

3° L'établissement d'un système d'emploi collectif de l'électricité par des lignes publiques desservant à la fois les railways, les mines et les usages industriels en excluant tous monopoles en faveur d'industries déterminées ;

4° L'établissement de tarifications claires et rationnelles permettant aux plus petits usagers de toute nature de bénéficier de moyens industriels qui sont les seuls palliatifs au défaut de main-d'œuvre dans les régions coloniales.

BARRAGES A CHARGE FRACTIONNÉE

Système P. RUTENBERG

Ces barrages donnent la possibilité :

1) De ramener, quelle que soit la hauteur de la retenue, à des valeurs petites, arbitrairement choisies, la charge de l'eau si dangereuse dans les barrages construits suivant les méthodes adoptées jusqu'ici.

2) De réduire les accidents graves, que provoquent la rupture du barrage et la précipitation brusque de toute la

FIG. 1. — COUPE D'UN BARRAGE A CHARGE FRACTIONNÉE.

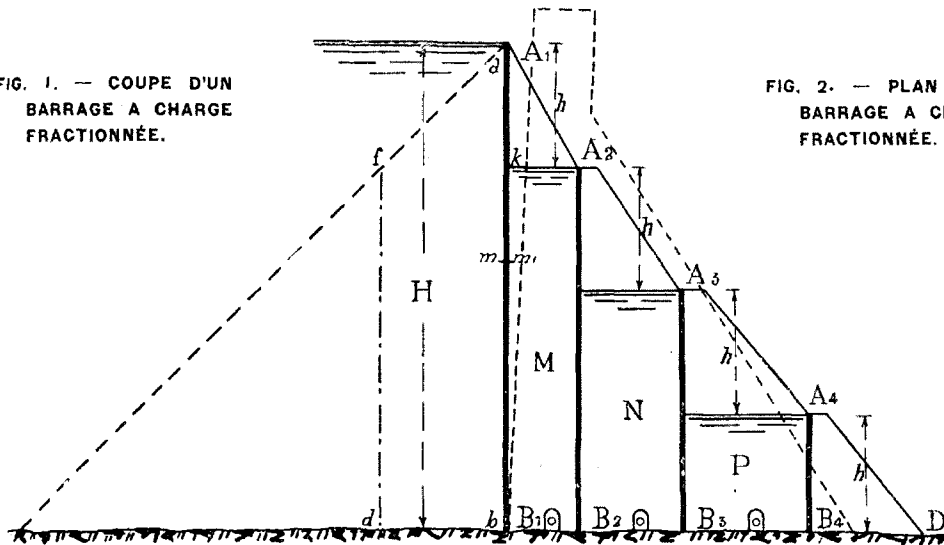
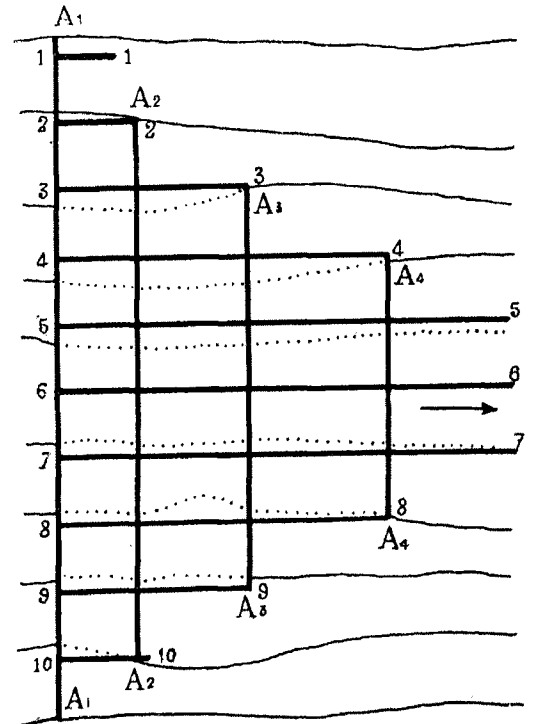


FIG. 2. — PLAN D'UN BARRAGE A CHARGE FRACTIONNÉE.



quantité d'eau emmagasinée dans le réservoir, à une décharge facilement réparable et une perte d'eau d'importance limitée.

Ce résultat est obtenu en fractionnant la charge totale H (fig. 1) au moyen d'une série des réservoirs d'eau M ; N ; P ;

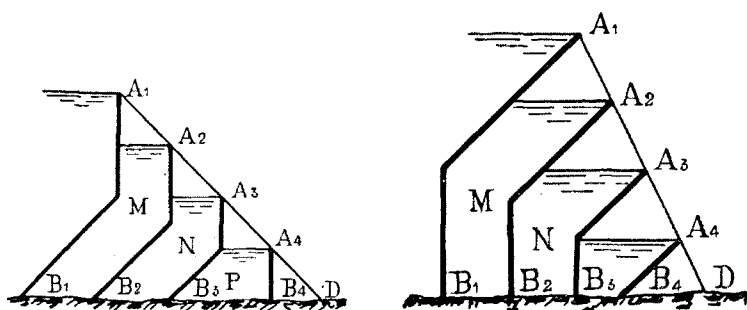


FIG. 3 ET 4. — VARIANTES D'UN BARRAGE DE CE TYPE.

etc..., formés par des parois $A_1 B_1$; $A_2 B_2$; $A_3 B_3$... de hauteur décroissante d'amont vers l'aval ; on détermine ainsi dans ces réservoirs des niveaux de plus en plus bas jusqu'au lit aval de la rivière.

Les parois sont appuyées sur des contreforts transversaux, $A_1 D B_1$ (fig. 1) et 1,1 ; 2,2 ; 3,3... (fig. 2), formant ainsi un tout bien lié et stable. Les contreforts 1,1, 2,2, 3,3... sont

percés d'ouvertures O, tandis que les parois $A_1 B_1$; $A_2 B_2$; $A_3 B_3$... sont étanches.

Par suite, les niveaux de l'eau dans les réservoirs, compris entre deux parois consécutives $A_n B_n$ et $A_{n+1} B_{n+1}$ sont les mêmes ; tandis que les niveaux d'eau amont et aval d'une même paroi $A_n B_n$ peuvent être différents. Ainsi, chaque barrage secondaire est soumis à une charge correspondante à la différence des niveaux d'eau des deux côtés. En un point quelconque m (fig. 1) la charge de l'eau serait :

$$am - km_1 = ak = h = \frac{H}{n}$$

n étant le nombre des parois étanches $A_n B_n$ et H la profondeur totale de la retenue.

Le diagramme des charges de l'eau sur le parement amont de chaque paroi, au lieu du triangle équilatéral abc comme dans un barrage ordinaire, est représenté par le trapèze $abcd$. La charge atteint sa valeur maxima à la profondeur $h = \frac{H}{n}$, correspondant au niveau de l'eau dans le réservoir suivant et reste constante jusqu'à la base b de la paroi considérée.

Il est évident que la différence des niveaux h peut être

variable au lieu de rester constante.

Suivant les circonstances, on peut rendre la différence h des niveaux aussi petite que l'on veut, en construisant un nombre n de parois suffisamment grand. C'est à dire : quelle que soit la profondeur de la retenue, on peut choisir arbitrairement la charge de l'eau qui est la cause principale compromettant la stabilité des barrages construits jusqu'ici.

Les parois $A_n B_n$ qui servent à fractionner la charge totale H peuvent avoir une position quelconque, verticales ou inclinées, en partie verticales et en partie inclinées, parallèles ou non.

Chaque paroi au lieu d'une surface plate peut être courbe, former une seule voûte ou une série de voûtes appuyées sur des contreforts, ou une combinaison quelconque de voûtes et de surfaces plates.

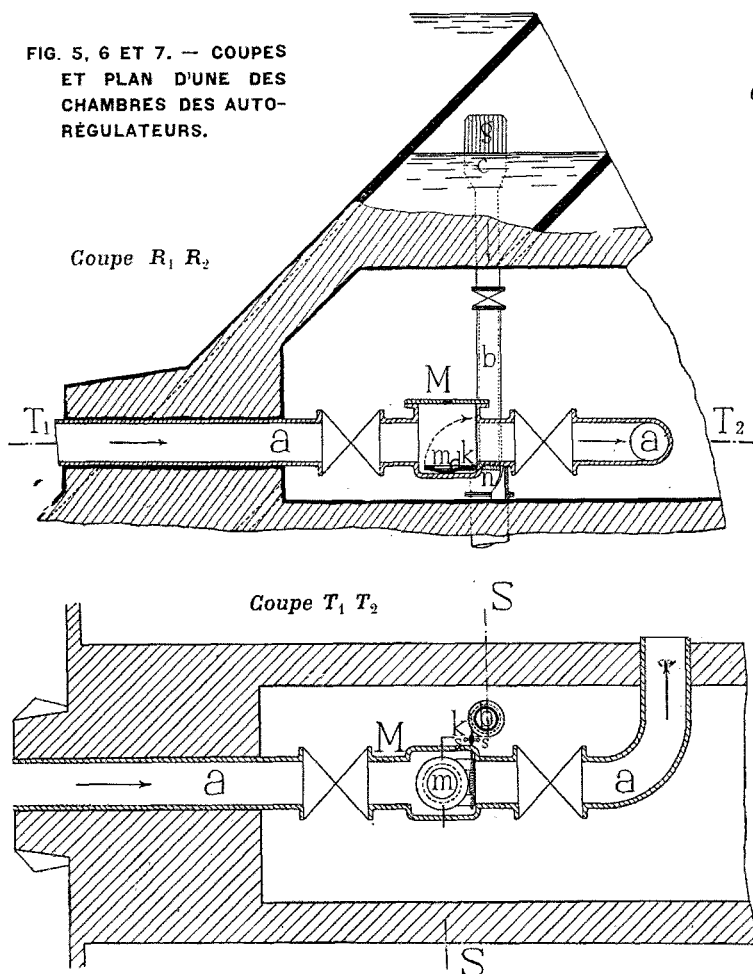
Les dimensions des parois et des contreforts, ainsi que les distances entre elles, sont déterminées par la condition, que chaque partie résiste aux forces qui lui sont appliquées et que l'ensemble du barrage résiste au renversement et au glissement dus à la poussée horizontale de l'eau retenue.

Avec des parois inclinées (fig. 3) on utilise la pression verticale de l'eau ; dans certains cas on augmente l'inclinaison des parois intérieures pour diminuer l'effet des sous-pressions de l'eau contenue dans les bassins du barrage même. L'utilisation du poids de l'eau au moyen d'une dalle de fond, soit à voûtes, soit drainée, n'est pas admise, parce que cet élément du barrage supporterait une charge supérieure à la charge d'eau fractionnée qui agit sur les parois secondaires, aussi cette dalle au lieu de suivre les déformations élastiques des contreforts, pourrait s'en détacher et compromettre la stabilité du barrage.

Le maximum de la différence des niveaux h établie pour chaque paroi est maintenue au moyen des autorégulateurs de niveaux.

Ces appareils (fig. 5 à 10) sont constitués par deux tuyaux : l'un a horizontal fait communiquer l'amont et

FIG. 5, 6 ET 7. — COUPES ET PLAN D'UNE DES CHAMBRES DES AUTORÉGULATEURS.



l'aval de la paroi, l'autre b vertical s'ouvre à la partie supérieure c au niveau maximum de l'eau dans le bassin correspondant et débouche, à sa partie inférieure, dans la galerie de décharge S au niveau aval du barrage.

Des diaphragmes m et n , montés sur un même axe horizontal k , ferment soit le tuyau a , soit le tuyau b ; on ne peut les manœuvrer indépendamment l'un de l'autre. A vide, le moment du disque m par rapport à l'axe k étant supérieur à celui du disque n , m est horizontal, le tuyau a est ouvert et b fermé.

L'eau arrivant dans le réservoir passe librement dans les bassins secondaires, jusqu'au moment où elle atteint le niveau maximum du dernier bassin aval. A ce moment, elle pénètre par l'ouverture c dans le tuyau b ; son poids déplace le disque m . Ce dernier reste fermé par la pression croissante de la charge d'eau. La même manœuvre se répète pour chaque bassin secondaire.

Si le niveau de l'eau s'abaisse dans le réservoir et devient inférieur à celui de l'eau dans le premier bassin, la contre-pression fera ouvrir le diaphragme m et l'équilibre s'établira. Il en sera de même pour les bassins suivants.

La partie centrale du disque m est munie d'un diaphragme de sûreté d , facile à remplacer, et calculé pour se rompre sous une pression légèrement supérieure à la charge maxima prévue. Dans le cas, peu probable, où le disque m resterait vertical avant que le niveau de l'eau dans les bassins aval ait atteint la hauteur voulue, le diaphragme de sûreté se romprait et l'eau pourrait remplir les bassins aval et créer la contre-pression nécessaire.

Les disques m et n sont placés dans des boisseaux en acier fondu que l'on peut facilement isoler (au moyen de deux vannes), ouvrir et visiter.

Une manille s , calée sur l'axe k , permet de placer à la main les disques m et n dans une position ou dans l'autre.

L'ouverture supérieure c de la conduite b est protégée par une grille g . Etant presque toujours vide, cette conduite ne peut être obstruée par la glace, le niveau de l'eau étant normalement au-dessous de l'ouverture c .

Quand le réservoir est plein, on peut dégager les conduites a en ouvrant à la main pendant quelques instants les disques m .

Les parois étant calculées pour résister à une charge d'eau de hauteur h , l'ouverture amont de la conduite a pourra se faire à cette hauteur au-dessus du sol, pour éviter l'apport des dépôts dans les conduites. On pourrait même, en augmentant la résistance de la partie inférieure de la première paroi,

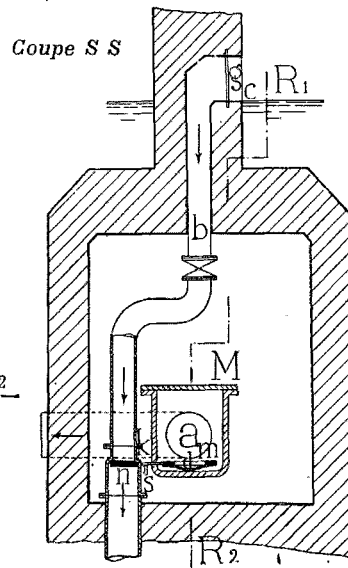
porter cette ouverture à une hauteur supérieure à h . D'ailleurs, des galeries de décharge S permettent l'évacuation des dépôts.

Il est évident que les galeries de manœuvre et les conduites des autorégulateurs peuvent être doubles, triples, etc.

Les conduites S pour l'évacuation des dépôts, munies de vannes amont p sont placées dans la partie inférieure des contreforts voisins de ceux contenant les galeries de manœuvre (fig. 8-10). Quand la pression d'eau est élevée, la manœuvre de ces dernières vannes peut être facilitée en créant une contre-pression du côté aval par de l'eau introduite au moyen de conduites spéciales. Les évacuateurs γ des dépôts éventuels, des bassins du barrage débouchent dans la galerie d'évacuation principale et peuvent aussi servir pour la décharge de la vanne p .

Pendant les crues, la stabilité des barrages ainsi construits augmente au lieu de diminuer comme dans les barrages ordinaires. En effet, les crêtes des parois amont les plus élevées sont plus longues en général que les crêtes aval. Comme la quantité d'eau qui s'écoule est la même, l'épaisseur de la nappe déversante augmentera, diminuant ainsi la différence des niveaux et par conséquent la différence entre la pression et la contre-pression agissant sur chaque paroi.

L'évacuation des crues se fait au moyen des bassins successifs à gradins M , N , P ... du barrage qui fractionnent la chute totale et diminuent les chocs correspondants. Dans certains cas, il peut arriver que la capacité des crêtes comme déversoirs soit insuffisante. Dans ce cas, on creuse dans la



partie supérieure des contreforts, au point où la pression de l'eau est la plus faible, des chambres (fig. 11) se déchargeant par des conduites dans le bief aval.

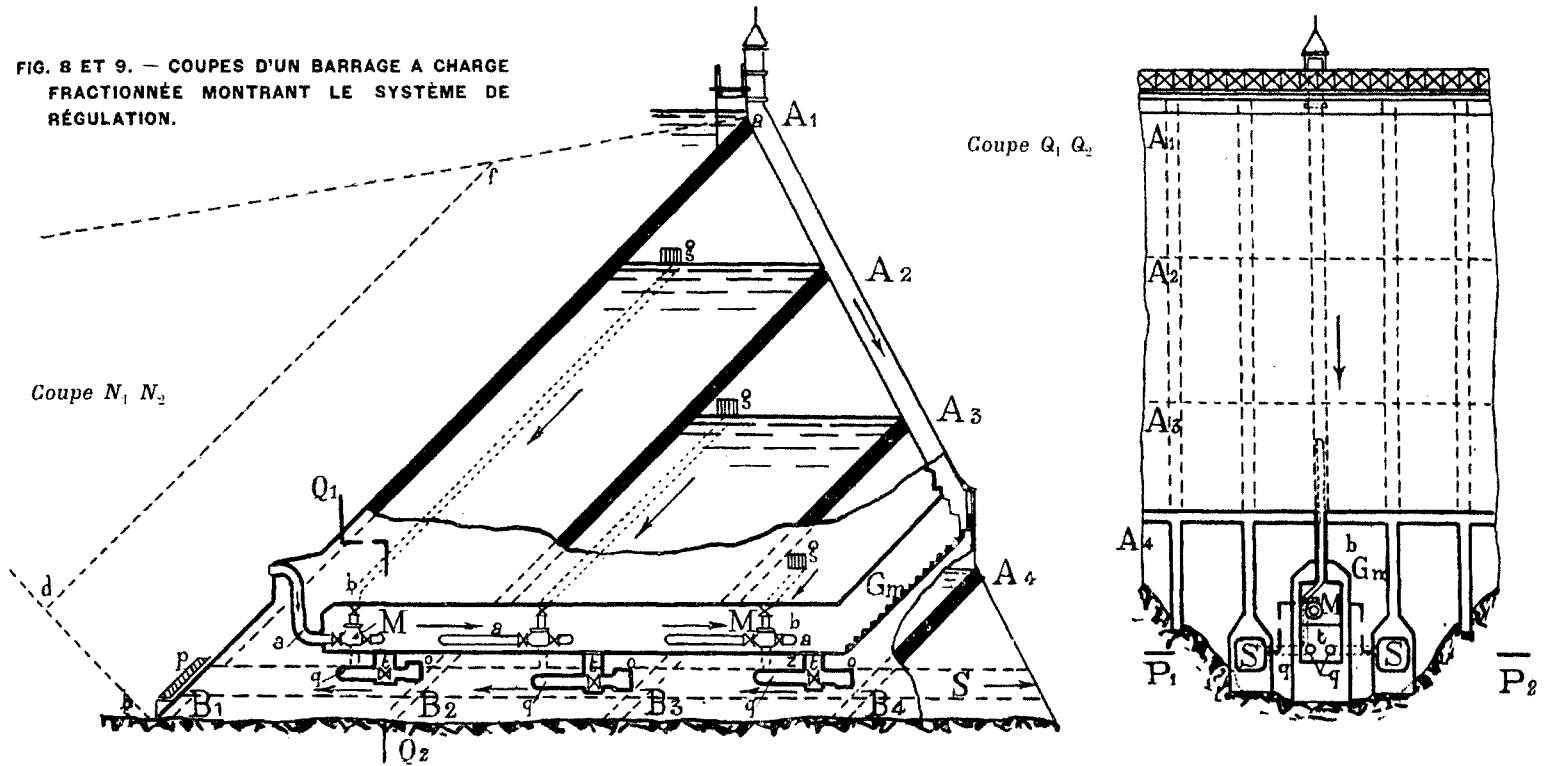
En outre, les galeries d'évacuation des dépôts peuvent servir pour l'évacuation des crues.

Pour éviter que le dernier réservoir aval des barrages, établis en montagne, ne se transforme en un bloc de glace pendant l'hiver et obstrue les tuyaux des autorégulateurs, on

en construisant les parois jusqu'à une profondeur telle que les pertes de charge à travers le terrain soient supérieures à la différence des niveaux d'eau.

Dans la comparaison que nous allons faire des avantages de ce barrage sur ceux construits jusqu'ici en ciment armé ou en maçonnerie, nous séparerons les considérations techniques de celles qui sont purement économiques.

FIG. 8 ET 9. — COUPES D'UN BARRAGE A CHARGE FRACTIONNÉE MONTRANT LE SYSTEME DE RÉGULATION.



déplace la dernière paroi (fig. 12, 13) vers l'aval, à une distance telle que l'épaisseur de la glace dans le petit lac ainsi formé ne puisse devenir anormale. On incline les parois afin que la glace, en se dilatant, glisse

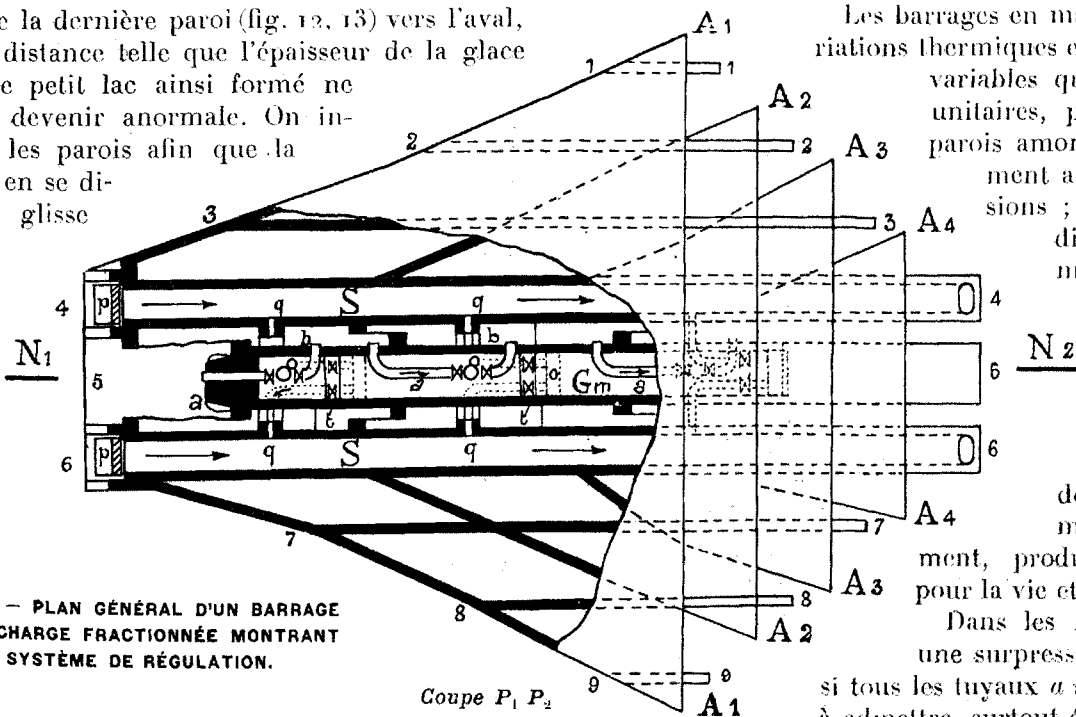


FIG. 10. — PLAN GÉNÉRAL D'UN BARRAGE A CHARGE FRACTIONNÉE MONTRANT LE SYSTEME DE RÉGULATION.

dans chaque bassin sur la paroi aval en haut et sur celle amont vers le bas.

Pour surélever un barrage déjà établi, il suffit de prolonger les contreforts vers l'aval et de construire les parois nécessaires, sans compromettre la stabilité de l'ouvrage.

Ces barrages peuvent être fondés sur des terrains peu résistants ; les infiltrations au-dessous des parois, d'un bassin à l'autre, déterminées par la charge fractionnée, ne peuvent influencer sur la stabilité. On pourra éliminer ces infiltrations

Les barrages en maçonnerie sont soumis à des variations thermiques et à des pressions hydrostatiques variables qui, en changeant les pressions unitaires, produisent des fissures sur les parois amont et aval. Les fissures du parement amont déterminent des soupresions ; les fissures du parement aval diminuent les résistances de la maçonnerie à l'effort tranchant.

Les fissures sont aussi dangereuses pour les barrages en ciment armé type américain, parce qu'il sont soumis à la charge totale de la retenue.

Dans le cas de rupture de ces deux types de barrages, l'eau emmagasinée se décharge brusquement, produisant des ravages dangereux pour la vie et les biens des riverains aval.

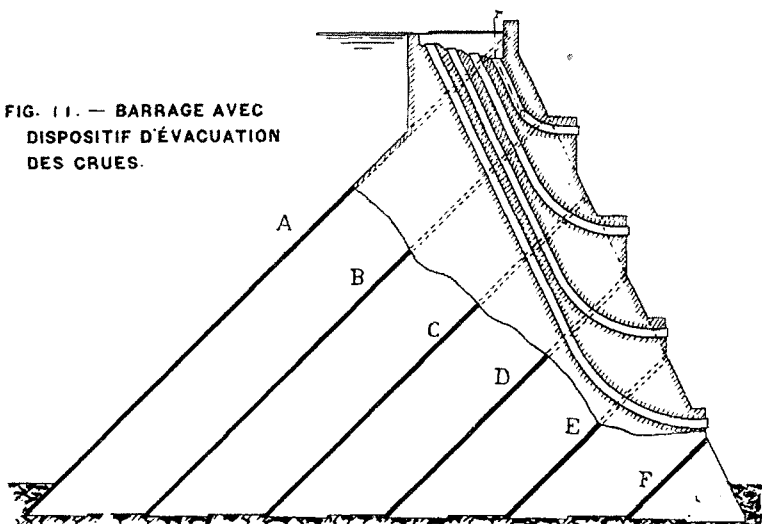
Dans les barrages à charge fractionnée, une soupresion ne pourrait se produire si tous les tuyaux *a* s'obstruaient, ce qui est difficile à admettre, surtout étant donné la présence des dia-

phragmes de sûreté. Dans ce cas les parois ayant une épaisseur et une résistance constantes, une rupture n'est possible que dans leur partie inférieure, entre deux contreforts, ce qui rétablit les conditions normales de fonctionnement du barrage en remplissant d'eau les réservoirs successifs. La décharge brusque de toute l'eau emmagasinée dans la retenue devient impossible.

La forme de ces barrages qui est la plus pratique est celle où les parois sont inclinées (fig. 3). Ces parois, encastrées

dans le rocher, résistent à une partie importante de la poussée horizontale de l'eau en travaillant comme des poutres, et c'est seulement au reste que le barrage résiste effective-

FIG. 11. — BARRAGE AVEC DISPOSITIF D'ÉVACUATION DES CRUES.



ment par son poids propre. En fait, ce poids est suffisant pour résister à toute la poussée de l'eau retenue.

Pendant les crues, périodes les plus critiques pour les barrages de tous les systèmes jusqu'ici construits, la sécurité de la stabilité des barrages à charge fractionnée augmente.

par la Ambursen Hydraulic Construction C°, a 39^m62 de hauteur à partir de la dalle de fondation (fig. 14). Sa plus grande largeur à la base est de 54^m50 ; la dalle de fondation a une épaisseur minima de 1^m07 ; elle se termine à ses extrémités amont et aval par deux murs de garde descendus dans le schiste argileux résistant à 3^m80 sous la dalle de fondation ; sur cette dernière sont construits des contreforts espacés d'axe en axe de 5^m486 ; leur épaisseur, divisée en 11 étages, varie de 0^m305 au sommet à 1^m270 à la base ; ils se raccordent avec la dalle par des redents dont la largeur maxima à l'embase est de 4^m42 ; l'épaisseur des contreforts est augmentée à l'amont pour servir d'appui aux dalles inclinées du parement amont. Ces dalles ont une épaisseur de 0^m305 au sommet et 1^m37 à la base ; elles sont inclinées de 6 de hauteur pour 7 de base. Les contreforts sont entretoisés à l'intérieur par 12 rangées de poutrelles horizontales de 0^m457 par 0^m61 parallèles à l'axe du barrage. Le béton ne travaille nulle part à la compression à plus de 39 kgs par cm².

Le volume d'un des contreforts est de 1180 m³ et par mètre courant de barrage :

$$V_1 = \frac{1180}{5,486} = 215 \text{ m}^3$$

Le volume de la dalle amont $V_2 = 50 \text{ m}^3$.

Le volume de la dalle de fondation : $V_3 = 65 \text{ m}^3$.

Le volume de poutrelles (3 par série) : $V_4 = 10 \text{ m}^3$.

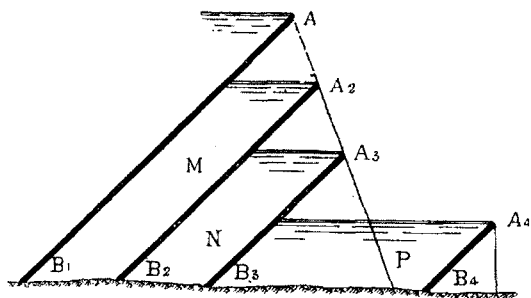


FIG. 12 ET 13. — DISPOSITIF EMPLOYÉ POUR LES BARRAGES ÉTABLIS EN HAUTE MONTAGNE.

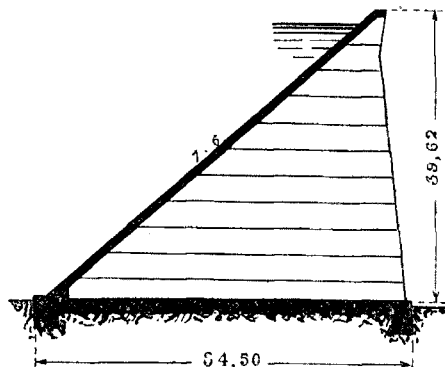


FIG. 14. — BARRAGE DE LA PRÊLE.

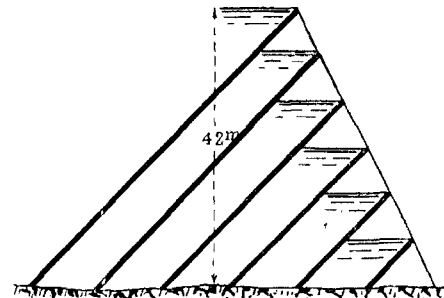
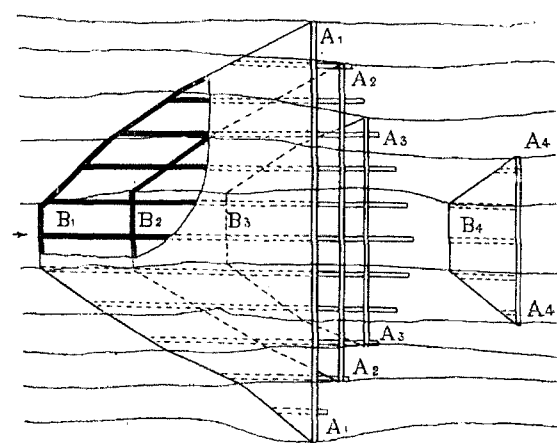


FIG. 15. — BARRAGE A CHARGES FRACTIONNÉES DE MÊMES DIMENSIONS.



Le problème de la décharge des crues est résolu rationnellement dans ce système. — L'évacuation des dépôts est facile.

Ces barrages peuvent être fondés sur des terrains peu résistants. Enfin, on peut les sur-

élever facilement. — Tels sont, au point de vue technique, les principaux progrès réalisés dans les barrages de ce type. Mais ce système présente aussi des avantages économiques.

Nous avons calculé : 1) le volume du béton nécessaire par mètre courant du barrage La Prêle, type américain, décrit par M. H. BELLET, dans *La Houille Blanche*, n° 11-1910. 2) Le volume d'un barrage à charge fractionnée de même hauteur et construit dans les mêmes conditions. 3) Le volume d'un barrage en maçonnerie.

Voici les résultats obtenus :

Le barrage La Prêle en ciment armé, type américain établi

Le volume total du béton par mètre courant de barrage :

$$V = V_1 + V_2 + V_3 + V_4 = 340 \text{ m}^3$$

Comme le déversoir est arrasé à 1^m52 au-dessous de la crête du barrage et que les schistes résistants sont à 3^m80 sous la dalle de fondation, la charge totale du barrage La Prêle a pour valeur :

$$H = 39,62 - 1,52 + 3,80 = 41^m90$$

Un barrage de cette hauteur à charge fractionnée serait composé de 6 parois avec des différences de niveau de 7 m. (fig. 15). Les contreforts espacés d'axe en axe de 5^m486 auraient une épaisseur de 0^m30 entre la 1^{re} et la 3^e parois, 0^m40 entre la 3^e et 4^e, 0^m50 entre la 4^e et 5^e et 0^m60 entre la 5^e et 6^e. On donnerait au parement aval des contreforts une pente de 1 de base pour 2 de hauteur, les parois auraient une inclinaison de 45° avec une épaisseur de 0^m57 dans la partie immergée, qui se réduirait à 0^m30 au sommet. Dans ces conditions, le volume du béton serait par mètre courant du barrage :

Pour les parois : $V_1 = 105,5 \text{ m}^3$.

Pour les contreforts :

$$V_2 = \frac{508}{5,486} = 92,6 \text{ m}^3$$

Le volume total par mètre courant du barrage : $V = 198,1 \text{ m}^3$ au lieu de 340 m³ pour le barrage La Prêle.

En déduisant le béton de la dalle de fond du barrage tel qu'il est construit, le volume est encore de 275 m³.

En diminuant de 1 000 kgs par mètre cube, le poids spécifique des parois plongées dans l'eau et en admettant que le barrage résiste seulement par son poids propre, la résultante obtenue passe dans le tiers moyen de la base du contrefort à 22^m52 de son pied aval. La compression unitaire maximum (sans considérer la résistance à la compression de l'armature de fer) ne dépasse pas 30 kgs par centimètre carré.

La différence des volumes de béton des deux barrages en ciment armé est dû surtout à la différence de volume des contreforts, qui dans les barrages à charge fractionnée, bien entretoisés par les parois, peuvent être d'une faible épaisseur, tandis que dans le barrage La Prêle leur hauteur de 40 m. les soumet à des efforts qui exigent une forte épaisseur à la base et par suite un volume considérable.

Le barrage La Prêle est muni de plus, d'un déversoir spécial ; les autres barrages américains sont munis d'une dalle aval pour l'évacuation des crues, ce qui augmente la différence des volumes du béton en faveur du barrage à charge fractionnée, qui permet l'évacuation des crues sans annexes coûteuses.

Le volume de la maçonnerie par mètre courant d'un barrage de 42 m. de hauteur, du profil triangulaire, avec compression unitaire à charge sur le parement amont égale à la pression de l'eau, c'est-à-dire avec un parement aval incliné de 0^m88 de base pour 1 m. de hauteur et parement amont incliné de 0,03 ayant un couronnement de 3 m. de hauteur et 4 m. 20 de large, serait :

$$V = 42^2 \frac{(0,88 + 0,03)}{2} + \frac{4^2 \times 0,88}{2} + 4,2 \times 3 = 823 \text{ m}^3$$

et le rapport entre le poids de la maçonnerie et celui du ciment armé nécessaire pour un barrage à charge fractionnée :

$$m = \frac{823}{198,1} = 4,15$$

rapport qui est supérieur au rapport des prix unitaires du ciment armé et de la maçonnerie.

L'économie serait surtout effectuée sur les dépenses supplémentaires parfois très importantes.

Dans les barrages à charge fractionnée, les fouilles et les dépenses pour l'extraction de l'eau pendant la construction des fondations sont beaucoup réduites. La déviation du courant d'eau peut être faite au moyen de canaux provisoires, correspondant aux parties inférieures des

contreforts, qui seront utilisés comme conduites d'évacuation ou comme galeries de manœuvre une fois le barrage terminé ; tandis qu'avec les barrages en maçonnerie il faut, dans certains cas, construire des galeries spéciales très coûteuses qu'il est ensuite fort difficile d'obturer d'une manière étanche lorsqu'il s'agit d'ouvrages de grande hauteur.

Tout le matériel nécessaire, sable, armature de fer ou de bois, planches, etc., est démontable ; tout peut être préparé d'avance ; avec des moyens de transport et une main-d'œuvre suffisantes, un barrage d'une hauteur quelconque peut être construit dans une seule saison au lieu de plusieurs années nécessaires pour un grand barrage en maçonnerie. Finalement, les barrages à charge fractionnée n'ont pas à créer des dispositifs d'évacuation des crues parfois très coûteux.

P. RUTENBERG.

LES GRANDES FORCES HYDRAULIQUES DES ALPES ET DES PYRÉNÉES

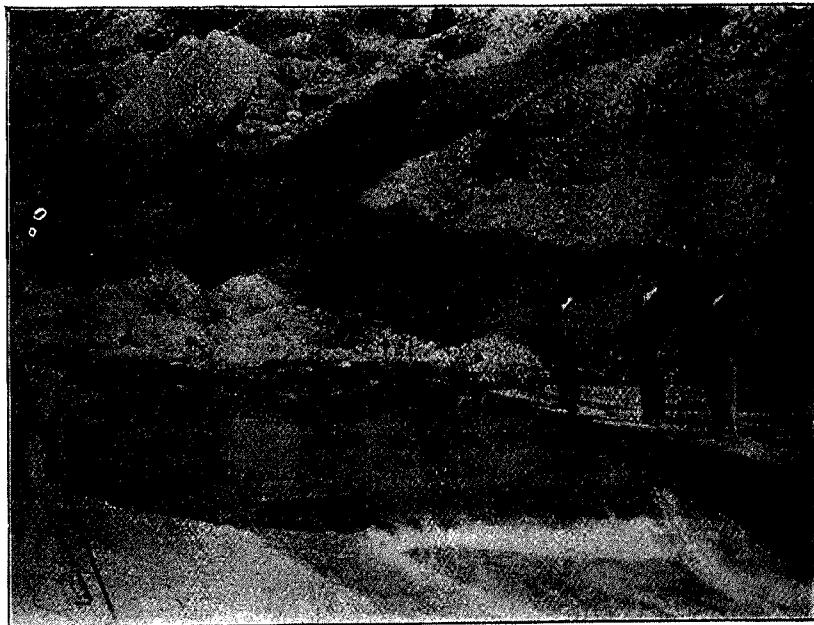
Nous avons déjà bien souvent cité dans cette Revue les travaux si remarquables effectués par le *Service des Grandes Forces Hydrauliques* dans les Alpes d'abord, puis dans les Pyrénées (Numéro de Mai dernier notamment).

Nous donnons ce mois-ci des extraits importants du compte rendu de M. R. DE LA BROUSSE, *Ingénieur en Chef des Ponts et Chaussées*, sur les études faites et les travaux accomplis à la fin de l'année 1911. Ce volume, le N° de la série, est accompagné comme les précédents d'une collection de cartes qui complète et éclaire la lecture des tableaux où avec une remarquable entente des besoins des industriels, les ingénieurs des Ponts et Chaussées ont su mettre en lumière les résultats les plus intéressants.

Malheureusement, comme le fait remarquer M. DE LA BROUSSE, le Service des Grandes Forces Hydrauliques n'a entre ses mains que des moyens d'investigations restreints.

Pour pousser activement des études de cette nature sur

un territoire aussi étendu, pour suivre le développement rapide des industries hydrauliques modernes, il faudrait un personnel spécialisé qui se consacre complètement à ces travaux. Les circonstances n'ayant pas



DÉVERSOIR EN MINCE PAROI SUR LE COULOMB (BASSES-ALPES)

ASPECT GÉNÉRAL DU DÉVERSOIR