LA HOUILLE BLANCHE

J. REY, Éditeur, GRENOBLE

Abonnement pour une Année { France... 30 francs } Le Numéro : 5 francs
 { Étranger . 40 francs }

Compte Chèques Postaux LYON 5-84

SOMMAIRE

LES FORCES HYDRAULIQUES A MADAGASCAR. — Le Lac Alaotra et son émissaire le Maningory, par F. REYNIER, ingénieur-électricien I. E. G., Chef du Service de l'Hydraulique à Tananarive.

Le troisième Congrès de la Houille Blanche, par Victor SYLVESTRE, ingénieur A. M. et I. E. G.

Service des Forces Hydrauliques du Centre (Bassins du Lot, de la Dordogne, de la Vienne et du Cher) et des Bassins de l'Allier et de la Loire Supérieure, Résultats mis à la disposition du public.

HYDRAULIQUE. — La solution générale du Problème de la détermination des Dimensions Economiques Maximum d'une conduite forcée en métal et son application aux Calculs pratiques (*Suite*), par P. SANTO-RINI, ingénieur E. P. Z., directeur de la « S. A. d'Etudes et d'Entreprises » d'Athènes.

ELECTRICITÉ. — Congrès de la Société Française d'Electricité, à Grenoble.

DOCUMENTATION. — INFORMATIONS. — BIBLIOGRAPHIE

LES FORCES HYDRAULIQUES A MADAGASCAR

Le Lac Alaotra et son émissaire le Maningory

par F. REYNIER, *Ingénieur-Electricien I. E. F, Chef du Service de l'Hydraulique à Tananarive*

La France est riche en houille blanche ou verte puisqu'on évalue à 9 ou 10 millions de cv. en eaux moyennes la puissance

pour laisser dans l'ombre une partie de notre patrimoine. D'autres raisons militent, au contraire, pour le faire connaître.

Photo 1.— Formation du Maningory à la sortie du Lac Alaotra (saison des pluies)

Photo Randrianarison

disponible des cours d'eau. Une toute petite fraction est aménagée et l'ensemble, sauf peut-être dans les Alpes et dans les Pyrénées où un service spécial d'études fonctionne depuis une vingtaine d'années, n'est pas même inventorié. Mais la Métropole n'est pas tout notre pays : nous possédons un vaste domaine colonial, domaine qui, lui également, dans certaines de ses parties, constitue une réserve de force hydraulique. L'éloignement (nous avons en vue spécialement Madagascar), n'est pas une raison

1° Tout d'abord, cet éloignement même qui doit nous conduire à décentraliser notre production, à produire sur place ce dont nos colonies ou les marchés qui les avoisinent ont besoin et ces marchés prennent tous les jours plus d'importance ;

2° La question de la main-d'œuvre, car Madagascar pourra, quand des mesures sérieuses et efficaces seront prises pour conserver la race qui, faute de soins, ne s'accroît pas, nous fournir dans un climat agréable à vivre une main-d'œuvre indéfinie par

suite de la grande natalité, main-d'œuvre toute désignée pour les usines d'outillage ou les industries, telles que filature, tissage, etc. ;

3^o La nécessité pour l'industrie de se rapprocher des matières premières et ces matières sont, pour nos colonies, le coton, la laine, le bois, la pâte à papier, le graphite, etc., etc.

Planche I

Peu d'études ont été faites à Madagascar concernant la houille blanche ; toutefois, une région qui forme une unité géographique intéressante, celle du lac Alaotra, qui présente au point de vue hydraulique un intérêt particulier, a été spécialement étudiée par le Service de l'Hydraulique (1) : il en a dressé la carte d'abord ; ensuite, il a élaboré un programme d'aménagement au triple point de vue de l'agriculture, de la force motrice, de la navigation.

Les renseignements qui suivent ont trait à cette région : ils résument, plus particulièrement au point de vue hydraulique, l'étude qui en a été faite.

Le lac Alaotra et son émissaire, le Maningory, constituent dans notre colonie de Madagascar un ensemble digne d'être connu et retenu et visité, ne serait-ce qu'au point de vue touristique. La région Sihanaka qui les renferme est une région captivante (Planche I).

1. LE LAC ALAOTRA DANS LES TEMPS GÉOLOGIQUES. — Le lac Alaotra a un bassin versant de 7.000 km² compris entre 18°3' et 20°17' de lati-

Planche II

(1) Le *Bulletin économique de la Colonie de Madagascar* (année 1924), a publié sous la plume de M. Longuefosse, Ingénieur chef de la Brigade d'études hydrauliques du lac Alaotra tous les renseignements recueillis sur la région Sihanaka, notamment les observations météorologiques et hydrométriques, les projets pour l'aménagement hydraulique et foncier, etc... Nous renvoyons à ce travail pour plus de détails.

tude sud, 50°70' et 51°48' de longitude est du méridien de Paris ; l'altitude des eaux moyennes est de 750 mètres, celle de la plaine environnante de 750 à 770 mètres. Il est situé à 150 kilomètres à vol d'oiseau au N.-E. de Tananarive et à 100 kilomètres de la Côte est de Madagascar (Planche II).

La dépression de l'Alaotra est le reste d'un ancien lac beaucoup plus étendu dont les eaux atteignaient la cote 910-940, il se déversait, comme le lac actuel, dans l'océan Indien, mais probablement par la vallée de l'Onibe. Ce premier lac qu'on peut appeler le grand Alaotra, étendait ses eaux sur plus de 8.500 km². A une époque géologique postérieure, certains fleuves tributaires du canal de Mozambique vinrent capter à l'est les tributaires, puis les eaux du grand Alaotra dont la surface se trouva abaissée à la cote 800 ; le lac fut morcelé en 3 cuvettes d'inégales étendues qui eurent désormais chacune leur histoire distincte.

L'Alaotra de cette période, 3 fois moindre que le grand Alaotra, est ce qu'on peut appeler l'Alaotra moyen, ce lac étant tributaire du canal de Mozambique par suite des captures signalées ; sa superficie devait mesurer encore 2.500 km². Les rivières de l'est, beaucoup moins actives que celles de l'ouest du lac, séparées d'ailleurs de la dépression Alaotra-Mangoro par une chaîne de montagne, étendaient cependant leurs bassins. L'une d'elle, le Maningory, atteignit l'extrémité nord-est du lac par un de ses affluents et la muraille céda d'où second abaissement de la surface du lac qui doit être assez récent car l'émissaire coule encore dans un lit sans profon-

deur. C'est cette nouvelle capture à l'est qui a donné naissance à l'Alaotra actuel ou Alaotra maningorien (Planche III).

2. LE LAC ACTUEL ET SON ÉMISSAIRE LE MANINGORY. — Le lac actuel, simple hernie de la Sahabe, principale rivière alimentant la nappe d'eau, a encore 40 kilomètres de longueur sur 6 à 12 kilo-

mètres de large en eaux moyennes bien qu'en voie de comblement rapide ; la profondeur est faible, 1 m. 50 à 2 m. 50.

L'émissaire unique est le Maningory, qui évacue les eaux du trop plein au nord-est du lac, à proximité du gros village d'Imerimandroso (Photo n° 1). Le Maningory, sur quelques kilomètres, est sans pente appréciable et n'est qu'un diverticule du lac, mais son cours ne tarde pas à prendre une allure capricieuse à partir du seuil rocheux d'Ambatomafana (Photo 2). Après une succession de seuils rocheux dont l'un celui de Minasaka, forme sur une distance de 2 kilomètres une dénivellation de 30 mètres, le Maningory arrive à Ambodiriana où il fait un saut de 60 mètres à pic (Photos 3 et 4). Il se jette dans l'océan Indien dans la région de Fenerive après plusieurs autres chutes encore mal connues, dont l'une de 80 mètres.

Photo Randrianarison

Photo 2.— Etranglement d'Ambatomafana (Maningory), en saison sèche

3. CARACTÉRISTIQUES DU LAC ET DU MANINGORY. — DÉBITS MAXIMA, MOYEN ET D'ÉTIAGE. — A partir d'Ambatomafana, le Maningory coule dans les gneiss, il entre dans un défilé rocheux assez étroit et son lit n'y dépasse pas 40 mètres de largeur. Dès l'ouverture de la saison des pluies, le Maningory est incapable d'évacuer les eaux de pluie qui s'accumulent dans le lac dont le niveau monte rapidement pour atteindre son maximum en février, puis à partir de ce moment les eaux baissent insensiblement et le débit du fleuve atteint un minimum en octobre-novembre. Plus le niveau du lac monte, plus le débit de l'émissaire s'accroît tout en restant insuffisant. Pour la cote du lac 752,40 qui est un maximum atteint en 1916-1917, le Maningory débite 368 m³ ; pour la cote du lac 748,83 qui est un minimum, le Maningory débite 13 m³

150 : c'est son étiage (Planche IV). Son débit moyen est de 100 m³/sec. Il passe en année moyenne au débouché du lac 3.084 millions m³, ce qui représente une hauteur d'eau sur le bassin versant de 440 m/m. La précipitation atmosphérique annuelle moyenne étant de 1.100 m/m pour l'ensemble du bassin, le coefficient de ruissellement annuel de la région est de 0,40. Si, au lieu du ruissellement moyen, on envisage ce ruissellement par saison ce qui est plus conforme à la réalité (saison sèche et saison des pluies), on constate que pendant les six mois qui suivent

l'origine de la saison des pluies (décembre à mai inclus), il passe au débouché du lac 2.500 millions de mètres cubes, ce qui représente, répartis sur la surface du bassin versant, une hauteur d'eau de 357 m/m. Pendant les cinq mois de la saison des pluies, novembre à mars inclus, il tombe 988 m/m de pluies, d'où pour le coefficient de ruissellement de saison des pluies :

$$\frac{357}{988} = 0,36.$$

Ce coefficient, peu différent du coefficient du ruissellement total, tient au lac qui joue un rôle heureux de régularisation avec l'infiltration.

Le coefficient de ruissellement pendant les mois de juin à novembre inclus serait de 0,70, ce qui n'est possible que parce que pendant cette saison le Maningory est alimenté surtout par le lac et les eaux infiltrées dans le sol du bassin versant.

Si l'on rapporte les débits à la surface du bassin versant, on trouve :

$$\text{aux plus hautes eaux } \frac{368}{7.000} = 52 \text{ litres par kilomètre carré de bassin versant ;}$$

$$\text{en eaux moyennes } \frac{100}{7.000} = 14 \text{ l. 3 ;}$$

$$\text{à l'étiage } \frac{13.500}{7.000} = 2 \text{ litres par kilomètre carré.}$$

Ces chiffres font ressortir le rôle amortisseur du lac. Le principal affluent, la Sahabe, en temps de crue voit, en effet, son débit s'élever à 600 m³/sec. pendant un ou deux jours, ce qui, pour un bassin versant de 4.000 km², représente un écoulement de $\frac{600}{4.000} = 150$ litres par kilomètre carré, tandis qu'en eaux moyennes, le débit de la Sahabe n'est plus que de 3.200 l./sec., soit :

$$\frac{3.2}{4.000} = 0 \text{ l. 8 par kilomètre carré (1).}$$

Le rôle amortisseur du lac ressort également de la comparaison des hauteurs de crue qui se produisent dans la Sahabe et dans le lac. Sur le fleuve, les chutes de pluies se traduisent par des mon-

(1) Rappelons que l'Isère a un débit de :
10 à 12 litres/seconde par km² de bassin versant à l'étiage ;
20 à 25 litres/seconde pour le débit semi-permanent.

Photo Randrianarison

Photo 3.— Chute d'Ambodiriana (Maningory), saison des basses eaux

Planche III

tées rapides mais successives qui, à partir du commencement de la saison des pluies, correspondent aux périodes de précipitations abondantes. Dans le lac, au contraire, la montée est continue et s'accroît constamment jusqu'à la fin de la saison des pluies pour ensuite diminuer lentement (Planche V).

En dépit de l'influence du lac agissant comme volant, les débits d'étiage, moyen et de crues sont fort éloignés les uns des autres. On a comme rapport des débits minimum m moyen μ et maximum M :

$$\frac{M}{m} = \frac{368}{13,5} = 27 \quad \frac{\mu}{m} = \frac{100}{13,5} = 7,4$$

$$\frac{M}{\mu} = \frac{368}{101} = 3,6$$

Cela n'a rien d'étonnant car si dans les pays tropicaux et sous-tropicaux il pleut beaucoup les pluies sont mal réparties, il existe deux saisons très tranchées et pendant la saison sèche qui s'étend de mars à octobre il ne pleut pas ou presque pas. Ainsi dans la région du lac Alaotra à Imerimandroso, il tombe, en moyenne, 1.098 m/m de pluie en 81 jours dont 989 m/m pendant les cinq mois de novembre, décembre, janvier, février et mars, soit des coefficients pluviométriques de :

0,16 pour la saison sèche, avril à octobre ;

2,2 pour la saison des pluies, novembre à mars.

Les 3.084 millions de mètres cubes qui passent annuellement au débouché du lac représentent pour les deux chutes de Menasaka et d'Ambodiriana 525 millions de cv. heures, mais la production de cette force sans régularisation du débit conduirait à une usine dont la puissance installée serait 27 fois la puissance disponible à l'étiage et 4 fois la puissance moyenne. On ne peut songer à une telle utilisation.

4. LES FORCES MOTRICES. — RAPIDES DE MENASAKA ET CHUTE D'AMBODIRIANA. — Bien que deux chutes distantes de quelques kilomètres, faciles et peu coûteuses à aménager, d'une hauteur appréciable (43 m. et 78 mètres sur 1.000 et 500 m.) soient intéressantes même avec un débit à l'étiage de 13 m³ et un débit de six mois de 70 m³ tout l'intérêt au point de vue houille blanche de la région réside dans la juxtaposition de ces chutes au lac qui, avec sa surface de 500 km², est susceptible de jouer le rôle d'un formidable volant et cela avec des travaux relativement insignifiants.

Pour utiliser par exemple le débit moyen continu qui est de 100 m³, il suffirait d'emmagasiner les eaux en excédent au début de la saison des pluies, vers janvier, au moment où le Maningory tend à débiter plus de 100 m³/sec. pour les restituer après la saison des pluies quand le débit normal du Maningory descend au-dessous de 100 m³.

Cet emmagasinement représente un volume de 1.088 millions de mètres cubes, chiffre formidable qui, réparti sur les 500 km² de la surface du lac, forme une tranche d'eau de 2 m. 17 de hauteur au-dessus de la cote correspondant aux plus hautes eaux naturelles qui est de 751 m. 50 ; les eaux atteindraient ainsi la cote 753,67. Pour réaliser cette retenue totale, il suffirait d'un barrage de 6 m. 50 placé à Lohavato près d'Ambatomafana (cote du fond 747,50) et d'un canal de dérivation de 6 km. environ pour utiliser les rapides de Menasaka, ou encore d'un barrage-déversoir de 18 m. de hauteur et de 150 m. de développement alimentant directement la conduite forcée de l'usine, placée à 500 m. de là au pied des rapides. La force disponible continue serait donc pour la chute de Menasaka :

$$43 \text{ m.} \times 1.000 = 43.000 \text{ cv. continus}$$

Photo 4. — Sommet de la chute d'Ambodiriana (Maningory), vue amont

Pour celle d'Ambodiriana :

$$78 \text{ m.} \times 1.000 = 78.000 \text{ cv. continus}$$

$$\text{Total... } 121.000 \text{ cv. continus}$$

5. STABILISATION DU LAC ALAOTRA. — INTÉRÊT D'UNE STABILISATION APPROCHÉE AU POINT DE VUE INDUSTRIEL. — Cette hauteur des eaux du lac qui dépasse d'un mètre les plus hautes eaux connues, 752,50, serait incompatible avec la mise en culture des vastes superficies de terres peu inclinées qui bordent le lac et qui sont les terres les plus riches : déjà les crues naturelles sont un inconvénient sérieux pour l'agriculture ; d'autre part, la baisse exagérée des eaux pendant la saison sèche (les eaux tombent à 748,83) apporte une gêne considérable à la navigation sur le lac qui est la base du système d'évacuation des produits vers la voie ferrée dont le terminus est à Andreba, au bord sud-est du lac. A

gation, il faut un barrage arasé à la cote 749,80, barrage mobile s'effaçant complètement ou laissant un débouché suffisant aux crues.

Dans une première conception, la stabilisation était recherchée d'une façon rigoureuse. Il en résultait que le point de vue force motrice était laissé de côté et même compromis car, pour stabiliser complètement, il était nécessaire de retenir, par le barrage, les eaux presque entièrement, à un moment donné, à l'étiage. L'évacuation des crues d'une façon rigoureuse, au fur et à mesure de leur arrivée, c'est-à-dire en supprimant le rôle amortisseur du lac, supposait l'élargissement du chenal pour l'amener à débiter

correspond actuellement au débit de 70 m³/sec. (ce qui se produit en juin-juillet) constitue une accumulation de 275 millions de mètres cubes qui, lâchés lorsque le besoin s'en fait sentir (en août) permettent de réaliser un débit constant de 50 m³ pendant toute l'année.

Ainsi, tout en sauvegardant les intérêts de la culture et de la navigation, la stabilisation approchée dans les conditions que nous venons d'énoncer permet l'aménagement d'une force motrice continue de :

43 × 500 = 22.000 cv. pour les rapides de Menasaka et de
78 × 500 = 39.000 cv. pour la chute d'Ambodiriana, soit

au total... 61.000 cv.

$$\frac{300.000.000}{210.000} = 1.400 \text{ par cv. installé.}$$

Les 60.000 cv. permanents des chutes d'Ambodiriana et de Menasaka au contraire se présentent dans des conditions toutes particulières au point de vue du coût de l'aménagement.

D'une part, les travaux sont faciles à exécuter puisque, pendant l'étiage, le débit tombe à 13 m³/sec. dont on peut se débarrasser entièrement par dérivation latérale en amont de l'emplacement du barrage ; d'autre part, on peut amener par chemin de fer et bateau tout le matériel et les approvisionnements nécessaires jusqu'à 4 kilomètres de l'emplacement des travaux ; enfin, on se trouve dans la grande forêt de l'Est qui peut fournir les bois d'œuvre nécessaires.

Planche V

En outre, en dehors de cette énergie rigoureusement continue, on peut disposer au moins pendant six mois d'un appoint complémentaire de 20 m³/sec. correspondant respectivement pour Menasaka et Ambodiriana à

43 × 200 = 8.600 cv.
et 78 × 200 = 15.600 cv.

Total..... 24.200 cv.

qui, ajoutées aux 61.000 cv. permanents, portent à 85.000 cv. les chevaux de six mois force nette sur l'arbre des turbines. Un deuxième ressaut placé un peu plus à l'aval sur le Maningory permettrait de disposer de plus de 100.000 cv. continus sur un tronçon de 50 kilomètres de ce fleuve.

Cette force n'a rien d'extraordinaire comme ordre de grandeur : il est évident que par exemple sur la seule Isère, il y a 130.000 HP permanents et 210.000 HP semi-permanents (débit de six mois) en grande partie non aménagés. Mais l'aménagement de ces 210 000 HP est estimée aux taux d'avant-guerre (1914) à une somme de 150 millions et actuellement c'est sur une dépense de 300 millions qu'il faut tabler, soit :

Il est vrai qu'on peut se demander à quoi pourrait bien être employée une telle force en un tel point : il y a bien, dans la région de l'Alaotra, 150.000 hectares de terre de plaines qui, pour être mises en valeur, ont besoin que la force motrice soit mise à leur disposition tant pour les labours que pour le pompage de l'eau dans les rizières et cela, théoriquement, devrait absorber 15.000.000 cvh. Il y a aussi les engrais azotés, l'aluminium dont la fameuse latérite (1) sera peut-être demain la matière première ; il y a enfin, dans une voie où les progrès sont rapides, ce que peut nous apporter l'avenir : c'est une raison suffisante pour ne pas ignorer les ressources qu'offre la région du lac Alaotra au point de vue houille blanche.

(1) La latérite résulte de la décomposition de certaines roches (principalement des gneiss à Madagascar), dans les climats tropicaux. Suivant son origine la composition de la latérite varie, il y a donc des latérites. Ce sont des terres argileuses qui existent en masses énormes à Madagascar, formant des effondrements appelés « tevana », lesquels donnent à certaines régions, celle du lac Alaotra en particulier, un aspect bariolé très pittoresque.