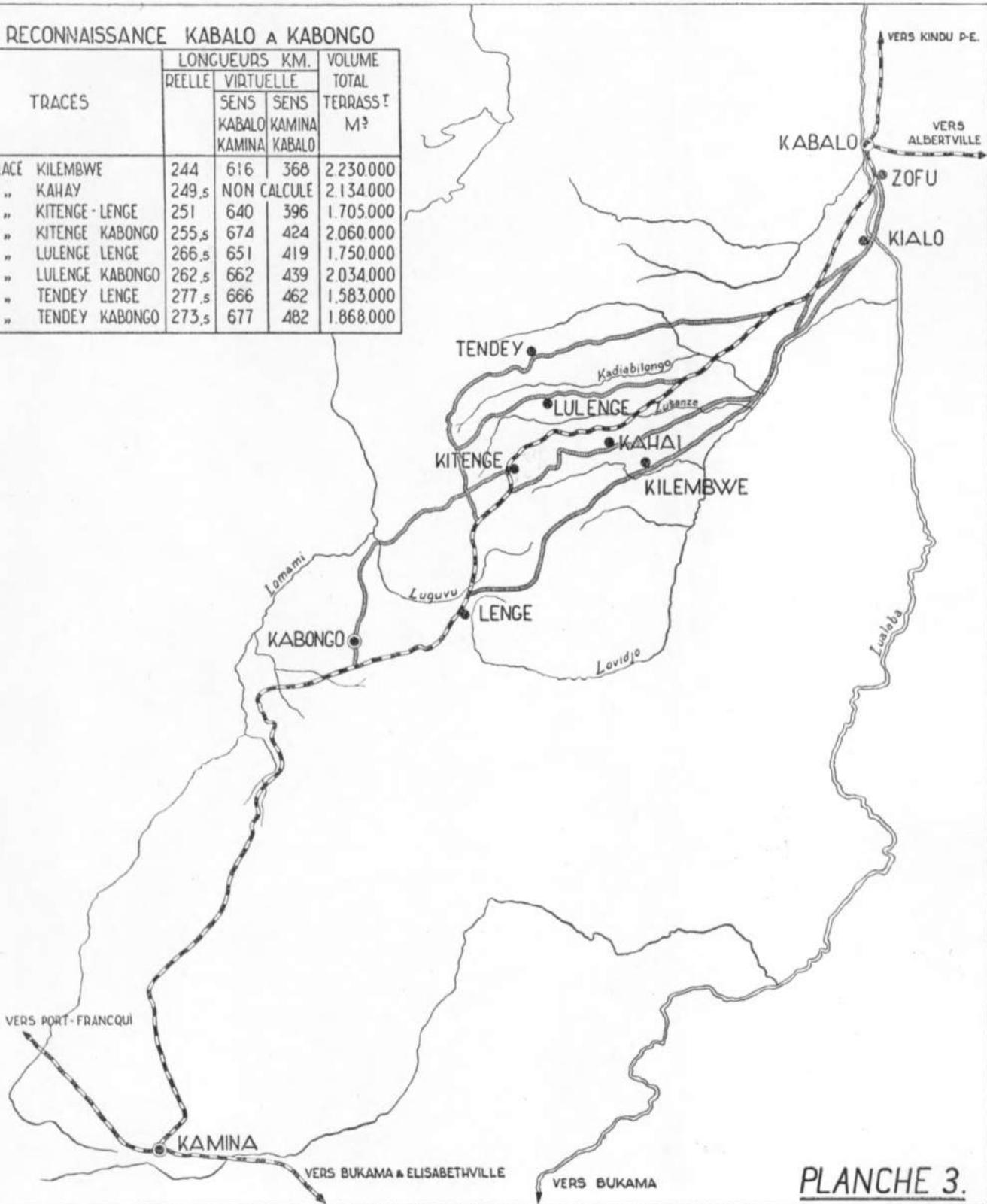


PLANCHE 3.

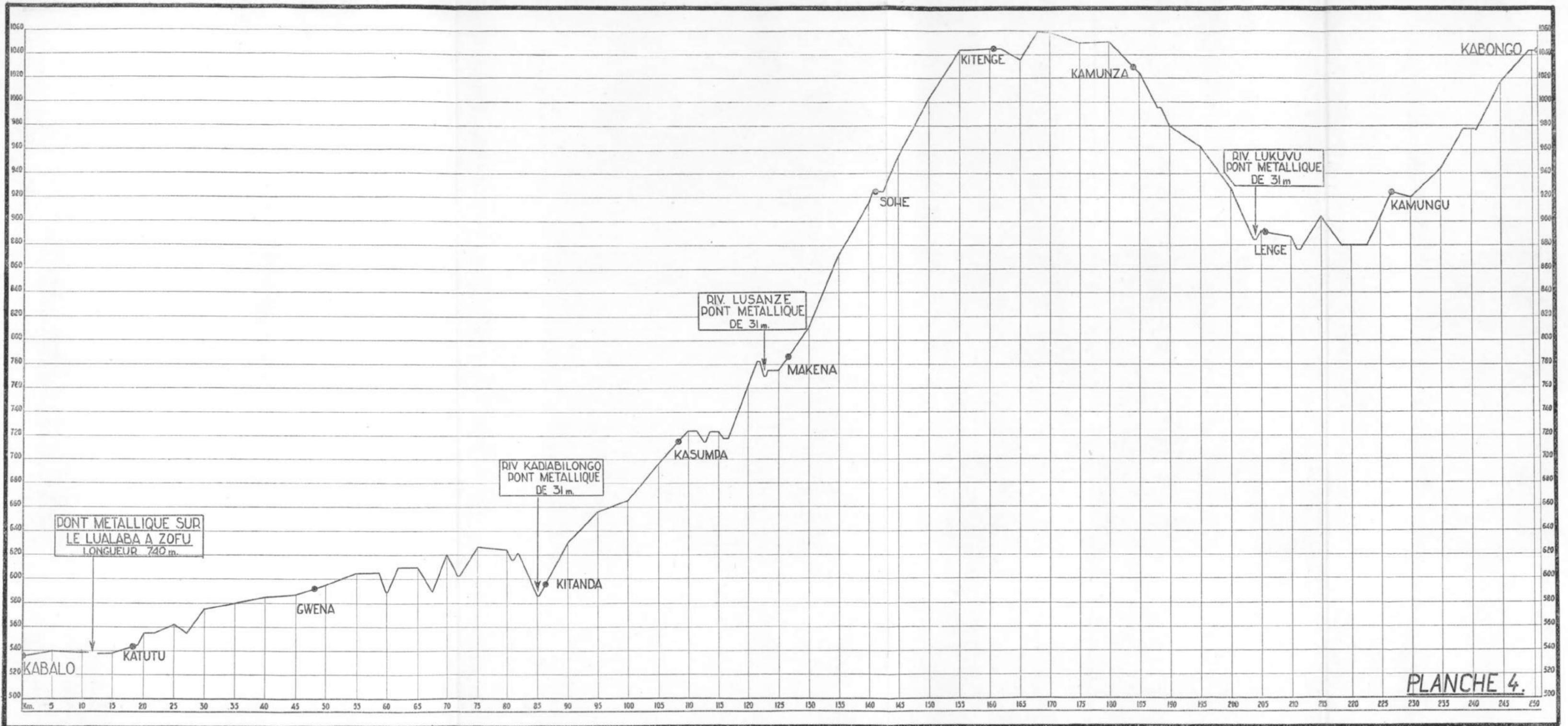
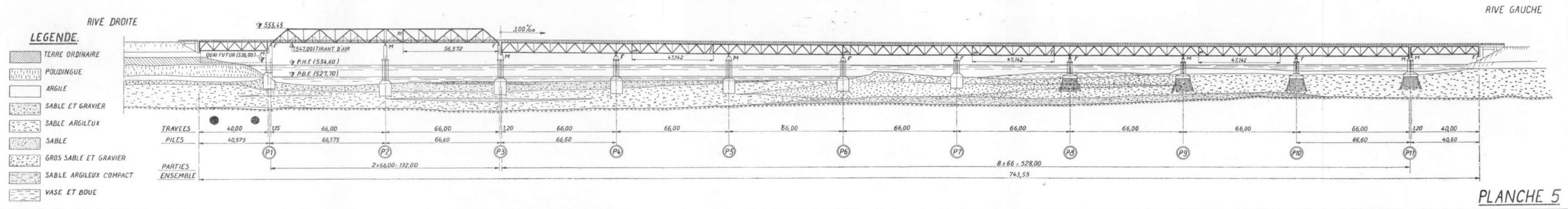


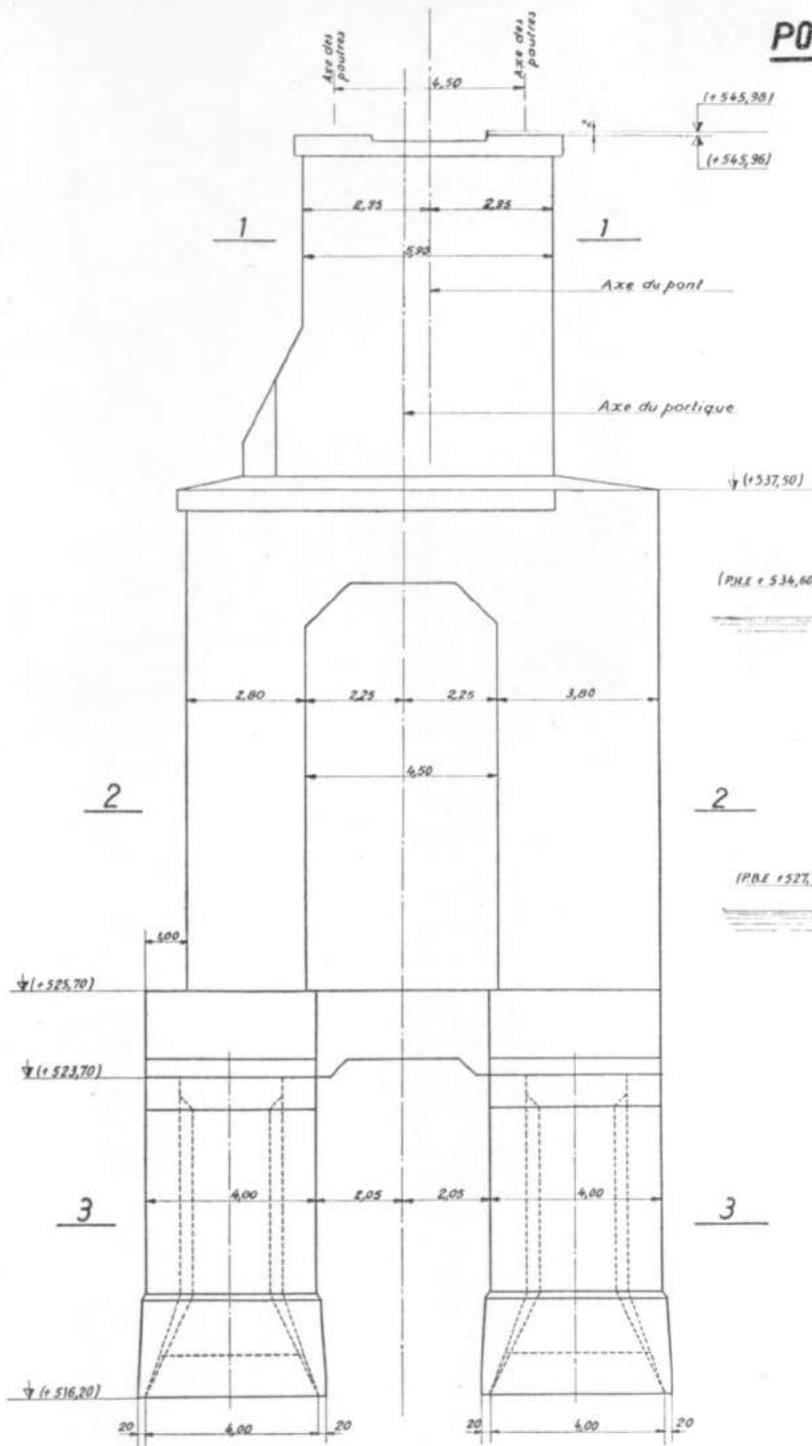
PLANCHE 4.

# PONT DE ZOFU - ELEVATION VUE D'AVAL.

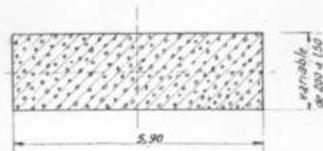


# PONT DE ZOFU. PLAN DE PILE TYPE.

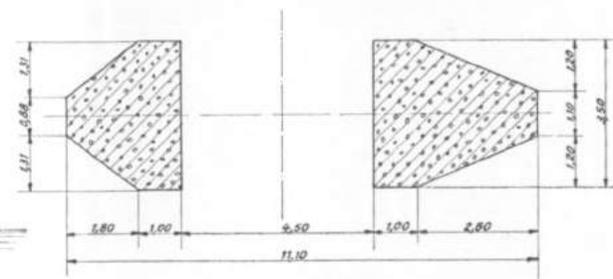
## PILE N° 2.



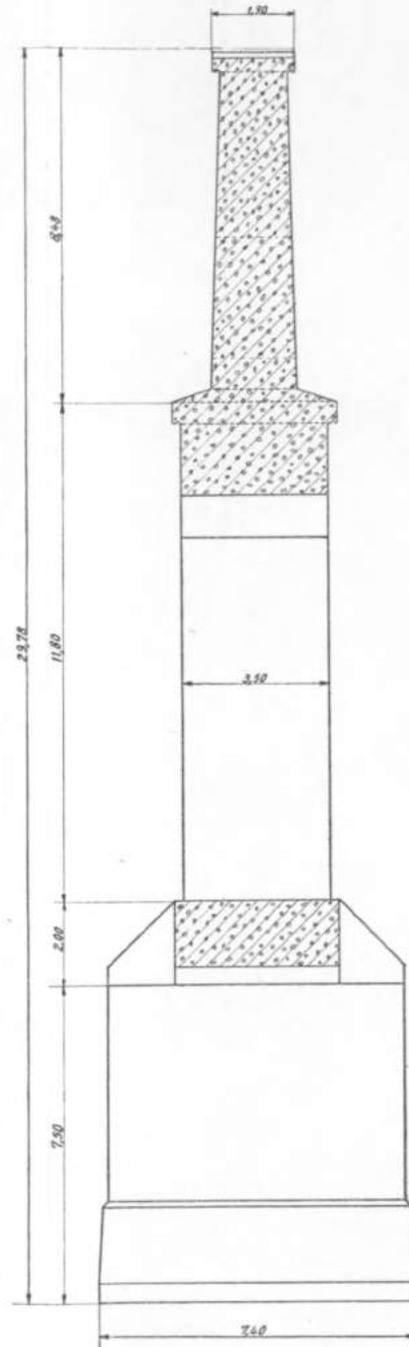
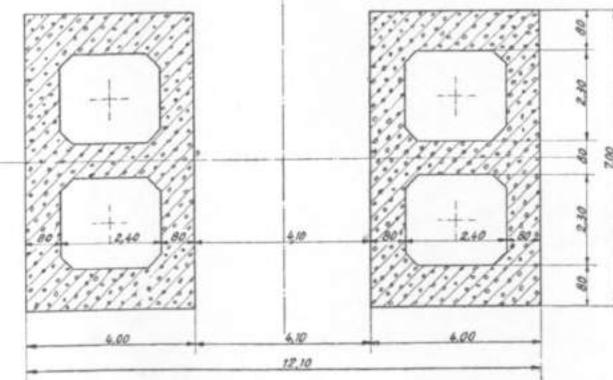
### SECTION 1-1.



### SECTION 2-2.

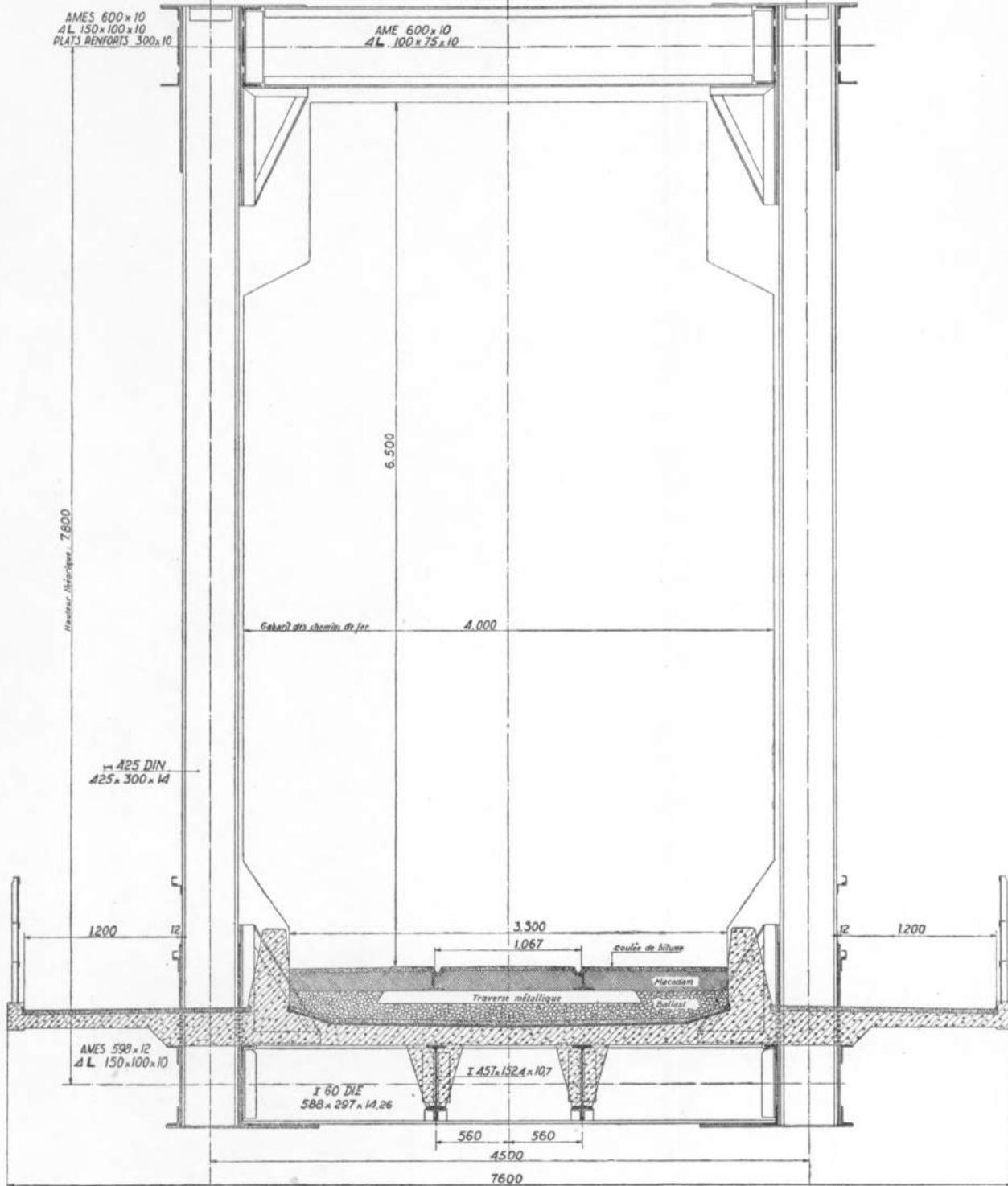


### SECTION 3-3.

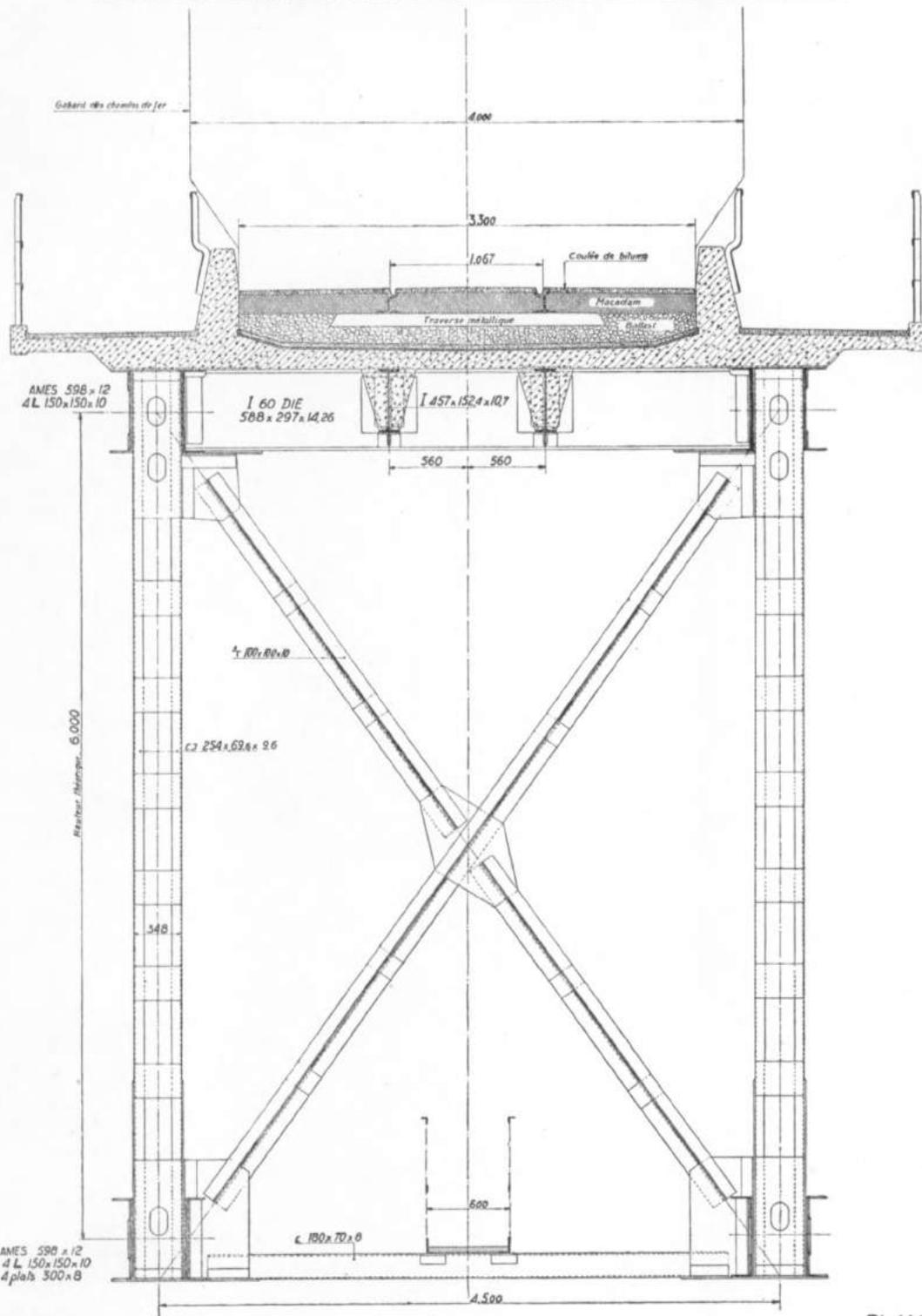




PONT DE ZOFU. COUPE TRANSVERSALE D'UNE TRAVÉE A VOIE INFÉRIEURE.



PONT DE ZOFU - COUPE TRANSVERSALE D'UNE TRAVÉE A VOIE SUPERIEURE.



- J. Stengers présente-stelt voor : « L'attitude des missions protestantes vis-à-vis des puissances européennes au Congo avant 1885 », de-van Miss R. Slade ... .. 670, 671 ; 682-683
- Miss R. Slade. — L'attitude des missions protestantes vis-à-vis des puissances européennes au Congo avant 1885 ... 670, 671 ; 684-721
- Th. Heyse. — Actes de Gouvernement et Conseil d'État. Actes détachables ... .. 670, 671 ; 722-736
- M. Walraet. — L'œuvre des Belges au Siam à la fin du XIX<sup>e</sup> siècle ... .. 670, 671 ; 737-756
- A. Ombredane présente-stelt voor : « L'exploration de la mentalité des Noirs congolais au moyen d'une épreuve projective : le Congo T.A.T. » ... .. 670, 671 ; 757-758
- O. Louwers présente-stelt voor : « Les débuts de l'œuvre africaine du roi Léopold II : Documents inédits — Sources négligées — Aperçus nouveaux », mémoire-verhandeling R. P.-E. P. P. Roeykens ... .. 670, 671 ; 759-772
- G. Smets présente-stelt voor : « Productivité du travail et politique sociale au Congo belge », étude-studie A. Doucy 672, 673 ; 773-775
- A. Doucy. — Productivité du travail et politique sociale au Congo belge ... .. 672, 673 ; 776-798
- Concours annuel 1954. — Jaarlijkse wedstrijd 1954 ... 672, 673, 884, 885
- M. Luwel. — Inventaire des archives historiques du Musée royal du Congo belge à Tervuren ... .. 674, 675 ; 799-821
- Commission administrative. — Bestuurscommissie ... .. 674, 675
- Hommage d'ouvrages. — Aangeboden werken ... .. 674
- Comité secret. — Geheim comité ... .. 680, 675

### Section des Sciences naturelles et médicales.

#### Sectie voor Natuur- en Geneeskundige Wetenschappen.

- Séance du 20 mars 1954. — Zitting van 20 Maart 1954 ... .. 822, 823
- J. E. Opsomer. — Le Gossypium de « l'herbier » de Dodoens ... .. 822, 823 ; 830-842
- J. SCHWETZ. — Recherches malaco-schistosomiques dans l'agglomération d'Albertville (Lac Tanganika, Congo belge)... .. 822, 823 ; 843-869
- S. De Backer : rapport sur-verslag over : « Le rayonnement solaire à Léopoldville », travail-werk G. Dupont et W. Schüepp... .. 822, 823 ; 870
- Hommage d'ouvrages. — Aangeboden werken ... .. 824

|  |                    |
|--|--------------------|
| Séance du 10 avril 1954. — Zitting van 10 April 1954 ... ..  | 872, 873           |
| Décès de M. — Overlijden van de H. Marcel Wanson ... ..  | 872, 873           |
| Représentation à l'Institut pour la Recherche scientifique en<br>Afrique centrale (I.R.S.A.C.). — Vertegenwoordiging bij<br>het Instituut voor Wetenschappelijk Onderzoek in Centraal-<br>Afrika (I.W.O.C.A.) ... .. | 872, 873, 972, 973 |
| Hommage d'ouvrages. — Aangeboden werken ... ..   | 874                |
| Séance du 15 mai 1954. — Zitting van 15 Mei 1954 ... ..  | 880, 881           |
| E. A. Bernard. — Sur les erreurs de divers types de pluvio-<br>mètres dans les conditions climatologiques du Congo belge ...   | 884, 885 ; 896-912 |
| Hommage d'ouvrages. — Aangeboden werken ... ..   | 886                |

**Section des Sciences techniques.  
Sectie voor Technische Wetenschappen.**

|  |                        |
|--|------------------------|
| Séance du 26 mars 1954. — Zitting van 26 Maart 1954 ... ..   | 914, 915               |
| P. Evrard. — Les recherches géophysiques dans la cuve con-<br>golaise ... ..   | 914, 915 ; 919-932     |
| R. Vanderlinden. — Considérations sur la résistance à la pro-<br>pulsion des barges remorquées en flèche et en poussée ... | 914, 915 ; 933-956     |
| K. Bollengier. — La défense de la presqu'île de Banana ...   | 914, 915 ;<br>957-967  |
| Hommage d'ouvrages. — Aangeboden werken ... ..   | 916                    |
| Séance du 30 avril 1954. — Zitting van 30 April 1954 ... ..  | 968, 969               |
| G. de Rosenbaum. — L'isolement dans les réseaux électriques<br>à très haute tension ... ..                                 | 972, 973 ; 977-1011    |
| M. van de Putte. — Note sur le permis de traitement dans la<br>législation minière congolaise ... ..                       | 972, 973 ; 1012-1023   |
| E.-J. Devroey. — Présentation de l'Annuaire hydrologique du<br>Congo belge et du Ruanda-Urundi (1953) ...                  | 972, 973 ; 1024-1025   |
| Hommage d'ouvrages. — Aangeboden werken ... ..   | 974                    |
| Comité secret. — Geheim comité ... ..  | 976, 975               |
| Séance du 21 mai 1954. — Zitting van 21 Mei 1954 ... ..  | 1028, 1029             |
| C. Camus. — La jonction ferrée Kamina-Kabalo et le pont<br>route-rail sur le Lualaba à Zofu ... ..                         | 1028, 1029 ; 1031-1053 |
| Hommage d'ouvrages. — Aangeboden werken ... ..   | 1028                   |
| Comité secret. — Geheim comité ... ..  | 1030-1029              |