

WYDZIAŁY POLITECHNICZNE KRAKÓW

BIBLIOTEKA GŁÓWNA

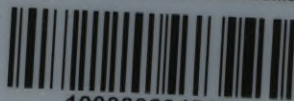
II

L. inw.

4421

106

Biblioteka Politechniki Krakowskiej



10000294561

x
2.250

CANALISATION DE LA MEUSE

ENTRE

NAMUR ET LA FRONTIÈRE FRANÇAISE

MÉMOIRE

SUR LES TRAVAUX DE

CANALISATION DE LA MEUSE

ENTRE

NAMUR ET LA FRONTIÈRE FRANÇAISE

PAR

M. MARTIAL HANS

INGÉNIEUR EN CHEF, DIRECTEUR DES PONTS ET CHAUSSÉES

15678



VII C

4 c

BRUXELLES

IMPRIMERIE FÉLIX CALLEWAERT PÈRE

RUE DE L'INDUSTRIE, 26

1880

~~Nochtrag 172~~

354a.

+
2,250

MEMOIRS

OF

MEMOIRS OF J. J. ...

...

...



114421

MÉMOIRE

SUR LES TRAVAUX DE

CANALISATION DE LA MEUSE

ENTRE

NAMUR ET LA FRONTIÈRE FRANÇAISE

PAR

M. MARTIAL HANS

INGÉNIEUR EN CHEF, DIRECTEUR DES PONTS ET CHAUSSÉES.

INTRODUCTION.

La Meuse est canalisée, en Belgique, depuis Visé jusqu'à la frontière de France, au moyen de barrages mobiles et d'écluses à sas.

Les barrages établis entre Visé et Namur sont à fermettes et aiguilles du système Poirée.

Pour continuer la canalisation de la Meuse en amont de Namur, l'administration adopta, en 1866, les barrages à hausses du système Chanoine, qui venaient d'être appliqués en France à la canalisation de la Haute-Seine, et qui paraissaient devoir donner de meilleurs résultats que les barrages à aiguilles.

Trois barrages du système Chanoine furent établis dans la Meuse : à La Plante, près de Namur, à Tailfer et à Rivière.

Ces barrages ne donnèrent pas, en pratique, les bons résultats qu'on en avait espérés : dès les premiers temps de leur mise en service, des doutes s'élevèrent sur la question de savoir s'ils pourraient fonctionner d'une façon convenable, et de manière à assurer, en tout temps, à la rivière, un bon état de navigabilité, avec le mouillage réglementaire de 2^m,10.

Un arrêté de M. le Ministre des travaux publics, en date du 27 avril 1871, institua une commission (1) chargée de rechercher et de proposer le système de barrage le plus convenable, pour achever la canalisation de la Meuse, entre Rivière et la frontière française.

Après un examen attentif de la question, cette commission proposa l'emploi de barrages composés d'une passe navigable à fermettes et aiguilles, et d'un déversoir à hausses. Ce système était celui que nous avons préconisé dans un mémoire soumis à la commission dès sa première réunion.

Les projets définitifs des deux premiers barrages de ce système furent approuvés le 12 avril 1873.

Le présent mémoire a été écrit à la demande de la commission directrice des Annales des travaux publics.

Il est divisé en deux parties.

La première partie comprend :

a. Une description sommaire des barrages à hausses établis dans la Meuse et de leur mode de fonctionnement.

b. L'indication des difficultés et des dangers que l'on a rencontrés dans la manœuvre de ces barrages, et dans la réparation des avaries survenues aux mécanismes qui les composent.

(1) Cette commission était composée de :

MM. Maus, inspecteur général, président.

Dumon, Cognioul, Bernard, Berger, ingénieurs en chef, membres.

Hans, ingénieur, secrétaire avec voix délibérative.
de Burlet, sous-ingénieur, secrétaire-adjoint.

La seconde partie fait voir comment la combinaison proposée et admise pour les nouveaux barrages, permet d'éviter les inconvénients que présentent les barrages à hausses ; elle comprend :

a. Une description détaillée des nouveaux barrages, avec plans à l'appui, et de leur mode de fonctionnement.

b. L'indication des résultats pratiques obtenus par l'emploi de ces barrages.

c. Un relevé détaillé et un résumé des dépenses occasionnées par la canalisation de la Meuse, entre Namur et la frontière française.

PREMIÈRE PARTIE.

BARRAGES A HAUSSES DU SYSTÈME CHANOINE ÉTABLIS DANS LA MEUSE.

Description sommaire de ces barrages. — Leur mode de fonctionnement.

Les trois barrages à hausses du système Chanoine construits dans la Meuse, en amont de Namur, se composent d'une passe navigable et d'un déversoir établis normalement à l'axe de la rivière, et séparés par une pile en maçonnerie. Ces deux parties sont raccordées aux rives, d'un côté au moyen d'un épaulement, et de l'autre par une écluse à sas, contiguë à la rive de halage.

Le seuil de la passe navigable est établi à 0^m,60 sous l'étiage ; celui du déversoir est arasé à 0^m,65 au-dessus de ce niveau.

La passe navigable se ferme au moyen de 23 hausses mobiles, de 3^m,20 de hauteur et 1^m,20 de largeur.

Quand ces hausses sont dressées, leur sommet affleure le niveau de la retenue normale ; chaque hausse est alors portée par un chevalet quadrangulaire en fer qui la relie au radier, et dont les côtés horizontaux

forment deux axes de rotation, autour desquels elle peut tourner; un arc-boutant en fer soutient le chevalet à son sommet, en s'appuyant sur un heurtoir en fonte scellé dans le radier. Dans cette position, l'ensemble du chevalet et de l'arc-boutant constitue un trépied invariable de forme, dont le sommet porte la hausse.

Une barre à talons, en deux parties, s'étend sur toute la longueur du radier; chacune de ces parties est commandée et mise en mouvement par un treuil fixe à arbre vertical, installé dans un puits, et sert à abattre les hausses, en faisant successivement perdre appui à leur arc-boutant.

Le déversoir est fermé au moyen de 43 hausses automobiles de 2^m,10 de hauteur sur 1^m,30 de largeur. Ces hausses sont fixées au radier par un chevalet semblable à celui des hausses de la passe navigable; leur axe de rotation est placé à quelques centimètres au-dessus du tiers de leur hauteur, de sorte qu'une lame d'eau déversante de 0^m,15 d'épaisseur suffise pour les faire basculer.

Une barre à talons, en deux parties, sert à faire perdre appui aux arcs-boutants des hausses, quand on veut abattre le barrage.

Une passerelle en tôle, portée par des fermettes mobiles, est établie en amont des hausses, sur toute la longueur du déversoir. Cette passerelle est destinée à donner accès sur la pile, à l'intérieur de laquelle se trouvent les treuils de manœuvre des barres à talons; elle permet de relever facilement les hausses du déversoir, en même temps qu'elle donne un point fixe pour maintenir ces hausses en bascule, dans une position presque horizontale, pendant qu'on relève les hausses de la passe navigable.

Relèvement des hausses d'un barrage Chanoine.

Lorsque, après une crue, les eaux tendent à descendre, en rivière libre, au-dessous du niveau pour lequel les bateaux trouvent encore partout un mouillage de 2^m,10 au moins, il y a lieu de relever les hausses des barrages.

Cette manœuvre se fait en commençant par les hausses du déversoir, qu'on relève, du haut de la passerelle, au moyen d'un treuil portatif agissant sur la chaîne de culasse de chaque hausse.

Pour ne pas augmenter, outre mesure, la chute d'eau qui existe au barrage dès l'origine de la manœuvre, on tient en bascule, au fur et à mesure de leur relèvement, toutes les hausses du déversoir, en fixant leur chaîne de culasse au tablier de la passerelle.

Toutes les hausses du déversoir étant tenues en bascule, on commence à relever les hausses de la passe navigable.

A cet effet, on fait usage d'un bateau de manœuvre, portant un treuil très puissant, et qu'on amarre par l'arrière, d'une part à un organeau de l'écluse, et d'autre part à une chaîne fixée à la tête d'un pilot battu, sous le plafond de la rivière, à 50 mètres en amont du barrage.

On commence le relèvement par la hausse voisine de l'écluse, et l'on continue, sans interruption, jusqu'à la hausse voisine de la pile.

Au moment où cette dernière hausse est redressée, la passe navigable étant entièrement fermée, sauf l'entre-deux des hausses, *presque tout le débit de la rivière doit passer par le déversoir* et il y produit une chute d'eau considérable.

Quand la dernière hausse de la passe navigable est relevée, on dresse les hausses du déversoir, qui jusque-là avaient été tenues en bascule, en lâchant, au moyen du treuil portatif, la chaîne de culasse de chacune d'elles.

Les hausses du déversoir sont alors libres de basculer, lorsque l'eau en s'élevant change leurs conditions d'équilibre.

Le barrage étant complètement levé, s'il survient une crue, les eaux de la rivière déversent par dessus la crête des hausses. Dès que la lame déversante atteint 0^m,15 d'épaisseur environ, quelques hausses du déversoir se mettent en bascule, et donnent écoulement à un certain volume d'eau ; si la crue continue, d'autres hausses se mettent successivement en bascule, jusqu'à la dernière.

Si, après cela, la crue augmente encore, on est obligé d'abattre, au moyen de la barre à talons et successivement, d'abord les hausses du déversoir et enfin, la crue continuant, celles de la passe navigable.

Si le débit de la rivière diminué après que plusieurs hausses du déversoir se sont mises spontanément en bascule, le niveau des eaux en amont du barrage s'abaisse lentement, et lorsqu'il arrive à 0^m,30 environ sous le niveau de la flottaison normale, quelques-unes de ces hausses se redressent spontanément, ce qui fait relever un peu le niveau des eaux d'amont.

Une nouvelle diminution du débit de la rivière amène une nouvelle baisse des eaux d'amont, et le redressement de quelques-unes des hausses qui étaient encore en bascule.

Quand les hausses du déversoir se redressent, la vantelle-papillon qui se trouve dans la volée de chaque hausse demeure ouverte. L'éclusier, circulant sur la

passerelle, doit fermer ces vanelles au moyen d'une gaffe, à mesure que le débit de la rivière diminue et de façon à maintenir toujours les eaux du bief d'amont au niveau de flottaison.

Tel est, en résumé, le mode de fonctionnement des barrages à hausses du système Chanoine, établis dans la Meuse, à La Plante, à Tailfer et à Rivière.

CALCUL DU DÉBOUCHÉ DES BARRAGES DE LA MEUSE.

La première question que soulève l'examen sommaire que nous venons de faire, est relative à la détermination des dimensions linéaires qu'il convenait de donner à la passe navigable et au déversoir des barrages de la Meuse.

Cette question peut se résoudre d'après les considérations suivantes, empruntées aux instructions autographiées de M. l'ingénieur en chef Chanoine.

Longueur du déversoir. Le débouché du déversoir doit être tel, que :

1° La chute d'eau qui se produit pendant les manœuvres de fermeture du barrage, ne devienne pas, par son élévation trop rapide, un empêchement au relèvement des dernières hausses de la passe navigable.

2° Le débouché du déversoir, ajouté à celui de la passe navigable, offre à l'écoulement des eaux, quand les hausses sont couchées, une section telle, que la chute dans la passe navigable ne devienne jamais, pour les bateaux, un obstacle difficile à franchir.

D'après nos expériences, le relèvement des hausses des passes navigables présente de grandes difficultés, dès que la chute de l'eau, au moment du relèvement

de la dernière hausse, dépasse un mètre de hauteur.

C'est ainsi que lors d'une manœuvre des hausses de la passe navigable de La Plante, opérée le 31 juillet 1871, on a fait les constatations indiquées ci-après :

Au moment du relèvement de la dernière hausse, les eaux se trouvaient aux cotes suivantes :

Echelle d'amont	2 ^m ,24
Echelle d'aval	1 ^m ,26
	<hr/>
Chute	0 ^m ,98

Sous l'action de cette chute, le relèvement des dernières hausses présenta des difficultés sérieuses; la vingt-deuxième et la vingt-troisième hausse demeurèrent en bascule sur leur chevalet; pour redresser cette dernière hausse, il fallut les efforts de cinq hommes placés sur la pile et agissant sur la volée au moyen de crochets.

Dans une manœuvre faite à Tailfer, le 17 avril 1872, on essaya, en vain, de relever les dernières hausses de la passe navigable, alors que la dénivellation entre les eaux d'amont et d'aval était de 2^m,44—1^m,10 = 1^m,34.

Dans une autre manœuvre tentée à Rivière, le 21 février 1873, on essaya, sans succès, de relever la dix-huitième hausse de la passe navigable sous une chute d'eau de 2^m,33 — 0^m,87 = 1^m,46.

Dans ces deux cas, on parvenait bien à soulever les hausses au moyen du treuil du bateau de manœuvre, mais l'arc-boutant étant soulevé par le courant, ne prenait pas appui contre son heurtoir.

Pour soulever, dans de pareilles conditions, les dernières hausses de la passe navigable, quatre hommes agissant ensemble sur les manivelles du treuil de manœuvre, devaient déployer toute leur force et encore

le mouvement ne se produisait-il qu'avec une extrême lenteur.

On peut admettre que chaque homme exerçait sur la manivelle un effort tangentiel de 30 kilogrammes ; l'effort total produit par le treuil sur la chaîne de culasse de la hausse, peut donc être évalué à :

$$4 \times 30^k \frac{0.35 \times 0.30 \times 0.30}{0.135 \times 0.06 \times 0.06} = 120^k \times 64.814 = 7.778 \text{ kil.}$$

Nous avons admis, d'après ces résultats, que les dimensions à donner aux déversoirs des barrages de la Meuse doivent être telles, que la chute limite de un mètre ne soit pas dépassée, lors du relèvement des dernières hausses de la passe navigable.

Cela posé, la longueur des déversoirs peut se calculer, avec une approximation suffisante pour la pratique, au moyen des formules données dans les traités d'hydraulique, et notamment dans le cours de mécanique de M. Bresse.

Pour établir ces calculs, il était nécessaire de connaître les débits de la rivière en amont de Namur, correspondant aux diverses hauteurs des eaux au-dessus de l'étiage. Ces débits résultent d'observations faites à Tailfer ; ils sont donnés dans le tableau inséré à la suite de ce mémoire.

La canalisation de la Meuse doit procurer à cette rivière un mouillage permanent de 2^m, 10.

Le seuil de la passe navigable et le plafond de la rivière immédiatement en amont de cette passe, sont généralement arasés à 0^m,60 au-dessous de l'étiage. Pour maintenir le mouillage de 2^m, 10, le relèvement des hausses des barrages doit donc se faire, au plus tard, lorsque les eaux, *en rivière libre*, descendent à la cote 1^m,50 au-dessus de l'étiage ; mais comme les par-

ties fixes du barrage produisent toujours un certain remous, nous avons admis que l'on pourra, en général, ne commencer le relèvement que lorsque les eaux seront descendues, en aval du barrage, à la cote $1^m,30$ au-dessus de l'étiage.

Partant de ces données, M. le sous-ingénieur Belpaire a pu déterminer, par le calcul, les dimensions qu'il convient de donner au déversoir; ces calculs sont insérés à la suite de ce mémoire; ils ont été établis en supposant que le radier du déversoir soit placé au niveau de l'étiage.

On a admis, en outre, que pendant le relèvement des hausses de la passe navigable, les hausses du déversoir peuvent être :

a. En bascule sur leur chevalet et inclinées vers l'amont, à 21° au-dessus de l'horizon. Cette inclinaison est celle que peuvent prendre les hausses munies de vantelles-papillons des déversoirs de La Plante, de Tailfer et de Rivière.

b. En bascule sur leur chevalet, et placées horizontalement.

c. Couchées sur le radier.

Les calculs ont donné les résultats suivants :

a. Hausses du déversoir en bascule et inclinées à 21° au-dessus de l'horizon : $L' = 88^m,00$.

b. Hausses du déversoir en bascule sur leur chevalet et dans la position horizontale : $L' = 53^m,00$.

c. Les hausses étant couchées sur le radier.

On trouve, dans ce cas, $L' = 53^m,00$.

Longueur de la passe navigable. — Les calculs précédents ne tiennent pas compte de la présence de la vantelle-papillon dans la volée des hausses du déversoir,

Cependant, quand on met ces hausses en bascule, en tenant les vantelles ouvertes, alors que les eaux d'amont atteignent la cote $1^m,50$ au-dessus de l'étiage prescrite pour le relèvement du barrage, on observe que ces eaux d'amont ne se relèvent que de trois ou quatre centimètres au-dessus de leur niveau primitif.

Le cas des hausses munies de vantelles-papillons et mises en bascule à 21° au-dessus de l'horizon, revient donc, à peu de chose près, aux cas examinés ci-dessus, des hausses pleines couchées sur le radier, ou mises en bascule en faisant un angle nul avec l'horizon. Il conviendra donc, dans l'un comme dans l'autre cas, d'admettre pour le déversoir une largeur libre de $53^m,00$.

Partant de ces données, la longueur de la passe navigable doit être déterminée, comme il a été dit ci-dessus, par cette considération que la chute ou dénivellation produite dans cette passe par les parties fixes du barrage, ne devienne jamais un obstacle difficile à franchir par les bateaux. Nous avons admis dans nos calculs, que cette dénivellation ne peut, en aucun cas, excéder $0^m,30$.

M. le sous-ingénieur Belpaire a calculé la longueur à donner à la passe navigable, en admettant la chute maximum de $0^m,30$ indiquée ci-dessus, et en supposant que le déversoir aurait $53^m,00$ d'ouverture et que son radier serait arasé au niveau de l'étiage. Il s'est servi à cet effet, de la formule donnée par M. l'Ingénieur en chef Chanoine dans ses instructions autographiées, et il a trouvé que pour réaliser les conditions imposées, la passe navigable doit avoir $43^m,00$ de largeur libre.

La chute de $0^m,30$ que nous avons admise dans nos calculs pour déterminer les dimensions à donner aux parties fixes des barrages, est encore assez considéra-

ble ; mais il eut été impossible de la réduire, à moins de donner aux barrages des ouvertures très difficiles à réaliser dans le lit de la Meuse. Cette chute de $0^m,30$ est du reste un maximum ; elle s'abaisse, ainsi que le fait voir le calcul, jusqu'à $0^m,22$.

Les formules d'hydraulique dont il a été fait usage pour calculer le débouché des barrages de la Meuse, ne peuvent être considérées comme donnant des résultats d'une grande exactitude. Cependant ces résultats sont suffisamment approchés, pour la pratique.

C'est ainsi que la formule qui donne la largeur de la passe navigable en fonction de la chute, a été vérifiée pour la Meuse, en comparant les chutes observées aux échelles du barrage de La Plante, pour différentes hauteurs d'eau, avec les chutes calculées au moyen de la formule.

Pour des hauteurs d'eaux variant de $1^m,10$ à $2^m,50$ au-dessus de l'étiage, les chutes varient de $0^m,61$ à $0^m,37$ et la différence entre les chutes calculées et les chutes observées dépasse rarement $0^m,03$. Les premières sont toujours plus grandes que les secondes.

L'approximation que donne la formule est suffisante pour la pratique.

DIFFICULTÉS QUE PRÉSENTE LA MANŒUVRE DES BARRAGES A HAUSSES DE LA MEUSE.

Dès que l'on voulut mettre en service régulier les barrages de La Plante, de Tailfer et de Rivière, on rencontra des difficultés dans l'exécution des manœuvres, et notamment dans les manœuvres de relèvement des hausses de la passe navigable.

Les essais faits au barrage de Tailfer, les 16 et

17 avril 1872, et au barrage de Rivière, le 21 février 1873, ont prouvé qu'il est impossible, à cause de la hauteur considérable de la chute d'eau qui se produit à la fin de la manœuvre et de la violence extrême du courant que cette chute occasionne, de relever complètement un barrage à hausses de la Meuse, quand son voisin d'aval est encore couché, et alors que les eaux d'amont sont descendues, avant la manœuvre, à un mètre sous le niveau de la flottaison normale, soit à la cote 1^m,81 ; et les eaux d'aval à la cote 1^m,30, soit, pour ces dernières, à 1^m,00 au-dessus de l'étiage (1).

Et cependant, dans cet état des eaux, on ne trouve déjà plus que deux mètres de mouillage environ en lit de rivière, et spécialement dans les anciennes passes, dont le fond se trouve généralement à un mètre environ sous l'étiage.

Ces expériences prouvent que les barrages à hausses de La Plante, de Tailfer et de Rivière, considérés chacun isolément, ne permettent pas d'assurer à la Meuse un mouillage permanent de 2^m,10. Pour relever un de ces barrages, alors que le barrage d'aval est couché, il faut attendre que les eaux à l'échelle d'aval soient descendues à la cote 0^m,80 environ. On ne trouverait plus, en ce moment, qu'un mouillage de 1^m,50 environ dans les anciennes passes.

Le relèvement des hausses de la passe navigable des barrages de la Meuse se fait plus facilement et peut se faire plus tôt, lorsqu'on a relevé d'abord le barrage situé immédiatement en aval.

Dans ces conditions spéciales, la manœuvre de relèvement est possible dès que les eaux marquent la cote 1^m,81 à l'échelle d'amont et la cote 1^m,30 à l'échelle

(1) Le zéro des échelles de la Meuse est placé à 0^m,31 sous l'étiage de la rivière.

d'aval. Au moment où les eaux s'abaissent à ce niveau, on trouve encore, comme nous l'avons dit, un mouillage de 2^m,00 environ dans les anciennes passes.

Pour maintenir dans la Meuse le mouillage réglementaire de 2^m,10, le relèvement des barrages de La Plante, de Tailfer et de Rivière doit s'opérer successivement, en allant d'aval en amont. On relève d'abord le barrage à fermettes des Grands-Malades, situé en aval de celui de La Plante; et ce n'est ordinairement que huit ou dix jours après cette manœuvre, que les eaux de la rivière deviennent assez basses pour que l'on puisse commencer le relèvement des hausses du barrage de La Plante; puis, à mesure que les biefs se remplissent, on relève les hausses des barrages de Tailfer et de Rivière.

Il faut ordinairement un jour au moins, pour relever chaque barrage à hausses et remplir le bief correspondant. Le barrage de Rivière ne peut donc être relevé, au plus tôt, que trois jours après que le barrage de la Plante est déjà mis en service, et 12 à 15 jours après le relèvement du barrage à fermettes des Grands-Malades; et encore, faut-il, pour atteindre ce résultat, que toutes les manœuvres se soient faites sans accidents, ce qui constitue presque le cas exceptionnel. Tout retard dans la manœuvre de relèvement de l'un des barrages, entraîne forcément le même retard pour tous les barrages qui le suivent en amont.

Cet état de choses, sur la partie de la Meuse canalisée au moyen de barrages à hausses, est on ne peut plus fâcheux au point de vue du batelage, car tant que les barrages ne sont pas relevés il faut employer, pour halier les bateaux en remonte, un plus grand nombre de chevaux que sur les autres parties de la rivière.

En outre, après les grandes crues, il se produit parfois des atterrissements dans le chemin des bateaux, notamment en aval des écluses, et il serait alors nécessaire, en attendant que les atterrissements soient enlevés, de pouvoir maintenir les eaux à un niveau notablement supérieur à celui de la flottaison normale.

Ce résultat peut être obtenu facilement, au moyen des barrages à aiguilles et non au moyen des barrages à hausses, à cause de l'impossibilité de relever ces derniers quand les eaux sont un peu hautes.

AVARIES FRÉQUENTES AUX MÉCANISMES DE LA PASSE
NAVIGABLE.
DIFFICULTÉS DES RÉPARATIONS.

Les organes délicats, barre à talons et treuil de manœuvre, qui servent à l'abatage des hausses de la passe navigable, sont placés à une grande profondeur sous l'eau. Des causes multiples peuvent leur occasionner des avaries, et entraver la manœuvre au moment des crues, c'est-à-dire précisément au moment où il serait nécessaire de les voir fonctionner avec le plus de régularité.

La barre à talons est particulièrement sujette à se déranger dans une rivière qui, comme la Meuse, charrie beaucoup de gravier. Ce gravier, en s'interposant soit entre la barre à talons et le radier, soit entre les talons et les heurtoirs, peut empêcher tout mouvement de la barre à talons.

Les barres à talons ont été souvent brisées par le choc des hausses, surtout depuis que les radiers sont plus ou moins usés et corrodés aux endroits où s'appuient les colliers de ces hausses ; ces barres ont été

plusieurs fois arrachées de leurs guides, pendant les manœuvres de relèvement, par les chaînes des hausses.

La crémaillère de la barre à talons et le pignon du treuil de manœuvre qui la commande, peuvent se briser.

Tous ces accidents qui, en pratique, se produisent pour ainsi dire à chaque manœuvre, peuvent avoir des conséquences très graves soit pour la conservation du barrage, soit sur les débordements de la rivière.

Les hausses de la passe navigable sont exposées, pendant tout l'hiver, alors même qu'elles sont couchées, à l'action d'un courant violent, et subissent des avaries fréquentes ; plusieurs d'entre elles ont été emportées par le courant, soit parce que leur chevalet était sorti de ses crapaudines, soit parce qu'il était cassé ; d'autres se sont détachées de leur chevalet ; d'autres enfin ont été brisées et ont eu leur bordage arraché.

Il arrive souvent que les coins en bois qui retiennent les chevalets dans leurs crapaudines sont arrachés et emportés, malgré le soin que l'on a pris de les serrer autant que possible.

Les mécanismes qui servent à la fermeture des passes navigables des barrages à hausses sont sujets à des avaries graves et fréquentes, et si ces avaries se produisent pendant l'hiver, comme c'est le cas ordinaire, il faut attendre pour les réparer que les eaux soient basses et claires, et aussi qu'elles ne soient pas trop froides, car presque toutes les réparations doivent se faire en employant le scaphandre.

En attendant, le bief commandé par le barrage dont les mécanismes sont avariés, doit rester en chômage plus ou moins complet, jusqu'à ce que la réparation soit possible.

Si, dans ces circonstances, on peut parfois maintenir

les eaux à flottaison, en bouchant, par exemple, au moyen d'aiguilles, l'ouverture laissée dans le barrage par une hausse emportée, ou bien en relevant les hausses alors que la barre à talons est hors de service, au risque de voir submerger le barrage, on doit, *en tout cas, mettre le bief d'amont en chômage*, quand on veut faire les réparations.

Certaines réparations ont demandé plus de douze jours d'un travail pénible et difficile.

Ce sont là évidemment des interruptions fâcheuses, dont le batelage se plaint vivement, et une grande cause d'infériorité des barrages à hausses comparés aux barrages à fermettes. Pour ces derniers barrages, les réparations peuvent toujours se faire immédiatement quel que soit l'état des eaux, et n'exigent qu'un temps relativement court. C'est ainsi qu'au mois de décembre 1871, dix-neuf fermettes du barrage des Grands-Malades furent faussées ou cassées par une débâcle inattendue. Malgré un froid glacial, trois jours de travail suffirent pour réparer cet accident, le plus grave qui se soit produit aux barrages à fermettes de la Meuse.

DANGERS DES MANŒUVRES.

Les manœuvres des hausses de la passe navigable présentent des dangers, pour les agents chargés de les exécuter.

A différentes reprises, des hausses de la passe navigable s'abattirent spontanément pendant les manœuvres, et tombèrent sur la barquette placée en aval du barrage et montée par les agents occupés au relèvement.

Plusieurs fois, des hommes furent jetés à l'eau pendant les manœuvres.

En faisant une manœuvre au barrage de Tailfer, la nacelle portant cinq hommes fut lancée dans la cataracte.

En voulant remplacer une hausse avariée au barrage de Rivière, au moyen de deux bateaux accouplés portant une grue, ceux-ci furent attirés dans la cataracte et chavirèrent; tout leur équipage fut jeté à l'eau.

Si, dans tous ces accidents, on n'eut pas de mort d'hommes à déplorer, c'est que tous les agents préposés à la manœuvre de ces barrages ont été choisis parmi les meilleurs du service de la Meuse et que tous sont bons nageurs.

Les mêmes difficultés s'étaient produites dans les manœuvres des barrages à hausses établis en France sur diverses rivières. Ces difficultés sont signalées dans les termes suivants par M. Malézieux, l'éminent professeur de l'école des ponts et chaussées de Paris, ancien ingénieur de service de la Marne, aujourd'hui inspecteur général et secrétaire du conseil (*Annales des ponts et chaussées*, novembre 1868, page 485) :

« Cependant, les neuf barrages (de la Marne) terminés cette année (1865), avaient commencé leur service normal, et l'épreuve des faits mettait en relief certains inconvénients des vannes à bascule, sur lesquels on n'avait eu jusqu'alors que des inquiétudes croissantes. Des crics se cassaient dans les pertuis, des barres à talons refusaient de se mouvoir. Le relèvement des vannes était partout une opération laborieuse, surtout quand on approchait de la fin. Des vannes s'abattaient, longtemps après le relevage complet, par l'échappement spontané de

« l'arc-boutant dont le pied ne s'était qu'imparfaite-
« ment fixé sur le heurtoir ; *et il fallait mettre en chô-*
« *mage le bief d'amont pour relever les vannes à nouveau.*
« Ailleurs, parce que l'eau avait accidentellement
« baissé sur le radier d'aval, et ne constituait plus un
« matelas suffisant pour amortir, ces grands panneaux
« de charpente et fer s'ébranlaient par le choc violent
« de l'abatage. On avait vu à Damery, une vanne se
« soulever sous un bateau qui l'entraîna en l'arrachant
« de ses gonds. »

Dès 1867, les inconvénients que présentent les hausses Chanoine pour la fermeture des passes navigables, avaient été jugés assez graves pour que l'on ait renoncé complètement à les employer en France.

C'est ainsi que pour le barrage de Joinville, le dernier de ceux qui avaient été projetés pour l'amélioration de la Marne, et qui a été achevé en 1867, on a adopté pour la fermeture de la passe navigable, des fermettes et des aiguilles du système Poirée, au lieu des hausses Chanoine, qui avaient été admises et employées pour tous les autres barrages de la Marne.

En 1868, on a même remplacé par des fermettes, les hausses du barrage de Vaires, sur la Marne (Voir la 12^{me} livraison de 1868, de la collection des dessins distribués aux élèves de l'école des ponts et chaussées de France, page 180 de la légende explicative).

Ces exemples et les difficultés rencontrées dans la manœuvre des barrages de La Plante, de Tailfer et de Rivière nous ont engagé à examiner s'il n'y aurait pas avantage à employer, pour achever la canalisation de la Meuse, des barrages composés d'une passe navigable à fermettes du système Poirée et d'un déversoir à hausses du système Chanoine.

Cette combinaison avait déjà été indiquée par

M. l'ingénieur en chef de Lagrené, qui fut l'un des promoteurs des barrages Chanoine ; dans l'un de ses mémoires (*Annales des ponts et chaussées*, de juillet 1868, page 54), M. de Lagrené fait en effet remarquer que, lorsqu'il s'agit d'une navigation continue, le mode de fermeture de la passe navigable importe assez peu, et que l'on pourrait, dans bien des cas, admettre des fermettes et des aiguilles pour la passe navigable et des hausses automobiles pour le déversoir.

SECONDE PARTIE.

BARRAGES COMPOSÉS D'UNE PASSE NAVIGABLE A FERMETTES DU SYSTÈME POIRÉE, ET D'UN DÉVERSOIR A HAUSSES DU SYSTÈME CHANOINE.

Nous avons vu précédemment, que pour fermer un barrage du système Chanoine, on doit commencer par mettre en bascule les hausses du déversoir ; on relève ensuite, et aussi vite que l'on peut, toutes les hausses de la passe navigable.

Au moment où l'on termine cette dernière opération, le débit tout entier de la rivière doit s'écouler par le déversoir et y produit une chute d'eau qu'il faut, autant que possible, limiter à un mètre de hauteur au maximum, en donnant au déversoir des dimensions convenables.

On produit dans cette manœuvre, un véritable détournement du cours de la rivière, que l'on oblige à passer tout entière par une partie seulement du barrage, alors cependant que son débit est très considérable (259^{m3} pour la Meuse).

Au moment où cette manœuvre se fait, les eaux sont descendues, en amont du barrage, à la cote 1^m,50 au-dessus de l'étiage. Immédiatement après le relèvement du barrage, les eaux s'élèvent très rapidement à 0^m,15

environ au-dessus du niveau de la flottaison normale, lequel correspond à une hauteur de 2^m,50 au-dessus de l'étiage ; le niveau des eaux en amont du barrage, se relève donc, en quelques heures, de 1^m,15 environ.

Passé navigable. Si la passe navigable du barrage était fermée au moyen de fermettes et d'aiguilles, les inconvénients inhérents au système Chanoine, que nous venons de signaler, et qui résultent de la discontinuité que l'on impose au régime de la rivière, ces inconvénients, disons-nous, disparaîtraient complètement. La manœuvre de relèvement des barrages à fermettes peut, en effet, être commencée aussitôt que les eaux, après une crue, descendent au niveau de la flottaison normale. On relève d'abord toutes les fermettes et, à mesure que le niveau de la rivière tend à s'abaisser, on place successivement quelques aiguilles ; on maintient de cette façon les eaux à peu près au niveau de la flottaison normale.

La manœuvre se faisant ainsi, le niveau des eaux en amont du barrage ne varie jamais d'une manière brusque, et la loi de continuité est entièrement satisfaite.

Dans ce système, les eaux de la rivière trouvent constamment le débouché dont elles ont besoin, non-seulement dans le déversoir, mais encore dans les parties de la passe navigable que l'on ne ferme qu'à mesure de la baisse des eaux.

Cependant dès que l'on rétrécit le débouché, par le placement de nouvelles aiguilles, la chute de l'eau augmente assez rapidement ; mais cette augmentation ne présente aucun inconvénient, car, même sous la chute complète du barrage, le placement des aiguilles se fait sans la moindre difficulté. C'est ce que prouve l'expérience journalière de la manœuvre des barrages à fermettes de la Meuse.

On aurait pu objecter peut-être, qu'il serait difficile de manœuvrer dans de bonnes conditions, des barrages à fermettes et aiguilles réalisant, comme les hausses des passes navigables de la Meuse, une retenue normale de 3^m,10 au-dessus du seuil.

Cette objection, qui ne pouvait dans aucun cas s'appliquer à la manœuvre des fermettes, disparaît complètement devant les résultats donnés par des expériences faites au barrage des Grands-Malades, au moyen d'aiguilles ayant les dimensions nécessaires pour soutenir la retenue de 3^m,10 au-dessus du seuil.

Ces expériences ont prouvé que la manœuvre de pareilles aiguilles ne présente aucune difficulté.

Déversoir. Les barrages à fermettes, établis dans la Meuse en aval de Namur, comportent tous un déversoir fixe en maçonnerie, de 150^m,00 de longueur, construit en lit de rivière, parallèlement au fil de l'eau, et dont la crête est arasée au niveau de la flottaison d'amont, soit, en général, à 2^m,00 au-dessus de l'étiage de la rivière.

Ce déversoir est destiné à éviter, lors des crues rapides qui se produisent souvent dans la Meuse, la submersion de la passerelle sur fermettes établie à 0^m,50 au-dessus de la crête du déversoir fixe.

On conçoit qu'il doit y avoir grand avantage à remplacer un déversoir fixe, fort élevé et nécessairement fort long, par un déversoir dont les parties fixes établies à peu près au niveau de l'étiage, seraient couronnées par un système de vannes automobiles qui pourraient basculer, aussitôt qu'un accroissement du débit de la rivière ferait monter le niveau des eaux en amont du barrage.

En résumé, le barrage proposé est composé d'une passe navigable à fermettes et aiguilles, dont le seuil

est arasé à 0^m,60 au moins sous l'étiage, et d'un déversoir à hausses dont le radier est établi au niveau de l'étiage.

Débouché à donner aux parties fixes d'un pareil barrage.

Ce débouché peut être déterminé par des considérations semblables à celles qui ont servi à calculer les dimensions à donner aux barrages du système Chanoine.

Par analogie avec ces derniers, nous avons admis, pour les barrages à établir en aval de l'embouchure de la Lesse, un débouché de 45^m,80 pour la passe navigable, et de 54^m,60 pour le déversoir.

Pour les barrages à établir en amont de la Lesse, nous avons réduit la largeur de la passe navigable, de façon à tenir compte du débit des affluents rencontrés.

Effet du déversoir. Il était intéressant de vérifier, si le déversoir de 54^m,60 de largeur, avec hausses mobiles, était aussi efficace que le barrage fixe de 150^m,00 pour empêcher, lors des crues ordinaires, la submersion de la passerelle sur fermettes.

La vérification a été faite en déterminant par le calcul, le débouché que l'on devrait donner à un déversoir avec radier établi à l'étiage, et muni de hausses automobiles, pour débiter un volume d'eau égal à celui qui s'écoule par dessus le déversoir fixe de 150^m,00 de longueur des barrages à aiguilles, construits en aval de Namur, et cela au moment où les eaux d'amont vont atteindre le tablier de la passerelle. Ce débouché a été trouvé de 18^m,35.

Le calcul fait connaître en outre, qu'un déversoir du système Chanoine, de 54^m,60 de débouché, suffit pour écouler, sans submerger le tablier de la passerelle, toutes les eaux de la rivière, tant que le débit ne

dépasse pas celui qui correspond à une hauteur d'eau, en rivière libre, de 1^m,60 environ au-dessus de l'étiage.

Le règlement de la retenue peut, l'expérience acquise le prouve, se faire entièrement par le déversoir, tant que le niveau des eaux, en rivière libre, ne dépasse pas la limite indiquée ci-dessus. Pour des crues plus fortes, on doit déboucher un certain nombre de travées de la passe navigable.

Généralement, on commence à lâcher des aiguilles de la passe navigable, un peu avant que les eaux aient atteint la cote indiquée ci-dessus ; il ne serait pas prudent, en effet, de laisser les eaux d'amont s'élever jusqu'au niveau de la passerelle.

BARRAGES MOBILES CONSTRUITS DANS LA MEUSE, ENTRE
LE VILLAGE DE RIVIÈRE ET LA FRONTIÈRE FRAN-
ÇAISE.

Description détaillée de ces barrages.

Les barrages établis dans la Meuse, en amont de Rivière, comprennent une passe navigable à fermettes et aiguilles du système Poirée, et un déversoir à hausses du système Chanoine.

Les figures 1, 2, 3 et 4 de la planche I, donnent les dispositions d'ensemble des barrages de ce système établis à Hun, à Houx, à Dinant et à Anseremme.

Les dispositions d'ensemble des barrages de Waulsort et d'Hastière sont représentées par les figures 4 et 1, sauf que les dérivations qui mettent l'écluse en communication avec le bief d'amont, ont de 500 à 600 mètres de longueur.

La figure 5 donne le profil en long à petite échelle, de la Meuse, entre Namur et la frontière française. Ce profil indique la répartition des barrages et donne pour chacun d'eux les cotes d'altitude de la flottaison normale, du seuil de la passe navigable et des buscs de l'écluse.

La rédaction des projets de ces six barrages a été faite de manière à satisfaire aux trois conditions suivantes :

1° Adapter, autant que possible, chaque barrage à la forme actuelle du lit de la rivière, à l'endroit où ce barrage devait être établi. Cette condition avait pour but non-seulement de réduire la dépense au minimum, en évitant de modifier trop sensiblement la forme du lit de la Meuse, mais encore d'apporter le moins de trouble possible dans le régime des hautes eaux, alors que les barrages sont couchés et la rivière rendue à ses allures naturelles.

2° Placer chaque barrage à l'extrémité d'amont d'un haut-fond et installer l'écluse correspondante à l'extrémité d'aval de ce haut-fond; on obtenait ainsi le double avantage de pouvoir placer le seuil du barrage à une profondeur assez faible sous l'étiage, sans que ce seuil fit sensiblement saillie sur l'ancien lit de la rivière, et de réduire au minimum les dépenses relatives aux fondations du barrage, ainsi que les dragages à faire pour donner le mouillage réglementaire de 2^m,10 dans le chenal d'aval de l'écluse.

3° Enfin, limiter la hauteur de retenue des appareils de fermeture de la passe navigable à 3^m,10 au-dessus du seuil de cette passe, celui-ci étant placé lui-même à 0^m,60 au moins sous l'étiage.

Cette hauteur de retenue est la même que celle des barrages à hausses de La Plante, de Tailfer et de Rivière.

L'écluse étant ainsi placée à l'extrémité d'aval d'un haut-fond ou seuil, sur lequel la pente superficielle des eaux est toujours très considérable, rachetait une chute beaucoup plus grande que celle du barrage, alors même que ce haut-fond n'avait pas une très grande longueur. Ce cas s'est présenté notamment pour les barrages de Hun, de Waulsort et d'Hastièrre, qui ont pu être établis à une certaine distance en amont de l'écluse correspondante, à laquelle chacun d'eux est raccordé par une digue longitudinale qui sépare la dérivation de la rivière.

Cette disposition a permis de réduire à six, les sept barrages primitivement projetés entre Rivière et la frontière française, tout en conservant aux barrages la hauteur de retenue constante de 3^m,10 au-dessus du seuil.

ÉCLUSES.

Les dessins de la planche II donnent tous les détails des écluses établies dans la Meuse, en amont de Rivière.

Les types de ces écluses diffèrent, suivant que celles-ci sont construites dans une dérivation ou qu'elles sont établies en lit de rivière.

La figure 2 représente une écluse établie en dérivation, à Anseremme, et la figure 3, une écluse construite en lit de rivière, à Dinant.

Le premier type ne diffère du second que par le bajoyer du large qui, pour ce dernier, constitue un mur à parements verticaux de 3^m,00 d'épaisseur. Ce mur est prolongé, vers l'amont, par une estacade en charpente de 50^m,00 de longueur, destinée à faciliter l'entrée des bateaux dans l'écluse. Cette estacade

est représentée en élévation et en coupe par les figures 9 et 10.

Toutes ces écluses ont $125^m,18$ de longueur totale, mesurée entre les parements des murs en retour; $100^m,00$ de longueur utile, mesurée de la corde du busc d'amont à l'origine de l'enclave des portes d'aval, et $12^m,00$ de largeur libre.

Les deux buscs de chaque écluse sont établis au même niveau, et à $2^m,10$ sous le niveau de la flottaison normale du barrage d'aval, supposée horizontale.

Toutes les écluses sont fondées sur une couche de béton de $0^m,60$ d'épaisseur. Les maçonneries de remplissage sont en moellons bruts, et tous les parements vus sont exécutés en maçonnerie de moellons piqués avec chaînes en pierres de taille. Le radier, entre les buscs, est exécuté en maçonnerie de briques; il a la forme d'une voûte renversée de $0^m,60$ de flèche.

Les buscs et les plates-bandes sont exécutés en maçonnerie de pierre de taille appareillée. Il en est de même des chaînes d'angles, des coulisses, des têtes des larrons, des chardonnets et des escaliers des bajoyers de rive.

Des tablettes en pierres de taille couronnent les bajoyers et les murs en retour.

Les portes busquées d'amont et d'aval sont semblables et construites en bois de chêne du pays, avec ferrements pour consolider les assemblages. Elles sont représentées en élévation, plan et coupe, par les figures 11, 12 et 13.

Le remplissage du sas se fait, en moins de quatre minutes, au moyen de six vannes à jalousies, dont deux sont placées sur les aqueducs-larrons, et quatre sur les vantaux des portes. Les vannes des aqueducs ont chacune trois ouvertures de $1^m,50$ de longueur et $0^m,22$ de

hauteur ; celles des vantaux ont chacune trois ouvertures de 1^m,40 de longueur et 0^m,14 de hauteur. Les six vannes présentent ensemble dix-huit ouvertures, comportant une surface totale libre de 4^m²,33.

Les vannes de vidange sont semblables aux vannes de remplissage. Elles présentent toutes cette particularité, qu'elles s'ouvrent en descendant, de façon que leur poids propre facilite la manœuvre d'ouverture. Les vannes des aqueducs-larrons, figures 14 et 15, sont manœuvrées au moyen de vis sans fin à écrou mobile. Les vannes des portes sont manœuvrées au moyen d'une petite roue dentée, actionnée par un levier de 1^m,75 de longueur.

Le jeu des vantaux est produit par un arc denté en fer, actionné par un cabestan construit en fer et fonte, et fixé dans les pierres des bajoyers.

BARRAGES MOBILES.

Chaque barrage se compose d'une passe navigable et d'un déversoir.

Ces deux parties du barrage sont séparées, soit par une pile en maçonnerie (fig. 1 à 9, planche III), soit par une île qui sert de pile (fig. 10 à 23, planche III).

La passe navigable comprend un radier portant des fermettes mobiles ; elle se raccorde, du côté droit, soit à la pile, soit à un épaulement implanté dans les talus d'une île ; et du côté gauche, soit à l'écluse, soit à un épaulement implanté dans le talus extérieur d'une digue.

Le débouché de cette partie du barrage varie, suivant le débit de la rivière, depuis 45^m,81 jusqu'à 41^m,01. Son seuil est généralement établi à 0^m,60 sous l'étiage.

Le déversoir est composé d'un radier fixe, portant des hausses mobiles et une passerelle sur fermettes. Il a 54^m,60 de longueur entre les parements des épaulements ; son radier est établi au niveau de l'étiage de la rivière.

Pour chaque barrage, l'ensemble de ces ouvrages réalise une retenue de 3^m,10 de hauteur verticale au-dessus du seuil de la passe navigable ou, en général, de 2^m,50 au-dessus de l'étiage de la rivière.

PASSE NAVIGABLE.

Les appareils de fermeture de cette passe se composent de fermettes mobiles et d'aiguilles, du système de M. l'inspecteur général Poirée.

Radier de la passe navigable. — Ce radier, construit entièrement en maçonnerie, est contenu dans un encoffrement en pieux et palplanches, recepés et moisés à 0^m,60 sous l'étiage pour la ligne d'amont, et à 1^m,00 sous ce niveau pour la ligne d'aval.

Les deux files de pilots, perpendiculaires au cours de la rivière, sont espacées de 9^m,67 d'axe en axe.

L'épaisseur du radier en maçonnerie est de 2^m,70 en amont du seuil, et de 2^m,30 seulement en aval de celui-ci.

Les fondations du radier se composent d'une couche de béton de 0^m,40 d'épaisseur, qui se prolonge sous les épaulements. Cette couche de béton porte un massif de maçonnerie en moellons bruts, sur lequel est placé le radier proprement dit, composé de deux files de pierres de taille, perpendiculaires à la direction du courant de la rivière, et d'un parement en moellons piqués, dont les joints continus sont aussi perpendiculaires au courant.

Les deux chaînes en pierres de taille reçoivent et servent à fixer au radier, l'une le seuil en bois des fermettes, et l'autre les crapaudines d'aval de celles-ci.

Dés de batardeaux. — Des dés en bois de chêne, de 0^m,30 sur 0^m,30 de section, sont maçonnés dans le radier, suivant des lignes perpendiculaires au courant, et forment deux rangées distinctes, l'une en amont, l'autre en aval des fermettes. Ces dés sont représentés sur les plans par des carrés avec diagonales; ils sont percés en leur milieu de trous verticaux de 0^m,05 de diamètre destinés à recevoir les montants en fer d'un batardeau, que l'on établirait dans le cas où l'on devrait faire des réparations au radier ou aux mécanismes qui y sont fixés.

Tirants horizontaux (figures 1 et 35, pl. IV). — Les pierres correspondantes des deux chaînes du radier sont reliées entre elles et aux deux lignes de pilots et palplanches, par l'intermédiaire de tirants horizontaux en fer, en trois pièces, placés dans des entailles ménagées dans les joints transversaux des pierres.

La partie centrale de chacun de ces tirants produit, au moyen de deux clavettes, la liaison des pierres correspondantes des deux chaînes, et rend celles-ci solidaires pour résister à la poussée horizontale considérable que les fermettes produisent sur leurs crapaudines d'aval, quand le barrage est levé et que les eaux sont à flottage.

Les deux parties extrêmes de ces tirants sont reliées à la partie centrale, chacune au moyen d'un œillet et d'une fourche à œillets; deux écrous agissant à chacune des extrémités du tirant, relie la ligne des pilots et palplanches d'amont à celle d'aval; de sorte que toutes les parties du radier sont ainsi rendues parfaitement solidaires.

Tirants verticaux (fig. 1 et 35, pl. IV). — Le tou-rillon d'amont des fermettes tend, quand le barrage retient les eaux de la rivière, à soulever le seuil en bois dans lequel sont fixées les crapaudines d'amont : pour résister à cette tendance au soulèvement, le seuil est relié aux maçonneries des fondations par l'intermédiaire d'ancres-boulons verticaux, en deux pièces, passant dans des entailles ménagées dans les faces de joint de chacune des pierres de la chaîne d'amont ; la partie inférieure de ce tirant est munie d'un disque en fonte, placé sous le béton au niveau du déblai ; cette partie s'élève jusqu'au-dessus de la maçonnerie de remplissage en moellons bruts. L'assemblage, en ce point, de la partie inférieure du tirant avec la partie supérieure est faite au moyen d'une broche de 0^m,40 de longueur, traversant l'œillet ménagé dans l'une des parties du tirant, et la fourche à œillets ménagée dans l'autre partie.

Le même tirant traverse le heurtoir ou seuil en bois, qu'il fixe dans la feuillure des pierres, au moyen d'un écrou noyé.

Le heurtoir ou seuil (fig. 1, pl. IV) destiné à servir d'appui au pied des aiguilles, et à fixer les crapaudines des fermettes, est en bois de chêne ; il a 0^m,50 sur 0^m,40 d'équarrissage ; il est maintenu dans la feuillure de la pierre de taille par des coins en bois de chêne, par les ancres-boulons indiqués ci-dessus, et par des étriers scellés dans la pierre et auxquels se fixent des boulons horizontaux qui traversent le seuil (fig. 1 et 4, pl. IV).

L'épaulement de gauche de la passe navigable (fig. 11, 13, 14 et 15, pl. III) est composé d'un corps rectangulaire en maçonnerie de 4^m,18 de hauteur au-dessus du seuil.

Cet épaulement a 5^m,00 de largeur et 7^m,75 de longueur dans le sens du courant; il repose sur une fondation semblable à celle de la passe navigable. Ses parements vus sont en moellons piqués. Les angles arrondis, l'escalier et l'enclave de la fausse-fermette sont en pierres de taille.

L'épaulement de droite de la passe navigable (fig. 10, 12, 16 et 17, pl. III) est composé d'un corps rectangulaire ayant les mêmes dimensions que l'épaulement de gauche; il contient une enclave de 2ⁿ,45 de largeur sur 2^m,60 de profondeur, destinée à recevoir la première fermette de la passe navigable, quand le barrage est couché. Un palier en fonte recouvre cette enclave.

MÉCANISMES DE FERMETURE DE LA PASSE NAVIGABLE.

Fermettes. — La fermeture de la passe navigable se fait au moyen de fermettes, mobiles autour d'un axe inférieur parallèle au courant, et espacées de 1^m,20 d'axe en axe; sauf pour les deux fermettes extrêmes qui sont placées respectivement à 1^m,11 du parement de la culée de gauche et à 1^m,50 du parement de la pile ou de la culée de droite (pl. III, fig. 1 et 2).

Ces fermettes (fig. I, pl. IV) réalisent une retenue de 3^m,10 au-dessus du seuil; elles ont 3^m,50 de hauteur, depuis le radier jusqu'au-dessous du manchon de la barre mobile; leur largeur est de 2^m,55 à la base et de 1^m,45 à la partie supérieure; le cadre qui les constitue est formé de fers à section rectangulaire soudés; il est rendu rigide par un bracon double, en fer de même espèce, maintenu dans le cadre par des moises horizontales, par une tôle pliée et boulonnée qui embrasse à la fois le pied du bracon et l'axe infé-

rieur, et par deux assemblages en creux et relief. Le tout est fortement serré au moyen d'un coin placé entre la traverse supérieure et la tête du bracon, et maintenu par un boulon.

Le cadre proprement dit de la fermette est surmonté d'un étui du côté d'amont, et d'un montant du côté d'aval. Ces deux pièces ont chacune 0^m,50 de hauteur et portent, à leur partie supérieure, l'axe du tablier de la passerelle. Quand les fermettes sont levées, ce tablier est ainsi placé à 4^m,00 au-dessus du radier et à 0^m,50 au-dessus de la flottaison d'amont du barrage.

Le poids d'une fermette nue, comprenant le cadre, le bracon, les traverses moisées, l'étui et le poteau-valet, est de 362 kilogrammes. Le poids du tablier en tôle, avec son axe et ses rondelles de fixation, est de 89 kilogrammes; la barre mobile pèse 31 kilogrammes. Le poids total de la fermette complète, y compris cadre, barre mobile, tablier et chaînes, est de 503 kilogrammes, en moyenne.

Crapaudines des fermettes. — Les fermettes peuvent tourner autour de leur axe inférieur, placé dans le sens du courant, et terminé par deux tourillons qui s'engagent dans des crapaudines en fonte.

La crapaudine d'amont (pl. IV, fig. 5, 6 et 7) est encastrée dans le seuil en bois de chêne dont il est fait mention ci-dessus; elle y est maintenue au moyen de vis et d'armatures en fer; cette crapaudine pèse, en moyenne, 32 kilogrammes.

La crapaudine d'aval (pl. IV, fig. 8, 9 et 10) est encastrée dans la pierre du radier; elle y est fixée solidement par trois boulons-doguets scellés au plomb; elle pèse, en moyenne, 93 kilogrammes. Cette crapaudine présente la forme d'un demi-cylin-

dre à axe horizontal, ouvert et évasé vers le haut, pour permettre l'introduction des tourillons, et fermé en aval par un fond vertical venu de fonte avec le coussinet ; c'est ce fond qui reçoit la poussée horizontale de la fermette, et empêche celle-ci de reculer sous l'action de la pression de l'eau.

Quand le tourillon de la fermette est introduit dans la crapaudine d'aval, on l'empêche d'en sortir au moyen d'une clavette en fer à large tête (fig. 11, pl. IV), que l'on fait glisser au-dessus du tourillon, dans des ouvertures transversales ménagées à cet effet dans les joues de la crapaudine. Cette manœuvre se fait facilement, sans qu'il soit nécessaire de recourir à l'emploi du scaphandre, au moyen d'une fourche que l'on manœuvre du haut de la passerelle.

Tablier des fermettes (fig. 1, 3 et 12, pl. IV). — Quand les fermettes sont relevées, elles sont maintenues verticales et rendues solidaires par l'intermédiaire du tablier en tôle, dont chacune d'elles est munie ; ce tablier est fixé à la barre supérieure de chaque fermette, autour de laquelle il peut tourner ; il est terminé à son autre extrémité par deux griffes doubles, évasées en forme de pied-de-biche, qui saisissent la barre supérieure de la fermette voisine. Deux petites clavettes passées sous cette barre, dans les pieds-de-biche, empêchent le tablier de se soulever et rendent les deux fermettes solidaires. Les tabliers des fermettes ont 1^m,10 de largeur et constituent, quand le barrage est levé, une passerelle sur laquelle on peut circuler en toute sécurité.

On attache dans la petite enclave de la culée de gauche, une fausse-fermette composée d'une barre fixe, destinée à accrocher le pont de service de la première fermette, et d'un étui avec poteau-valet destiné

à recevoir la barre tournante de cette fermette (fig. 13, 14 et 15, pl. IV).

En regard, dans l'enclave de la culée de droite ou de la pile, on fixe une autre fausse-fermette composée d'une barre horizontale coudée, engagée par ses extrémités dans deux crapaudines, et à laquelle est adaptée une barre tournante qui, avec un tablier en tôle, relie la culée à la dernière fermette (fig. 16, 17 et 18, pl. IV).

MANŒUVRE DES FERMETTES.

Abatage. — Lorsqu'on veut coucher les fermettes, il suffit, après avoir enlevé les clavettes des pieds-de-biche, de soulever légèrement le tablier en le poussant du côté de la pile ou de la culée de droite; la fermette se renverse d'elle-même et se couche doucement sur le radier, son mouvement étant ralenti par l'action de l'eau sur le tablier en tôle.

La manœuvre d'abatage des fermettes doit commencer du côté de la pile ou de la culée de droite, et se terminer du côté de la culée de gauche.

Relèvement. — Le relèvement des fermettes s'opère à l'aide d'un treuil portatif (fig. 32, 33 et 34, pl. IV). Pour faciliter cette manœuvre, toutes les fermettes sont reliées entre elles par des chaînes assez longues (fig. 1, pl. IV), fixées à l'extrémité du tablier de chacune d'elles. La chaîne du tablier se termine par un anneau qui sert à la rattacher à la clavette d'une autre chaîne très courte, fixée au milieu de la barre supérieure de la fermette précédente.

La manœuvre de relèvement commence du côté de la culée de gauche; le treuil portatif se fixe sur cette culée pour relever la première fermette; celle-ci étant

debout, sert d'appui au treuil portatif pour relever la seconde fermette, dont la chaîne a été ramenée à la surface avec la première fermette; l'opération se continue de la même manière pour toutes les fermettes successives. Dans cette manœuvre, le pied du treuil portatif s'appuie sur la barre supérieure de la fermette qui précède celle qu'on veut relever, et sa tête s'attache à la barre supérieure de la fermette qui précède cette dernière.

Echappement Kummer (fig. 1, 3 et 19 à 31, pl. IV). — A l'extrémité supérieure du cadre de chaque fermette, et à quelques centimètres seulement au-dessus du niveau de la flottaison, se trouve une barre en fer (fig. 19, 20 et 22, pl. IV), mobile autour d'un axe vertical formé par un étui cylindrique soudé à peu près dans le prolongement du montant d'amont de la fermette; cette barre s'appuie par son autre extrémité sur un poteau-valet vertical (fig. 23 et 24), placé dans l'étui (fig. 25, 26, 29, 30 et 31) de la fermette précédente; dans cette position, la barre mobile constitue l'appui supérieur des aiguilles.

Le poteau-valet, sur lequel doit s'appuyer l'extrémité libre de la barre mobile, est cylindrique sur toute la hauteur de l'étui dans lequel il est engagé, sauf pour la partie inférieure, qui correspond avec l'extrémité de la barre mobile (coupe GH, fig. 24 et 28): cette partie est découpée et présente la forme d'un demi-cylindre. L'étui de la fermette est aussi découpé (coupes IK et LM, fig. 25 et 29, 26 et 31) pour laisser libre passage à l'extrémité de la barre mobile de la fermette précédente, et il en est de même, pour la même raison, de la partie postérieure du manchon de chaque barre mobile (coupes AB et CD, fig. 19 à 22).

La tête du poteau-valet, au-dessus de l'étui, est

carrée (fig. 24), ce qui permet de faire tourner ce poteau au moyen d'une clef, quand on veut laisser la barre mobile s'échapper.

L'amplitude angulaire du mouvement du poteau-valet est limitée à 90° , au moyen d'une vis fixée à ce poteau (fig. 26 et 30). Cette vis traverse librement une rainure de même amplitude pratiquée dans l'étui de la fermette; elle empêche le poteau-valet de sortir de son étui, quand la fermette est couchée.

Comme nous l'avons dit ci-dessus, la barre mobile de chaque fermette est reliée à l'étui de cette fermette, au moyen d'un manchon qui lui permet de tourner librement autour de cet étui; il y a donc en ce point trois cylindres concentriques, savoir : le poteau-valet, l'étui et le manchon de la barre mobile.

Essai de la résistance des fermettes. — L'emploi des fers à section rectangulaire pour la confection des fermettes de la passe navigable, a été prescrit après des essais comparatifs de résistance faits, tant sur une fermette exécutée en fers de cette espèce que sur quatre autres types, composés de fers en T et de fers en U combinés de différentes manières. Les fermettes construites en fers spéciaux, bien qu'étant presque aussi pesantes que les fermettes exécutées au moyen de fers à section rectangulaire, présentaient une rigidité beaucoup moindre que ces dernières, surtout dans le sens perpendiculaire à leur plan.

Une fermette du type adopté ayant été fixée par ses deux tourillons dans un cadre en charpente (fig. 36 et 37, pl. IV), a supporté, sans éprouver de déformation permanente, un effort de 8,000 kilogrammes agissant, dans le plan de la fermette, à la base de l'étui. La pression que les fermettes ont à supporter en ce point, quand elles sont employées dans les barrages

dont la chute est la plus grande, n'est que de 2,000 kilogrammes.

On a fait subir la même épreuve aux fermettes exécutées en fers spéciaux : sous un effort de 2,000 kilogrammes, appliqué à leur extrémité supérieure et agissant dans leur plan, ces fermettes ont commencé à se voiler. Sous un effort de 5,500 kilogrammes, agissant comme il est dit ci-dessus, le bracon de l'une d'elles a pris une flèche de 0^m,115, perpendiculairement à son plan ; les fers de la fermette ont conservé une déformation permanente après l'enlèvement de la charge.

Aiguilles (fig. 1 et 3, pl. IV). Les aiguilles sont en sapin rouge de Riga, elles ont 3^m,75 de longueur, une largeur constante de 0^m,099 et leur épaisseur varie de façon à leur donner une forme d'égale résistance ; cette épaisseur est de 0^m,12 et reste constante sur 0^m,25 de longueur de part et d'autre du point le plus fatigué ; elle se réduit à 0^m,099 vers le bas et à 0^m,09 vers la tête de l'aiguille ; cette tête a 0^m,23 de longueur ; elle est terminée en forme de boule allongée ou de poignée, que l'on peut facilement saisir d'une main.

Les aiguilles sont garnies à leur tête d'un œillet en fer forgé, rivé sur deux petites plaques en tôle, clouées elles-mêmes sur les deux faces opposées de l'aiguille ; cet œillet est destiné à recevoir la corde de manœuvre. Une même corde est passée à travers les œillets des onze aiguilles qui garnissent chaque travée, entre deux fermettes consécutives. L'ensemble de ces aiguilles constitue ce que l'on appelle *un jeu ou une série d'aiguilles*. La corde de chaque série est terminée d'un côté par un gros nœud, qui la retient à l'œillet de la première aiguille ; l'autre extrémité est ramenée en arrière, sous le tablier qui relie les deux fermettes, et

s'attache provisoirement au sommet du montant d'aval de l'une d'elles.

Quand on veut faire une lâchure d'aiguilles, on lie l'extrémité libre de cette corde à une corde beaucoup plus longue qui sert à ramener, soit sur la rive, soit sur la pile, le jeu d'aiguilles entraîné par le courant en aval du barrage, après que l'on a fait tourner le poteau-valet qui retient la barre mobile.

La mise en place des aiguilles se fait sans aucune difficulté : le barragiste placé sur la passerelle, tient l'aiguille par la tête, d'une seule main et la fait glisser sur le bord du tablier, en la penchant un peu vers l'amont jusqu'à une distance convenable ; puis, d'un tour de main, il la fait plonger dans le courant, qui l'amène contre le seuil et contre la barre supérieure.

Essai des aiguilles. Les aiguilles du type adopté pèsent de 24 à 25 kilogrammes chacune. Quelques-unes ont été essayées avant l'emploi, et ont supporté, sans subir aucune altération ou déformation permanente, des charges trois fois plus considérables que celles auxquelles elles sont soumises dans les barrages dont la chute est la plus forte. Dans ces barrages, la tension maximum des fibres extérieures des aiguilles est de 87 kilogrammes par centimètre carré de section. Lors des épreuves, cette tension a été portée à 282 kilogrammes par centimètre carré. Le coefficient d'élasticité, E, des bois employés a varié, d'après les résultats de ces épreuves, de 1,100 à 1,300 kilogrammes par millimètre carré de section.

MODIFICATIONS ET PERFECTIONNEMENTS APPORTÉS EN BELGIQUE, AUX BARRAGES A FERMETTES DU SYSTÈME POIRÉE.

Le perfectionnement le plus important est, sans contredit, l'application aux fermettes de ces barrages,

du système d'échappement des aiguilles, inventé vers 1845, par M. Kummer, alors ingénieur en chef du service spécial de la Meuse. Ce système d'échappement appliqué à tous les barrages à fermettes construits depuis lors sur la Meuse, entre Visé et Namur, a toujours fonctionné d'une manière complètement satisfaisante.

C'est ce système qui a rendu facile l'application aux grandes retenues, des barrages à fermettes et aiguilles; grâce à l'échappement Kummer, cette application n'a plus en effet d'autre limite que le poids que l'on peut donner à chaque aiguille, sans qu'un homme cesse de pouvoir la porter : le placement des aiguilles dans le barrage est, en effet, plutôt une question d'habileté facile à acquérir, qu'une question de force. Quant au débouchage des barrages, il sera toujours facile, quelle que soit la hauteur de la retenue, puisque dans le système Kummer, c'est la pression de l'eau de la retenue qui fait tomber les aiguilles et les pousse en aval du barrage.

Bien que tous les nouveaux barrages actuellement en service sur la Meuse, en amont du village de Rivière, réalisent, quand les eaux d'amont sont au niveau de la flottaison normale, des retenues de 3^m,10 au-dessus du seuil de la passe navigable, retenues plus hautes que celles des plus grands barrages à fermettes existant en France, nous sommes convaincu que nous n'avons pas atteint la limite à laquelle ces barrages cesseraient de fonctionner convenablement et facilement, à la seule condition que les fermettes soient munies de l'échappement Kummer.

Nous croyons qu'il ne sera pas sans intérêt de donner ici un extrait de la lettre que nous avons adressée, sous la date du 30 septembre 1876, à M. Malézieux, alors professeur chargé du cours de navigation intérieure, à l'école des ponts et chaussées de Paris.

Cette lettre contient, en effet, des renseignements utiles pour déterminer la limite d'applicabilité des barrages à aiguilles.

Voici cet extrait :

“ Vous me faites aussi l'honneur de me demander
 “ si je suis convaincu qu'un homme, convenablement
 “ choisi et exercé, pourrait porter et mettre en place
 “ des aiguilles applicables à une retenue de 4^m,00
 “ au-dessus du seuil.

“ Il n'est pas douteux pour moi que cette question
 “ doit être résolue affirmativement. Cette opinion
 “ résulte de l'expérience acquise en faisant manœuvrer
 “ nos barrages à fermettes à grandes retenues. Ces
 “ barrages réalisent, comme vous le savez, 3^m,20 de
 “ retenue réelle au-dessus du seuil ; et cependant les
 “ aiguilles de ces barrages se transportent et se
 “ mettent en place avec une facilité telle, que je suis
 “ convaincu qu'on pourrait augmenter notablement
 “ leurs dimensions, sans cesser de rester dans des
 “ conditions pratiques.

“ J'ajouterai que l'expérience de l'emploi des aiguilles
 “ pour une retenue de 4^m,00 au-dessus du seuil, a été
 “ faite depuis longtemps dans votre pays, à l'ancien
 “ barrage de Pontoise. Je lis, en effet, ce qui suit,
 “ dans un rapport par lequel l'ingénieur en chef Kum-
 “ mer rendait compte d'une mission qu'il avait remplie
 “ en France, en 1845 :

“ Le barrage de Pontoise se compose d'un pertuis
 “ mesurant 12^m,50 d'ouverture ; d'une partie fixe
 “ oblique de 80^m,00 de longueur attenante au bajoyer
 “ de droite du pertuis ; d'une autre partie fixe située
 “ plus à l'amont et à la droite d'une île.

“ Les bajoyers du pertuis mesurent 5^m,25 de hau-
 “ teur. Le radier présente à l'amont une battée
 “ de 0^m,12.

“ Un pont de service, formé de deux poutres réunies au moyen d'étriers en fer, et mesurant 1^m,20 de largeur, repose sur un seuil ménagé dans des battées pratiquées dans les parements des bajoyers. Ce seuil se trouve placé à 1^m,25 en contre-bas du couronnement de ces derniers, et à quatre mètres en contre-haut du radier, élévation qui correspond aux eaux des crues moyennes de l'Oise.

“ Contre la paroi amont du pont de service et contre la battée inférieure du radier, s'appuient des aiguilles qui servent à boucher le pertuis. La longueur de ces aiguilles est de 4^m,50, leur équarrissage de 0^m,12/0^m,12.

“ Les aiguilles sont percées d'un trou à leur partie supérieure. Pour les dégager de leurs points d'appui, l'éclusier introduit un levier dans le trou dont est percée chaque aiguille et, en l'appuyant sur un bloc en bois qu'il a posé sur le pont de service, il soulève l'aiguille jusqu'à ce qu'elle soit dégagée de la battée inférieure, et ainsi entraînée par le courant. Mais la tête de l'aiguille étant retenue au moyen d'un câble, elle est ramenée vers l'amont où elle demeure fixée.

“ Le débouchage s'opère ainsi successivement et par aiguille séparée. Le rebouchage se fait à la main : *l'éclusier de service en décembre 1845, était manchot* et, cependant, il opérait seul le débouchage en 25 minutes, en ce qui concernait le soulèvement des aiguilles, et le rebouchage en une heure. Ce barrage, établi depuis neuf ans, a parfaitement fonctionné.

“ Les aiguilles du barrage de Pontoise devaient peser chacune 42^k environ :

$$4^m,50 \times 0^m,12 \times 0^m,12 \times 650^k = 42^k,12.$$

“ Si la retenue d'eau de 4^m,00 sur le seuil se
“ réalisait sans contre-pression d'aval, les aiguilles de
“ ce barrage devaient fatiguer un peu plus que les
“ aiguilles de 0^m,08 × 0^m,08 d'équarrissage employées
“ au barrage de Martot, pour une retenue de 3^m,00
“ sur le seuil ; cette fatigue est exagérée, même pour
“ des bois de sapin de la meilleure qualité, et, en
“ pareil cas, il y aurait lieu d'augmenter la section
“ des aiguilles.

“ Si j'avais à établir un barrage à aiguilles réali-
“ lisant une retenue de 4^m,00 au-dessus du seuil,
“ sans contre-pression à l'aval de ce seuil, je propose-
“ rais de donner aux aiguilles une forme d'égale résis-
“ tance, analogue à celle que j'ai employée pour les
“ aiguilles des barrages de Hun et de Houx. Ces
“ aiguilles auraient 4^m,65 de longueur totale, y com-
“ pris la poignée ; une largeur constante de 0^m,11 et
“ une épaisseur constante de 0^m,15, sur 0^m,25 à 0^m,30
“ de longueur de part et d'autre du point le plus fati-
“ gué ; cette épaisseur se réduirait à 0^m,10 ou même
“ à 0^m,09 vers les deux extrémités de l'aiguille.

“ Le poids d'une pareille aiguille serait de 41 kilo-
“ grammes environ, et n'atteindrait pas le poids de
“ celles que le barragiste manchot du barrage de
“ Pontoise manœuvrait avec facilité.

“ Je dois ajouter encore que pour une rivière dont
“ le régime serait analogue à celui de la Meuse belge,
“ je ne proposerais l'emploi de barrages à aiguilles
“ réalisant une retenue de 4^m,00 sur le seuil, qu'à
“ la condition d'y adjoindre un déversoir régulateur à
“ hausses d'un débouché assez grand pour régler la
“ retenue dans les conditions ordinaires, et sans qu'il
“ soit nécessaire de faire de trop fréquentes ma-
“ nœuvres d'aiguilles ; sans cette condition, je crain-

« drais qu'un barrage à aiguilles de cette hauteur ne
« fût pas assez étanche. Il faudrait aussi que les fer-
« mettes fussent munies de l'échappement Kummer,
« car je ne pense pas qu'il soit possible d'enlever
« assez rapidement, par les autres procédés en usage,
« des aiguilles de 0^m,11 de largeur qui auraient à
« supporter la pression d'une retenue d'eau de 4^m,00.

« Mais je suis persuadé aussi que, moyennant l'em-
« ploi d'un déversoir régulateur à hausses d'un débou-
« ché convenable, et de fermettes à échappement
« Kummer, on peut éviter, même pour une retenue
« de 4^m,00, tous les inconvénients que l'on repro-
« che ordinairement aux barrages à aiguilles et
« notamment le défaut d'étanchéité; actuellement le
« barrage de Hun réalise une retenue de 3^m,18 avec
« une compression d'aval de 0^m,60 à 0^m,70 sur le seuil,
« et le rideau d'aiguilles de ce barrage est rendu com-
« plètement étanche par les herbages et une faible
« couche de limon qui y ont été amenés par les eaux
« de la rivière. »

Liaison des fermettes entre elles. — Les fermettes du type employé dans les barrages existant en amont de Namur, offrent un autre avantage résultant du mode de liaison de ces fermettes entre elles, au moyen du tablier en tôle servant de passerelle. Ce mode de liaison, qui ne complique et ne retarde en aucune façon la manœuvre d'abatage des fermettes, écarte tout danger et rend notamment impossible la reproduction d'accidents semblables à ceux que l'on a eu à déplorer autrefois et qui se sont produits, il y a quelques années, au barrage de Maizeret et plus récemment au barrage de la Fonderie de canons à Liège, et dans lesquels plusieurs barragistes se sont noyés, parce que les fermettes, qui n'étaient pas convenablement reliées

entre elles, se sont renversées sous les pieds des victimes.

La liaison des fermettes entre elles, par l'intermédiaire des tabliers en tôle, a pour résultat de rendre beaucoup plus rapide la manœuvre d'ouverture de la passe navigable.

Voici comment se fait cette manœuvre pour les barrages établis sur la Meuse en aval de Namur, où ce mode de liaison des fermettes n'existe pas : lorsqu'une crue survient, le barragiste commence par lâcher successivement et à mesure que le débit de la rivière augmente, la moitié seulement des séries d'aiguilles, en ayant soin de refermer chaque fois la barre mobile, qui constitue le seul moyen de liaison des fermettes de ces barrages. On laisse une travée grillée à côté de chaque travée ouverte ; sans cette dernière précaution, les fermettes qui ne supporteraient plus la charge des aiguilles et de la retenue, seraient mises en vibration violente par l'action du courant : les poteaux-valets pourraient tourner d'eux-mêmes et les barres mobiles pourraient se dégager ; les fermettes n'étant plus alors reliées entre elles par les barres mobiles, pourraient se coucher spontanément et entraîner avec elles les ouvriers qui se trouveraient sur la passerelle.

L'obligation de refermer la barre mobile après chaque lâchure, fait toujours perdre beaucoup de temps, parce que, dans cette circonstance, les deux fermettes entre lesquelles on vient de pratiquer une ouverture, sont souvent un peu écartées l'une de l'autre par les pressions latérales des travées voisines, qui sont encore grillées. Cet écartement rend difficile l'introduction de l'extrémité de la barre mobile dans l'entaille de l'étui destinée à la recevoir.

L'échappement de la première moitié des séries d'aiguilles d'un barrage manœuvré dans ces conditions, se fait toujours rapidement et sans difficulté; il n'y a d'autre perte de temps que celle qui résulte de l'obligation de refermer la barre mobile après chaque lâchure.

Quand la première moitié des séries d'aiguilles est lâchée, si la crue continue, on commence à coucher les fermettes et on lâche les séries d'aiguilles qui restent en place, à mesure qu'on y arrive en abattant les fermettes. Cette seconde partie de la manœuvre d'abatage des barrages établis en aval de Namur, se fait toujours beaucoup moins bien que la première : les ouvertures ne pouvant plus être alternées de façon à diriger convenablement les eaux, l'obliquité du courant est quelquefois cause que des séries d'aiguilles viennent s'enchevêtrer dans les fermettes qui ne sont pas encore couchées, et contrarient la manœuvre.

La durée de cette seconde partie de la manœuvre d'abatage est de deux heures et demie, en moyenne, pour un barrage composé de deux travées de 40^m,00 d'ouverture chacune, non compris le temps employé ensuite pour retirer les aiguilles hors de l'eau, et qui est en moyenne de trois heures et demie.

Le remède à l'inconvénient signalé ci-dessus, consiste à relier toutes les fermettes entre elles, autrement que par les barres mobiles, soit au moyen de barres à œillets, soit au moyen d'une disposition particulière des griffes des tabliers, comme nous l'avons fait pour les nouveaux barrages construits dans la Meuse en amont de Namur. Toute crainte de voir les fermettes s'abattre spontanément étant ainsi écartée, on peut lâcher toutes les séries d'aiguilles avant de commencer à coucher les fermettes, et comme la manœuvre peut

alors se faire en alternant convenablement les ouvertures, pour maintenir un courant bien normal à la direction du barrage, on n'a plus à craindre que des séries d'aiguilles viennent s'enchevêtrer dans les fermettes. Avec ce nouveau mode de liaison des fermettes munies de l'échappement Kummer, il ne faudrait, en cas de crue extrêmement rapide ou de tout autre danger pressant, que quelques minutes pour lâcher toutes les aiguilles d'un barrage.

En faisant les manœuvres comme il vient d'être indiqué, on doit abattre les fermettes beaucoup moins fréquemment qu'on ne le faisait avec l'ancien système de manœuvre, parce qu'il arrive souvent que la crue s'arrête avant qu'on ait lâché toutes les séries d'aiguilles.

Clavettes de fermeture des crapaudines d'aval des fermettes. — Une autre amélioration consiste dans le procédé que nous avons employé pour la fermeture de la crapaudine d'aval des fermettes.

Dans les barrages à fermettes établis en aval de Namur, les crapaudines d'aval consistent, comme nous l'avons dit, en de simples demi-cylindres en fonte, ouverts par dessus et évasés ; aussi dans ces barrages, lors des manœuvres d'abatage, suffit-il de la présence d'un corps étranger sur le radier pour faire sortir les fermettes de leurs crapaudines, et une première fermette dérangée est ordinairement cause du dérangement de plusieurs autres parmi celles qui viennent à sa suite. Les fermettes sorties de leurs crapaudines s'enchevêtrent ordinairement les unes dans les autres, et donnent lieu à des avaries considérables de matériel et à de grandes difficultés dans les manœuvres de relèvement, qui subissent ainsi d'assez longs retards. Il résulte d'observations nombreuses faites aux bar-

rages établis en aval de Namur, qu'il faut, en moyenne, dix heures de travail pour relever toutes les fermettes d'un barrage composé de deux travées de 40^m,00 d'ouverture chacune, et pour placer les aiguilles.

Les inconvénients et les retards signalés ci-dessus ne peuvent pas se produire lorsque les fermettes sont solidement maintenues dans les deux crapaudines ; mais comme ces fermettes peuvent éprouver des avaries qui nécessitent leur remplacement immédiat, il était indispensable que l'appareil de fermeture des crapaudines d'aval pût s'ouvrir facilement de la surface, sans qu'il fût nécessaire pour cela de descendre sous l'eau ; cette amélioration est réalisée par l'emploi des crapaudines munies de clavettes transversales, dont la manœuvre est possible, même quand les eaux sont troubles ou froides, et alors que l'on ne peut recourir à l'emploi du scaphandre.

Il résulte d'un grand nombre d'observations faites au barrage de Houx, qu'il ne faut jamais plus de deux heures de travail pour relever les trente-sept fermettes de la passe navigable de ce barrage.

La régularité et la facilité de la manœuvre de relèvement de ces fermettes, doivent être attribuées entièrement à l'emploi des clavettes de fermeture des crapaudines.

Il faut de une heure et demie à deux heures de travail, pour mettre en place les quatre cent cinquante-huit aiguilles de la passe navigable de Houx.

DÉVERSOIR.

Le radier du déversoir (fig. 1, 2, 8, 19, 22 et 23, pl. III) est construit entièrement en maçonnerie ; il a 54^m,60 de

longueur entre le parement de la pile ou de l'épaule-ment de gauche et celui de l'épaule-ment de droite ; sa largeur est de 7^m,00, mesurée entre les faces intérieures des palplanches. Ce radier, établi au niveau de l'étiage, est généralement fondé sur une couche de béton de 0^m,40 d'épaisseur ; il est contenu, en amont et en aval, par deux lignes de pilots et palplanches en bois de chêne, arasées et moisées au niveau du pavement. La couche de béton de fondation est surmontée d'un massif de maçonnerie en moellons bruts, sur lequel est placé le radier proprement dit, composé de deux chaînes ou files de pierres de taille et d'un pavement en moellons piqués ; ces deux dernières parties du radier ont ensemble 1^m,60 d'épaisseur.

Le seuil (fig. 1, 29 et 30, pl. V) destiné à recevoir les crapaudines jumelles des hausses et à servir d'appui au pied de ces dernières, est en bois de chêne ; son équarissage est de 0^m,40 sur 0^m,34 ; il est encastré dans une feuillure ménagée dans la pierre de taille et retenu dans cette feuillure au moyen d'ancres-boulons et d'écrous à fourches scellés dans la pierre. Une bordure en tôle, fixée par des vis, protège la partie du seuil qui fait saillie au-dessus du radier.

Une longrine en chêne qui porte la barre à talons, (fig. 1, pl. V) est encastrée dans une feuillure creusée dans les pierres de la chaîne d'aval du radier. Elle y est solidement fixée par des boulons-doguets.

Un seuil en bois de chêne, de 0^m,25 sur 0^m,25 d'équarrissage, destiné à recevoir les crapaudines d'amont des fermettes de la passerelle (fig. 1, pl. V), est fixé directement, au moyen d'armatures en fer, sur les moises de la ligne de pilots et palplanches d'amont.

Des dés de batardeau en bois de chêne, au nombre

de trente-neuf, sont maçonnés dans la partie d'aval du radier, suivant une ligne parallèle aux ventrières.

La Pile (fig. 1, 2, 3 et 4, pl. III) qui, dans plusieurs barrages, sépare la passe navigable du déversoir, est composée d'un corps rectangulaire, de 12^m,52 de longueur sur 3 mètres de largeur, terminé, vers l'amont, par un avant-bec à section horizontale ogivale de 2^m,60 de longueur. La pile repose sur une fondation semblable à celle du radier de la passe navigable.

En élévation, la pile contient une enclave destinée à recevoir la première fermette de la passe navigable, un puits pour le treuil de manœuvre de la barre à talons du déversoir, et une enclave pour recevoir la première fermette du déversoir. Les enclaves sont recouvertes par des paliers fixes en fonte, portant les fausses-fermettes et leurs tabliers.

Des taques mobiles en fonte (fig. 7, pl. VI) recouvrent la chambre du treuil de manœuvre de la barre à talons.

Un palier de 1^m,05 de largeur est ménagé dans la partie d'aval de la pile, à 0^m,50 environ au-dessus de la flottaison d'aval. Ce palier est mis en communication avec le couronnement de la pile, au moyen d'un escalier d'une dizaine de marches, qui a la même largeur que la pile.

Tous les parements de la pile sont exécutés en pierre de taille et en moellons piqués. Les maçonneries de remplissage, au-dessus des fondations, sont en briques.

Épaulement de gauche. — Dans certains barrages, le déversoir est terminé du côté gauche par un épaulement (fig. 18, 19, 20 et 21, pl. III), qui renferme le puits du treuil de manœuvre de la barre à talons et l'enclave destinée à recevoir la première fermette du déversoir; cette enclave a 1^m,72 de largeur sur 2^m,40 de profondeur.

Cet épaulement se compose d'un corps rectangulaire en maçonnerie, de 9^m,38 de longueur sur 4^m,20 de largeur ; il est fondé de la même manière que le radier du déversoir.

En élévation, les maçonneries de remplissage sont en briques et les parements vus sont en pierre de taille et en moellons piqués.

L'épaulement de droite du déversoir (fig. 1, 2, 8, 9, 22 et 23, pl. III) est composé d'un corps rectangulaire en maçonnerie, de 3^m,50 à 3^m,85 de hauteur, et d'un escalier accolé à son parement d'amont, fondés tous deux de la même manière que le radier du déversoir ; cet épaulement a 4^m,20 de largeur et 5 mètres de longueur dans le sens du courant. On y a ménagé un puits destiné à recevoir le treuil de manœuvre de la barre à talons.

Les parements vus sont exécutés en pierre de taille et en moellons piqués.

MÉCANISMES DE FERMETURE DU DÉVERSOIR.

La fermeture du déversoir se fait au moyen de hausses mobiles du système de M. l'ingénieur en chef Chanoine (fig. 1, pl. V).

Une passerelle sur fermettes, destinée à faciliter le relèvement des hausses et à permettre le règlement de la retenue, est établie devant les hausses (fig. 1 à 12, pl. V).

Hausses. — Les hausses, au nombre de 39 pour chaque déversoir, sont formées d'une charpente en bois de chêne convenablement consolidée par des ferrures (fig. 13, 14 et 15, pl. V) ; elles ont 2^m,35 de longueur

réelle et 1^m,30 de largeur; l'intervalle entre deux hausses consécutives est de 0^m,10, et cet intervalle peut, lors des basses eaux, être complètement fermé au moyen d'une planche, qui le recouvre en s'appuyant sur les deux hausses.

Quand les hausses sont dressées, leur sommet se trouve au niveau de la flottaison normale du barrage, lequel correspond à une hauteur verticale de 2^m,25 au-dessus des deux seuils du déversoir.

Chaque hausse est portée par un chevalet quadrangulaire en fer (fig. 39, 40 et 41, pl. V), dont les deux bases horizontales sont prolongées, en dehors des montants, par des tourillons; les deux tourillons inférieurs du chevalet s'engagent dans deux crapaudines jumelles fixées au seuil du radier (fig. 34, 35 et 36, pl. XIII), et y sont maintenus par un coin en bois (fig. 31, 32 et 33, pl. V). Les deux tourillons supérieurs du chevalet s'engagent dans deux colliers en fer (fig. 44 et 45, pl. V), qui sont eux-mêmes boulonnés sur les montants de la hausse (fig. 14 et 15, pl. V).

La traverse supérieure du chevalet porte, en son milieu, deux oreilles en fer traversées par un gros boulon qui sert à relier au chevalet, par articulation libre, un arc-boutant aussi en fer (fig. 37 et 38, pl. V).

Quand le chevalet est levé, le pied de l'arc-boutant vient s'appuyer contre un heurtoir en fonte, suivi d'une glissière, scellés tous deux solidement dans le radier (fig. 23 à 28, pl. V); dans cette position, l'ensemble du chevalet et de l'arc-boutant constitue un trépied invariable de forme, dont le sommet porte la hausse (fig. 1, pl. V).

Chaque hausse a ainsi deux axes de rotation horizontaux, l'un au pied du chevalet et l'autre à la tête de celui-ci; ce chevalet est fixé à la hausse par des col-

liers, à quelques centimètres au-dessus du tiers de la hauteur de celle-ci.

Quand on fait perdre à l'arc-boutant d'une hausse l'appui qu'il trouve contre son heurtoir, celle-ci, poussée par les eaux de la retenue, se couche sur le radier en tournant autour des deux axes du chevalet. Des saillies ménagées dans les pierres du radier, la forme des colliers et celle de l'arc-boutant sont combinées de façon à soutenir la hausse couchée à quelques centimètres au-dessus du radier, afin de ménager un passage libre pour la barre à talons dont il est parlé ci-après (fig. 1, pl. V, partie en traits pointillés).

Barre à talons. — Pour rabattre les hausses du déversoir sur le radier, on fait perdre appui à leurs arcs-boutants. A cet effet, on se sert d'une barre mobile en fer, placée un peu au-dessus du niveau du radier, et munie de talons qui viennent, quand on met la barre en mouvement, saisir successivement le pied de chacun des arcs-boutants et font glisser ceux-ci transversalement de façon à les dégager de leur heurtoir. Cette barre porte le nom de barre à talons (fig. 12, 13, 14, 15 et 16, pl. VI). Il y a deux barres à talons pour chaque déversoir, et chacune d'elles est manœuvrée par un treuil vertical, fixé dans un puits ménagé dans la pile et dans l'épaulement de droite du déversoir (fig. 1 et 2, pl. VI). Le pignon inférieur de ce treuil (fig. 17 et 18, pl. VI) agit sur une crémaillère fixée l'extrémité et dans le prolongement de la barre à talons. Tous deux s'engagent dans une crapaudine-guide scellée dans une pierre de taille, au fond du puits (fig. 9, 10 et 11, pl. VI).

Le puits qui contient le treuil de manœuvre, est fermé au moyen de plaques de recouvrement en fonte, que l'on peut enlever facilement (fig. 7, pl. VI).

Treuil portatif. — Pour relever les hausses, alors qu'elles sont couchées sur le radier, on se sert d'un treuil portatif (fig. 52, 53, 54 et 55, pl. VI) que l'on place sur la passerelle établie en amont des hausses.

Ce treuil agit sur une chaîne fixée à la culasse de la hausse et soulève cette hausse en la faisant tourner autour de ses deux axes de rotation, jusqu'à ce que l'arc-boutant, guidé par une glissière, retombe contre son heurtoir (fig. 23 à 28, pl. V).

Quand le chevalet est dressé et maintenu par l'arc-boutant, la hausse peut basculer autour des tourillons supérieurs de ce chevalet; des arrêts, faisant corps avec les colliers de la hausse (fig. 44 et 45, pl. V), limitent l'angle de bascule de celle-ci, en venant s'appuyer contre les montants des chevalets; pour les barrages de la Meuse, les arrêts sont disposés de façon que les hausses en bascule restent inclinées vers l'amont, en faisant un angle de 21° au-dessus de l'horizontale (fig. 1, pl. V).

Dans les circonstances ordinaires, les hausses mobiles basculent spontanément autour de leur axe de rotation, dès que les eaux en amont du barrage s'élèvent à $0^{\text{m}},15$ environ au-dessus de la flottaison normale, correspondant à la crête des hausses dressées. Ces hausses restent en bascule jusqu'à ce que le niveau des eaux, en amont du barrage, se soit abaissé suffisamment pour provoquer leur redressement spontané.

Ordinairement, après une crue, le barragiste redresse successivement, au moyen d'un crochet, les hausses qui s'étaient mises en bascule, et cela dès que le niveau d'amont est descendu de quelques centimètres en-dessous du niveau de la flottaison normale; cette manœuvre de redressement des hausses se fait avec la plus grande facilité, du haut de la passerelle.

Il ne faut que quelques minutes pour abattre les hausses du déversoir au moyen des barres à talons.

La manœuvre de relèvement est plus lente ; elle exige ordinairement une journée entière, y compris le temps employé à relever la passerelle.

Mais il est à remarquer qu'il ne peut résulter de là aucun inconvénient, parce que, après les crues, les eaux de la Meuse baissent avec une extrême lenteur et que l'on a toujours beaucoup plus de temps qu'il ne faut pour achever les manœuvres de relèvement des nouveaux barrages avant que la navigation puisse être contrariée par un trop grand abaissement du niveau des eaux.

MODIFICATIONS ET PERFECTIONNEMENTS APPORTÉS EN
BELGIQUE AUX BARRAGES A HAUSSES DU SYSTÈME
CHANOINE.

Vannes-papillons. En 1869, M. l'inspecteur général Dumon, alors ingénieur en chef de la province de Namur, proposa d'adapter aux hausses des déversoirs en construction à La Plante, à Tailfer et à Rivière, les vannes-papillons que M. Krantz, ingénieur en chef au corps des ponts et chaussées de France, avait appliquées l'année précédente aux hausses du nouveau système de barrages mobiles dont il est l'inventeur. Cette proposition fut approuvée en suite d'expériences faites au moyen d'une hausse, construite en vraie grandeur, que l'on avait installée sur la Lesse, à Auseremme, où l'on disposait de la chute des usines Saint-Jean.

Ces expériences firent constater que les hausses ordinaires du système Chanoine, construites comme devaient l'être celles des barrages de la Meuse, après avoir basculé sous une lame d'eau déversante de $0^m,15$ d'épaisseur, ne se redressent que lorsque le niveau des eaux d'amont descend à $0^m,10$ environ sous la crête de la volée de la hausse basculée. Cette loi est générale, quelle que soit l'inclinaison que l'on ait laissé prendre à la hausse en bascule. Ainsi, si la hausse peut basculer de façon à ce que la crête de sa volée s'abaisse de $1^m,00$ en-dessous de la flottaison d'amont, il faut que l'eau du bief supérieur s'abaisse de $1^m,10$ sous la flottaison avant que la hausse se redresse spontanément.

On évida ensuite toute la partie centrale de la volée et on y installa une vanne-papillon en fer, qui étant ouverte, faisait un angle de 45° avec le plan de la hausse (fig. 13, 14, 15, 16, 48, 49, 50 et 51, pl. V).

On constata, par une série d'expériences, que pour obtenir le relèvement spontané de la hausse, sans un trop grand abaissement du niveau des eaux du bief, il fallait que le plan de la hausse en bascule fût incliné vers l'amont de 21° par rapport à l'horizontale; la crête de la volée se trouvait alors à $0^m,50$ au-dessus de la position correspondant à la hausse basculée horizontalement. Dans ces conditions, la hausse munie de la vanne-papillon se redressait spontanément, quand le niveau d'amont s'abaissait de $0^m,35$ à $0^m,40$ sous la flottaison normale.

Cette modification a été appliquée à toutes les hausses des barrages de la Meuse; elle présente des avantages et des inconvénients.

Les hausses munies de la vanne-papillon sont plus faciles à redresser que les hausses ordinaires, quand

elles se sont mises en bascule. Les vannes elles-mêmes sont utiles pour régler commodément la retenue, lors des petites crues, sans qu'il soit nécessaire de laisser basculer totalement quelques grandes hausses ou d'en faire basculer partiellement un certain nombre.

Dans la pratique, les hausses ainsi modifiées ne suffisent pas pour régler automatiquement la retenue d'un barrage. Voici ce que l'on observe : quand après une crue, les eaux commencent à décroître, quelques-unes des hausses qui s'étaient mises en bascule peuvent se redresser spontanément, avant que le niveau d'amont descende sensiblement sous le niveau de la flottaison normale. Le débit de la rivière continuant à décroître, le niveau de l'eau en aval du barrage s'abaisse, et bien que la contre-pression sur la culasse diminue, les hausses restées en bascule ne se redressent pas, alors même que le niveau d'amont s'abaisse à un niveau tel, que la navigation pourrait être gênée ; dans ces circonstances, pour éviter un abaissement trop considérable du bief d'amont, on est obligé de redresser successivement, au moyen d'un crochet, du haut de la passerelle, la plupart des hausses qui s'étaient mises en bascule. Cette manœuvre, qui se fait avec grande facilité, ne donne lieu à aucun inconvénient, car, si les crues de la Meuse sont parfois très rapides, la décroissance des eaux de cette rivière est toujours très lente, et le barragiste a beaucoup plus de temps qu'il n'en faut, pour redresser successivement les hausses qui étaient en bascule et empêcher les eaux du bief d'amont de descendre en-dessous de la cote normale.

Nous avons vu que les hausses sont construites de telle façon qu'elles se mettent en bascule en restant inclinées vers l'amont, et en faisant un angle de 21° avec

l'horizontale. C'est là un inconvénient assez sérieux, car les hausses ainsi basculées obstruent une partie notable du débouché vertical libre du déversoir; de là résulte la nécessité d'abattre les barrages, lors des crues, plus tôt que si les hausses pouvaient se mettre en bascule dans une position presque horizontale.

L'inclinaison que les hausses des barrages de la Meuse peuvent prendre quand elles se mettent en bascule, est limitée à 21° par des arrêts faisant corps avec leurs colliers et qui viennent s'appuyer sur les chevalets. Quand on relève une hausse du haut de la passerelle, ces arrêts rencontrent le chevalet longtemps avant que le relèvement soit complet; la hausse se comporte alors comme si elle faisait corps avec le chevalet, et la rotation ne se fait plus qu'autour des tourillons inférieurs de celui-ci; cette circonstance rend la manœuvre de relèvement des hausses plus difficile et oblige souvent les aides-barragistes à tirer, au dernier moment, la hausse par la volée pour amener l'arc-boutant contre son heurtoir; et cette manœuvre n'est pas sans danger.

Barre à talons et son treuil de manœuvre. — Le mouvement des barres à talons des barrages de la Meuse est assez souvent empêché, notamment par des pierres ou des galets que les eaux introduisent et calent, soit sous la barre, soit dans les glissières. Pour diminuer autant que possible les inconvénients sérieux qui peuvent résulter d'un arrêt de la barre à talons, au moment où l'on voudrait abattre les hausses, lors d'une crue, on a donné, dans les nouveaux barrages, à cette barre et aux treuils destinés à la manœuvrer, des dimensions très fortes. Les treuils, notamment, ont été calculés pour pouvoir transmettre à la barre à talons des efforts de 12,000 à 15,000 kilogrammes, capables d'écraser ou d'arracher les obstacles ordi-

naires qui pourraient entraver son mouvement.

Les barres portent des contre-talons espacés régulièrement à 1^m,40 l'un de l'autre, et destinés à empêcher l'échappement spontané des arcs-boutants, quand le barrage est relevé. Les barres étant repoussées à l'extrémité de leur course, chaque contre-talon vient se placer à côté du front du heurtoir correspondant et en face de l'entrée de la glissière, et empêche l'arc-boutant de glisser de ce côté et de s'échapper.

Agrafes du radier. — Les colliers des hausses viennent s'appuyer, quand celles-ci sont couchées, sur de grosses agrafes en fer scellées dans le radier (fig. 46 et 47, pl. V); sans cette précaution, ces colliers ne tarderaient pas à creuser des cavités dans les pierres du radier contre lesquelles ils sont constamment pressés et frottés, sous l'action de la chute d'eau qui s'exerce à la surface des hausses. Ces cavités se produisant, la hausse couchée se rapprocherait de plus en plus de la barre à talons qu'elle ne tarderait pas à atteindre, et qu'elle pourrait casser lors des manœuvres d'abatage, ou, tout au moins, empêcher de fonctionner; cet inconvénient s'est produit aux barrages à hausses de La Plante, de Tailfer et de Rivière, et il est cause, en partie, des difficultés que l'on rencontre dans la manœuvre des passes navigables de ces barrages.

Appareils pour faire des chasses dans le puits du treuil de manœuvre (fig. 1, 2, 3, 4, 5 et 6, pl. VI). — Malgré toutes les précautions que l'on prend, il arrive souvent, surtout pendant les crues, que du gravier s'introduit en quantité considérable dans les puits où sont installés les treuils de manœuvre de la barre à talons. Nous avons paré, dans les nouveaux barrages, aux inconvénients qui pouvaient résulter de la présence

du gravier accumulé sur le pignon du treuil et sur la crémaillère de la barre à talons, en installant, dans chaque puits, un appareil de chasse mis en communication avec la retenue d'amont ; cet appareil se compose d'un tuyau en fonte de 0^m,10 de diamètre intérieur, placé dans les maçonneries de l'épaulement, à quelques décimètres en-dessous de la flottaison d'amont ; l'extrémité de ce tuyau, qui débouche dans l'eau du bief d'amont, est munie d'une vanne que l'on peut ouvrir et fermer à la main ; à l'intérieur du puits, le tuyau horizontal de prise d'eau se prolonge par un coude en fonte courbé à 90°, et prolongé lui-même par un tuyau en fer étiré, qui descend jusqu'au fond du puits et à quelques centimètres au-dessus de la crémaillère. Le tuyau coudé est assemblé avec le tuyau horizontal fixé dans les maçonneries, par un collier à rainures qui permet au tuyau vertical qu'il porte, de décrire un angle de 90° environ dans le plan vertical passant par l'axe de la crémaillère ; on peut ainsi amener, à volonté, sur tous les points de celle-ci, le jet d'eau qui sort du tuyau de chasse avec la vitesse due à toute la hauteur de la chute du barrage. Les eaux amenées de cette façon s'écoulent par l'orifice qui donne passage à la barre à talons, et empêchent l'introduction, dans le puits, des graviers et autres matériaux charriés par les eaux de la rivière.

MODE DE FONCTIONNEMENT D'UN BARRAGE DE LA MEUSE
COMPOSÉ D'UNE PASSE NAVIGABLE A FERMETTES ET D'UN
DÉVERSOIR A HAUSSES.

Supposons qu'il s'agisse de relever le barrage après les crues de l'hiver.

Aussitôt que les eaux en amont du barrage, sont descendues au niveau correspondant à la flottaison normale, soit à la cote 2^m,50 au-dessus de l'étiage, on relève, au moyen du treuil portatif, les fermettes de la passe navigable, puis celles du déversoir.

La communication étant ainsi établie d'une rive à l'autre, on relève, du haut de la passerelle, les hausses du déversoir, et on les tient en bascule, en attachant la chaîne de culasse de chacune d'elles à la fermette correspondante.

Le niveau des eaux continuant à s'abaisser, on place quelques aiguilles devant les fermettes de la passe navigable, de façon à rétrécir le débouché, et à maintenir toujours le niveau des eaux en amont du barrage, à la cote de flottaison. A mesure que le débit de la rivière diminue, on place de nouvelles aiguilles, jusqu'à ce que toutes les travées de la passe navigable soient entièrement grillées et ne laissent plus passer que très peu d'eau. En ce moment, le débit entier de la rivière passe par le déversoir, dont les hausses sont presque toutes en bascule; le débit continuant à diminuer, quelques hausses se redressent spontanément, puis le barragiste maintient les eaux à flottaison en redressant successivement les autres hausses.

Il se sert, à cet effet, d'un crochet, au moyen duquel il saisit la volée de la hausse à redresser.

Toutes les vannes-papillons sont restées ouvertes; l'éclusier les ferme, en se servant d'une gaffe, à mesure que le débit diminue.

Le débit de la rivière devenant de plus en plus petit, on place des couvre-joints sur l'entre-deux des hausses du déversoir, et le débit presque tout entier se déverse par dessus la crête de ces hausses.

La passe navigable, complètement grillée depuis

l'époque du premier relèvement, est devenue parfaitement étanche, parce que les petits joints, qui pouvaient exister à l'origine entre les aiguilles, sont obstrués par les herbes, les menus branchages et même le limon que les eaux de la rivière charrient après les crues.

Pendant l'été, le règlement de la retenue se fait au moyen des vannes-papillons que le barragiste ouvre et ferme facilement, au moyen d'une gaffe, et en se plaçant sur la passerelle.

S'il survient une crue, quelques hausses du déversoir se mettent d'elles-mêmes en bascule. Si la crue augmente jusqu'à mettre en bascule toutes les hausses du déversoir, on fait quelques ouvertures dans la passe navigable, en lâchant successivement autant de séries d'aiguilles qu'il est nécessaire pour maintenir les eaux d'amont à une faible hauteur au-dessus de la flottaison, et en ayant soin d'alterner les ouvertures symétriquement, pour maintenir le courant de la rivière bien normal à la direction du barrage, et pour éviter des affouillements.

Le barragiste suit ainsi la crue dans son mouvement ascendant, et augmente successivement le débouché du barrage.

Quand, par suite de l'augmentation du débit de la rivière, la chute des eaux, de l'amont à l'aval du barrage, est réduite à 0^m,40, on lâche les dernières séries d'aiguilles qui peuvent encore se trouver en place; on abat les hausses au moyen de la barre à talons, puis on couche les fermettes du déversoir; enfin, la crue continuant, on couche les fermettes de la passe navigable.

RÉSULTATS PRATIQUES OBTENUS PAR L'EMPLOI DES
NOUVEAUX BARRAGES.

Nous avons vu ci-dessus, que lors des crues, les barrages à hausses doivent se coucher beaucoup plus tôt que les barrages du nouveau système, et que, lorsque les eaux baissent, ils ne peuvent se relever qu'assez longtemps après ces derniers.

L'écart entre les cotes d'eau qui correspondent aux manœuvres de relèvement et d'abatage des deux systèmes de barrages, est tel, que depuis le 17 avril 1877, jusqu'au 5 novembre 1878, les barrages de Hun et de Houx, composés d'une passe navigable à fermettes et aiguilles et d'un déversoir à hausses, n'ont dû être abaissés que deux fois et sont restés couchés, tous deux, pendant dix-sept jours en tout, tandis que dans la période correspondante, du 21 avril 1877 au 25 octobre 1878, les barrages à hausses de La Plante, de Tailfer et de Rivière, ont dû être abattus cinq fois et sont demeurés couchés pendant cent seize jours en tout.

Pour le batelage, la différence entre les parties de la Meuse qui sont canalisées au moyen de barrages à hausses, et celles où sont établis les barrages du nouveau système, se traduit par la nécessité d'employer sur les premières, pendant de longs mois, pour la traction des bateaux en remonte, des chevaux de halage en nombre beaucoup plus considérable que sur les autres parties de la rivière. Cet effet est dû à ce que les barrages du nouveau système peuvent être tenus levés, même pendant les crues assez fortes, et suppriment ainsi une partie notable de la pente et de

la vitesse des eaux, par les chutes locales qu'ils produisent.

Les barrages de Hun et de Houx sont en service régulier depuis le commencement de l'année 1876; depuis cette époque jusqu'à ce jour, chacun de ces barrages a été manœuvré complètement une dizaine de fois, tant pour l'abatage que pour le relèvement, et toutes ces manœuvres se sont faites avec une remarquable facilité, sans donner lieu à des retards préjudiciables à la navigation, ou à l'écoulement des crues, sans bris ni perte de matériel.

Les mécanismes des passes navigables, notamment, se sont maintenus en parfait état, et sauf deux ou trois fermettes qui ont été faussées dans les manœuvres et que l'on a remplacées avec la plus grande facilité, toutes les parties mobiles de ces deux barrages sont absolument intactes.

On n'a pas constaté une seule rupture d'aiguille sous charge, et sauf quelques aiguilles perdues ou avariées dans les manœuvres, les approvisionnements sont encore au complet.

DÉPENSE D'EXÉCUTION.

La dépense d'exécution a été estimée comme suit pour les barrages éclusés de Dinant et d'Anseremme, représentant deux types distincts, tant pour la disposition des écluses que pour celle des barrages.

Barrage éclusé de Dinant.

	FR.	C.
Ecluse de 100 mètres de longueur utile et 12 mètres de largeur libre	370681	51

Estacade de 50 mètres de longueur établie en amont de l'écluse	15375	36
Travaux et fournitures diverses.	2538	70
Passé navigable de 45 ^m ,81 de longueur	110984	46
Pile	19436	25
Déversoir de 54 ^m ,60 de longueur	136604	25
Epaulement	9417	56
Travaux aux abords de l'écluse et du barrage, et travaux en lit de rivière.	171647	42
Matériel de rechange	14741	58
Maison d'éclusier	10732	44
Id. d'aide-éclusier	7172	34
Hangar	3609	51
Abords des maisons d'éclusier et d'aide-éclusier	1757	25
Total général.	874698	63

Barrage éclusé d'Anseremme.

	FR.	C.
Ecluse de 100 mètres de longueur utile et 12 mètres de largeur libre.	341095	90
Travaux et fournitures diverses.	2538	70
Passé navigable de 43 ^m ,41 de longueur	103045	09
Epaulement de gauche de la passe navigable	9628	73
Epaulement de droite de la passe navigable	12761	83
Déversoir de 44 ^m ,60 de longueur	137134	63
Epaulement de droite du déversoir.	8268	53
Epaulement de gauche du déversoir	13042	64

Travaux aux abords de l'écluse et du barrage, et travaux en lit de rivière.	193995	81
Matériel de rechange	14741	58
Maison d'éclusier	10732	44
Maison d'aide-éclusier	7172	34
Hangar	3609	51
Abords des maisons d'éclusier et d'aide-éclusier	1385	11
Total général.	859152	87

Ces estimations correspondent assez exactement, pour chacun des types, à la moyenne des dépenses occasionnées par la construction des six barrages éclusés de ce système exécutés dans la Meuse, entre le village de Rivière et la frontière française.

Ces estimations donnent les prix suivants, par mètre courant, pour les diverses parties du barrage.

PASSE NAVIGABLE.

	FR.	C.
Partie fixe	1727	47
Partie mobile (fermettes, aiguilles et accessoires	695	24
Prix total d'un mètre courant.	2422	71

DÉVERSOIR.

	FR.	C.
Partie fixe	1223	70
Hausses et tous leurs accessoires	856	44
Passerelle sur fermettes	421	77
Prix total d'un mètre courant.	2501	91

Ces prix ne sont pas élevés, en présence surtout de la hauteur considérable de la retenue réalisée par les barrages que ces prix concernent.

Tableau indicatif des dépenses effectuées pour la canalisation de la Meuse, entre Namur et la frontière française.

NUMÉROS D'ORDRE.	NOMS des BARRAGES.	RABAIS ou MAJORATION p. % sur les prix d'estimation.		MONTANT DES DÉPENSES POUR						DÉPENSES			
		les travaux prévus.	les travaux supplémentaires ou les travaux supprimés.	l'ensemble des travaux.	les expropriations.	les indemnités pour suppression ou dépréciation d'usines et autres propriétés.	dragages et travaux accessoires dans le bief amont de chaque barrage.	totales par barrage.	Observations.				
1	La Plante	FR. C.	FR. C.	FR. C.	FR. C.	FR. C.	FR. C.	FR. C.	FR. C.	FR. C.			
2	Tailfer	430,823 60	222,163 67	652,989 27	»	»	34,236 74	687,226 01					
3	Rivière	461,426 97	163,077 34	624,504 31	14,524 75	100,276 90	22,002 22	761,308 18					
4	Hun	466,830 94	255,330 83	722,161 77	42,724 45	11,986 60	9,301 07	786,173 59					
5	Houx	958,823 44	-15,623 77	943,199 67	37,725 60	48,958 04	16,870 79	1,046,754 10					
6	Dinant	891,170 56	-64,134 91	827,041 65	11,999 27	1,044 05	11,778 07	851,773 04					
7	Anseremme	813,226 62	7,074 34	820,300 96	57,188 60	131,930 14	16,704 61	1,026,124 31					
8	Waulsort	798,773 38	87 25	798,860 63	37,663 30	10,599 23	20,620 53	867,743 69					
9	Hastière	824,660 54	-47,558 62	777,101 92	65,932 72	»	16,177 84	850,212 48					
	Totaux	6,412,440 51	504,377 79	6,916,818 30	309,731 84	306,594 96	171,911 80	7,795,056 90					
						Total général.							

Les traitements du personnel subalterne chargé de la surveillance des travaux et du personnel de bureau ont absorbé, pour les neuf barrages, une somme de 90,000 francs environ.

Les comptes relatifs aux indemnités pour dépréciation de propriétés et ceux relatifs aux travaux de construction des barrages de Waulsort et d'Hastière ne sont pas définitivement arrêtés.

Le tableau ci-dessus donne le relevé des sommes dépensées ou engagées, à la fin de l'année 1879, pour la canalisation de la Meuse, entre Namur et la frontière française.

Ces sommes s'élèvent au chiffre de 7,795,000 francs qui devra être augmenté de la valeur de quelques indemnités non encore liquidées pour dépréciation de propriétés, du montant de quelques décomptes relatifs aux travaux des barrages de Waulsort et d'Has-tière, et enfin de la valeur probable des travaux d'amélioration restant à faire et notamment des travaux de transformation et d'amélioration des barrages de La Plante, de Tailfer et de Rivière.

Il y a lieu de croire qu'en somme, les dépenses totales effectuées et restant à effectuer pour achever complètement la canalisation de la Meuse entre Namur et la frontière française, ne dépasseront guère le montant des crédits partiels alloués jusqu'à ce jour pour cet objet et qui s'élèvent ensemble à la somme de 8,100,000 francs.

DÉPENSE KILOMÉTRIQUE.

La partie de la Meuse qui s'étend depuis l'aval du barrage de La Plante, à Namur, jusqu'à la frontière française, a une longueur de 46 kilomètres.

Les dépenses de toute espèce effectuées pour la canalisation de cette partie de la rivière s'élèveront, en moyenne, à 176,000 francs environ par kilomètre.

Cette dépense est des plus modérées, si l'on tient compte surtout des grandes dimensions données aux écluses et de l'augmentation considérable de prix qui en résulte.

C'est ce que fait ressortir la comparaison avec les dépenses kilométriques relatives à la canalisation

de quelques autres rivières de notre pays, et données ci-après.

La Meuse canalisée depuis Namur jusqu'à la frontière des Pays-Bas. — D'après l'exposé de la situation du trésor public au 1^{er} janvier 1879, la somme totale des crédits alloués pour la canalisation de la Meuse, depuis la frontière de France jusqu'à la frontière de Hollande, s'élève à fr. 22.818,312-84, déduction faite d'un excédant de crédit annulé de fr. 352,405-16. Dans la somme indiquée ci-dessus, les travaux exécutés ou à exécuter en amont de Namur sont compris pour une somme de 8,100,000 francs.

La canalisation de la partie de la Meuse comprise entre Namur et Visé a donc absorbé une somme de fr. 14,718,312-84, fournie par les caisses de l'État. A cette somme il y a lieu d'ajouter les subsides s'élevant ensemble à 1,370,000 francs, alloués par la province et par la ville de Liège et le crédit de 1,000,000 fr., alloué par l'art. 17 de la loi du 4 août 1879.

La dépense totale s'élève donc à fr. 17,088,312-84, soit pour une longueur de 82^k,1, une dépense kilométrique moyenne de fr. 208,140-23.

Il est vrai que la somme indiquée ci-dessus comprend les dépenses faites pour l'amélioration de l'écoulement des eaux de la Meuse dans la traverse de la ville de Liège, mais d'autre part, nous avons compté dans la longueur de 82^k,1, comme faisant partie de la rivière canalisée, la section de 10^k,4 qui s'étend entre le barrage de la Fonderie de canons à Liège et le barrage de Hermalle-sous-Argenteau. Pour achever la canalisation de cette section de la rivière, il reste à y établir deux barrages éclusés.

De plus, les écluses de la Meuse en aval de Namur n'ont que 56^m,75 de longueur utile et 9^m,00 de largeur et ont été estimées, chacune, à 198,000 francs

environ, tandis que l'estimation moyenne des grandes écluses établies en amont de Namur est de 372,000 fr. environ.

En outre, à l'époque où l'on a canalisé la Meuse en aval de Namur, les matériaux de construction et la main-d'œuvre n'avaient pas atteint les prix élevés qui ont dû être admis pour les travaux établis en amont de Namur.

La Sambre canalisée depuis Namur jusqu'à la frontière française. — Les travaux de canalisation de cette rivière ont été terminés en 1828; ils ont occasionné, tant au gouvernement belge qu'au gouvernement néerlandais, une dépense totale de fr. 13,071,341-74, soit pour une longueur totale de 94 kilomètres une dépense kilométrique moyenne de 139,000 francs environ.

Toutes les écluses de la Sambre ont 5^m,20 de largeur libre; les neuf premières écluses, de la frontière française à Landelies, n'ont que 37^m,40 de longueur utile; les treize écluses comprises entre Landelies et Namur ont 45^m,65 de longueur utile. Aux prix actuels, une écluse du premier type peut être estimée à la somme de 75,000 francs environ; une écluse du second type coûterait 100,000 francs.

Depuis 1851, des crédits s'élevant ensemble à fr. 2,759,845-87, ont été alloués par diverses lois, pour porter le mouillage de la Sambre à 2^m,10 au minimum; le prix kilométrique de ces travaux d'approfondissement s'élève donc en moyenne à 29,300 francs environ.

Dans leur état actuel, les travaux de canalisation de la Sambre ont nécessité une dépense totale de fr. 15,831,187-61, soit une dépense kilométrique moyenne de 168,400 francs.

Tableau des débits de la Meuse, observés à Tailfer en amont de Namur, pour des hauteurs d'eau croissant de 0^m,10 en 0^m,10.

HAUTEUR D'EAU par rapport à l'étiage.	DÉBITS correspondants de la Meuse, observés à Tailfer.
	Mètres cubes.
— 0.20	24,2
— 0.10	34,1
0.00	46,0
0.10	56,9
0.20	69,7
0.30	83,4
0.40	97,8
0.50	113,0
0.60	128,8
0.70	145,5
0.80	162,7
0.90	180,6
1.00	199,1
1.10	218,2
1.20	237,9
1.30	258,1
1.40	278,8
1.50	300,1
1.60	321,9
1.70	344,2
1.80	367,0
1.90	390,3
2.00	414,0
2.10	438,2
2.20	462,9
2.30	488,0
2.40	513,5
2.50	539,6
2.60	565,9
2.70	592,7
2.80	620,0
2.90	647,5
3.00	675,6
3.10	704,0
3.20	732,9
3.30	761,9
3.40	791,7
3.50	821,6

NOTE SUR LA DÉTERMINATION DES DIMENSIONS A DONNER
AUX BARRAGES DE LA MEUSE.

La première dimension à déterminer est la longueur du déversoir, qui doit être suffisante pour donner passage au débit total de la rivière, lors du relèvement des hausses de la passe navigable.

La section d'écoulement étant alors rétrécie, le niveau de l'eau s'élève en amont et s'abaisse en aval de l'ouvrage, jusqu'à ce que le volume d'eau traversant le barrage soit égal au débit de la rivière. Il faut que la dénivellation qui s'établit alors, ne dépasse pas sensiblement $4^m,00$, pour que le relèvement de la dernière hausse de la passe navigable puisse s'effectuer facilement. Il faut donc déterminer la longueur du déversoir de manière que, la chute étant de $4^m,00$, le débit total de la rivière puisse s'écouler. Il résulte d'observations faites aux barrages de la Seine, que les eaux du bief d'aval s'abaissent de $0^m,25$ environ pendant le relèvement des hausses de la passe navigable. Nous admettons ce chiffre pour les barrages de la Meuse.

Dans les calculs qui suivent, nous admettons que le radier du déversoir sera établi au niveau de l'étiage, et que le radier de la passe navigable sera arasé à $0^m,60$ sous le même niveau. Nous déterminerons la longueur à donner au déversoir dans les trois hypothèses suivantes :

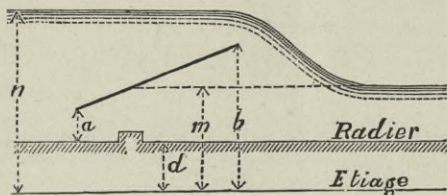
1° En admettant que, pendant le relèvement des hausses de la passe navigable, les hausses du déversoir soient en bascule et inclinées de 24° sur l'horizontale;

2° En supposant que ces hausses soient en bascule et tenues horizontalement ;

3° En considérant le relèvement comme devant s'effectuer quand les hausses du déversoir sont couchées sur le radier.

Nous établirons d'abord des formules générales pour chacun de ces cas.

I. — HAUSSES INCLINÉES.



Appelons Q , le débit; x , la longueur du déversoir; p , le rapport des longueurs du déversoir et de la passe navigable; n , la hauteur d'eau au-dessus

de l'étiage, en amont du barrage, après le relèvement des hausses de la passe navigable; m , la hauteur d'eau au-dessus de l'étiage, en aval du barrage; d , la hauteur du radier du déversoir au-dessus de l'étiage; a , la hauteur libre sous les hausses du déversoir; b , la hauteur, au-dessus de l'étiage, de la crête de ces hausses mises en bascule;

La formule cherchée doit exprimer l'égalité qui existe entre le débit Q et la somme des volumes d'eau qui passent : 1° sous les hausses du déversoir; 2° au-dessus de ces hausses; 3° entre les hausses du déversoir; 4° entre les hausses de la passe navigable.

1° On peut considérer l'espace compris entre le dessous des hausses et le radier du déversoir, comme un orifice noyé établissant la communication entre deux réservoirs à niveaux constants. Le volume d'eau qui y passe est donc (voir les traités d'hydraulique de d'Aubuisson, n° 96, et de Bresse, n° 36) :

$$0,625 \sqrt{2g} \sqrt{n-m} \times a \times \frac{13}{14} x;$$

puisque les hausses ont 1^m,30 de largeur et sont séparées par des intervalles de 0^m,10.

2° Le volume d'eau qui passe au-dessus des hausses est (d'Aubuisson n° 77; Bresse n° 30) :

$$0,45 \times \sqrt{2g} \times (n-b)^{3/2} \times \frac{13}{14}.$$

3° Entre les hausses du déversoir et sous le niveau d'aval, on a des orifices noyés qui donnent passage à un volume d'eau exprimé par :

$$0,625 \sqrt{2g} \sqrt{n-m} \times (m-d) \times \frac{x}{14}.$$

Sous le même niveau, les intervalles entre les hausses de la passe navigable sont traversés par un volume d'eau donné par l'expression :

$$0,625 \sqrt{2g} \sqrt{n-m} \times (m + 0^m,60) \times \frac{x}{13p};$$

car les hausses de la passe navigable ont 1^m,20 de largeur et sont espacées de 0^m,40.

Au-dessus du niveau d'aval, les intervalles des hausses donnent passage à un volume d'eau exprimé par :

$$0,45 \sqrt{2g} \times (n-m)^{3/2} \times \left(\frac{x}{14} + \frac{x}{13p} \right).$$

Nous avons donc la formule générale :

$$(A) \left\{ \begin{array}{l} 0,625 \sqrt{n-m} \times a \times \frac{13}{14} x + 0,45 (n-b)^{3/2} \times \frac{13}{14} x + \\ 0,625 \sqrt{n-m} \times (m-d) \times \frac{x}{14} + 0,625 \sqrt{n-m} \times \\ (m + 0^m,60) \frac{x}{13p} + 0,45 (n-m)^{3/2} \times \left(\frac{x}{14} + \frac{x}{13p} \right) \end{array} \right\} = \frac{Q}{\sqrt{2g}}$$

que nous pouvons simplifier, en posant $n-m = Z'^2$:

$$(A') \left\{ \begin{array}{l} 0,58 a Z' + 0,42 (Z'^2 + m-b)^{3/2} + 0,045 (m-d) Z' + \\ 0,048 \times \left(\frac{m + 0^m,60}{p} \right) Z' + 0,45 \left(\frac{1}{14} + \frac{1}{13p} \right) Z'^3 \end{array} \right\} = \frac{Q}{4,43x}$$

Jusqu'à présent, nous avons supposé l'eau stagnante dans le bief d'amont.

Il n'en est pas ainsi en réalité, et la vitesse dont cette eau est animée a pour effet d'augmenter le débit.

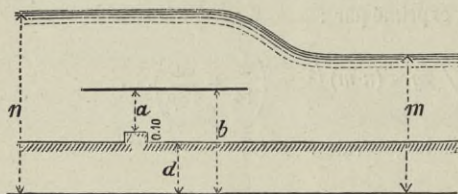
Nous admettons que cette vitesse est égale à la vitesse moyenne V des eaux de la rivière, en amont du barrage.

Par conséquent, au lieu d'être dues à la hauteur $n-m$, les vitesses introduites dans l'équation (A) seront dues à la hauteur $n-m + \frac{V^2}{2g}$ (Bresse n° 30), que nous appellerons Z^2 .

On voit facilement que l'équation (A) deviendra :

$$(A'') \quad \left\{ \begin{array}{l} 0,45 \left(\frac{1}{14} + \frac{1}{13p} \right) Z^5 + 0,42 (Z^2 + m-b)^{3/2} + \\ \left[0,58 a + 0,045 (m-d) + 0,048 \left(\frac{m+0,60}{p} \right) \right] Z \end{array} \right\} = \frac{Q}{4,43x}.$$

II. — HAUSSES HORIZONTALES.



Conservons les notations précédentes :

Le volume d'eau traversant le barrage comprend :

1° Le volume d'eau passant sous les hauses du déversoir :

$$0,625 \sqrt{2g} \sqrt{n-m} \times a \times \frac{13}{14} x.$$

2° Le volume d'eau passant au-dessus des hauses du déversoir et qui se compose d'une partie traversant un orifice noyé :

$$0,625 \sqrt{2g} \sqrt{n-m} \times (m-b) \times \frac{13}{14} x;$$

et d'une partie formant la chute :

$$0,45 \sqrt{2g} \times (n-m)^{3/2} \times \frac{13}{14} x.$$

Le volume d'eau qui passe entre les hauses et qui est formé de :

a) Une partie traversant sous le niveau d'aval et qui, dans le déversoir, est :

$$0,625 \sqrt{2g} \sqrt{n-m} \times (m-d-0^m,10) \times \frac{x}{14};$$

et dans la passe navigable est :

$$0,625 \sqrt{2g} \sqrt{n-m} \times (m + 0^m,60) \times \frac{x}{13p}.$$

b) Une partie passant au-dessus du niveau d'aval :

$$0,45 \sqrt{2g} \times (n-m)^{3/2} \times \left(\frac{x}{14} + \frac{x}{13p} \right).$$

La formule générale est donc :

$$(B) \left\{ \begin{array}{l} 0,625 \sqrt{n-m} \times a \times \frac{13}{14} x + 0,625 \sqrt{n-m} \times (m-b) \times \\ \frac{13}{14} x + 0,45 (n-m)^{3/2} \times \frac{13}{14} x + 0,625 \sqrt{n-m} \times \\ (m-d-0^m, 10) \times \frac{x}{14} + 0,625 \sqrt{n-m} \times (m+0^m, 60) \times \\ \frac{x}{13p} + 0,45 (n-m)^{3/2} \times \left(\frac{x}{14} + \frac{x}{13p} \right) \end{array} \right\} = \frac{Q}{\sqrt{2g}}$$

Posant $m-n = Z'^2$, nous aurons, en effectuant les opérations indiquées, la formule :

$$(B') \left\{ \begin{array}{l} \left[0,42 + 0,45 \left(\frac{1}{14} + \frac{1}{13p} \right) \right] Z'^5 + \left[0,58 a + \right. \\ \left. 0,58 (m-b) + 0,045 \times (m-d-0^m, 10) + \right. \\ \left. 0,048 \left(\frac{m+0^m, 60}{p} \right) \right] Z' \end{array} \right\} = \frac{Q}{4,43x}$$

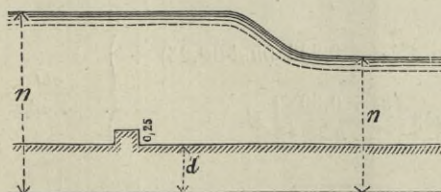
Si l'on veut tenir compte de la vitesse propre des eaux de la rivière, il faut, dans (B), remplacer $n-m$ par :

$$n-m + \frac{V^2}{2g} = Z^2.$$

On aura ainsi :

$$(B'') \left\{ \begin{array}{l} \left[0,42 + 0,45 \left(\frac{1}{14} + \frac{1}{13p} \right) \right] Z^5 + \left[0,58 a + \right. \\ \left. 0,58 (m-b) + 0,045 (m-d-0^m, 10) + \right. \\ \left. 0,048 \left(\frac{m+0,60}{p} \right) \right] Z \end{array} \right\} = \frac{Q}{4,43x}.$$

III. — HAUSSES COUCHÉES.



Le débit du déversoir se compose de deux parties; l'une qui passe sous le niveau d'aval et qui est exprimée par :

$$0,625 \sqrt{2g} \sqrt{n-m} \times (n-d-0^m,25) x;$$

l'autre, qui forme la chute, est :

$$0,45 \sqrt{2g} \times (n-m)^{3/2} \times x$$

Le volume d'eau qui traverse la passe navigable, comprend une portion comprise sous le niveau d'aval :

$$0,625 \sqrt{2g} \sqrt{n-m} \times (m + 0^m,60) \times \frac{x}{13p};$$

et une autre portion au-dessus de ce niveau :

$$0,45 \sqrt{2g} \times (n-m)^{3/2} \times \frac{x}{13p}.$$

On a donc la formule :

$$(C) \left\{ \begin{array}{l} 0,625 \sqrt{n-m} \times (m-d-0^m,25) x + 0,45(n-m)^{3/2} \times x \\ + 0,625 \sqrt{n-m} \times (m + 0,60) \times \frac{x}{13p} + \\ 0,45 (n-m)^{2/2} \times \frac{x}{13p} \end{array} \right\} = \frac{Q}{\sqrt{2g}}.$$

Que l'on peut simplifier en posant : $n-m = Z'^2$

$$(C') \left\{ \begin{array}{l} \left(0,45 + \frac{0,035}{p} \right) Z'^3 + \left[0,625 \times (m-d-0^m,25) + \right. \\ \left. 0,048 \left(\frac{m + 0,60}{p} \right) \right] \times Z' \end{array} \right\} = \frac{Q}{4,43x}.$$

Pour introduire la vitesse propre des eaux de la rivière, il faudrait, dans l'équation (C), remplacer $n-m$ par :

$$n-m + \frac{V^2}{2g} = Z^2;$$

on aurait alors :

$$(C'') \left\{ \begin{array}{l} \left(0,45 + \frac{0,035}{p} \right) Z^3 + \left[0,625 (m-d-0^m,25) + \right. \\ \left. 0,048 \left(\frac{m + 0,60}{p} \right) \right] Z \end{array} \right\} = \frac{Q}{4,43x}.$$

Appliquons les formules générales qui précèdent, à la détermination des dimensions à donner aux déversoirs de la Meuse, en supposant le radier placé au niveau de l'étiage, de sorte que $d = 0$. Nous admettrons que $p = \frac{3}{2}$, et que le relèvement de la passe navigable se fait lorsque les eaux d'aval sont à $1^m,30$ au-dessus de l'étiage; on a, dans ce cas : $m = 1^m,05$; $n = 2^m,05$; $Q = 259$ mètres cubes environ; $V = 1^m,00$ à peu près, et $Z = 1,025$.

IV. — LONGUEUR DU DÉVERSOIR.

Nous déterminerons cette longueur, les hausses étant supposées inclinées, horizontales et couchées.

1. *Hausses inclinées.* — $a = 0^m,66$; $b = 1^m,70$. Par la formule (A'') on trouve :

$$x = \frac{58,46}{0,58 \times 0,66 \times 1,025 + 0,42 \times 0,254 + 0,045 \times 1,05 \times 1,025 + 0,032 \times 1,65 \times 1,025 + 0,45 \times 0,12 \times 1,077}$$

ou $x = 88^m,00$.

2. *Hausses horizontales.* — $a = 0^m,94$; $b = 1^m,16$. En appliquant la formule (B''), on obtient :

$$x = \frac{58,46}{0,58 \times 0,94 \times 1,025 + 0,42 \times 0,913 + 0,045 \times 0,95 \times 1,025 + 0,032 \times 1,65 \times 1,025 + 0,45 \times 0,12 \times 1,077}$$

ou $x = 53^m,00$.

Remarquons qu'ici le terme $0,58 (m-b) Z$ devient négatif; par conséquent le volume qu'il représente n'existe pas. Cela est évident a priori, car, dans le cas que nous considérons, le niveau d'aval coïncide avec la hausse, par conséquent le volume d'eau qui s'écoule sur celle-ci, ne se compose que d'une nappe déversante qui n'a plus pour hauteur $n-m'$ mais seulement $n-b$.

Donc dans le terme $0,42 Z^3$, il faut faire $Z^3 = 0,913$.

3. *Hausses couchées.* — Par la formule (C''), on a :

$$x = \frac{58,46}{0,474 \times 1,077 + 1,025 (0,625 \times 0,80 + 0,32 \times 1,65)}$$

ou $x = 53^m,00$.

V. — LONGUEUR DE LA PASSE NAVIGABLE.

Supposons que l'on donne une longueur de 53^m,00 au déversoir. Il reste à déterminer la longueur que doit avoir la passe navigable. Nous emploierons pour cela, la condition à laquelle la passe navigable doit satisfaire : celle de donner passage à la presque totalité des eaux à l'étiage, sans que la chute se produisant au droit du barrage supposée couché, dépasse 0^m,30. Nous aurons à vérifier ensuite, si les chutes qui se produiront pour d'autres hauteurs d'eau, ne seront pas trop considérables.

Pour déterminer la longueur de la passe, nous emploierons la formule donnée par M. Chanoine :

$$(D) \quad Q = M(LH + L'H')\sqrt{2g(Z + H_1)}.$$

dans laquelle :

Q = le débit de la rivière,

L = la longueur de la passe navigable,

L' = la longueur du déversoir,

H = la hauteur des eaux d'aval au-dessus du seuil de la passe navigable,

H' = la hauteur des eaux d'aval au-dessus du radier du déversoir,

H_1 = la hauteur due à la vitesse de l'eau en amont de la chute,

Z = la chute ou la hauteur du remous.

Le coefficient M dépend de l'élévation des eaux :

quand le niveau est à 4^m,00 au-dessus de l'étiage, $M = 0,697$

Id. 1^m,80 id. $M = 0,709$

Id. 2^m,40 id. $M = 0,779$

Pour fixer la valeur de Q , il faut déterminer le volume d'eau qui passe par le déversoir. La chute étant de 0^m,30, les eaux d'amont seront à 0^m,30 au-dessus de l'étiage et une nappe d'eau de 0^m,05 d'épaisseur passera sur le seuil des fermettes. Le volume d'eau qui passera par le déversoir, sera donc :

$$0,45 \times 55 \times 4,43 (0,05)^{3/2} = 4^{\text{m}^3},23.$$

Le débit total étant de 45^m3, on aura : $Q = 43^{\text{m}^3},77.$

D'ailleurs dans (D), il faudra faire $H' = 0$, puisque nous avons déjà tenu compte du volume d'eau qui passe par le déversoir ; et $H = 0^{\text{m}},60$; $M = 0,69$; $Z = 0^{\text{m}},30$;

$$H_1 = \left(\frac{0,50}{2g}\right)^2 = 0,0127; \text{ on aura donc :}$$

$$0,69 \times L \times 0,60 \times 4,43 \times 0,559 = 45$$

$$\text{ou } L = 43^m,00.$$

En adoptant cette dimension, on n'a pas $p = \frac{3}{2}$, comme nous l'avons supposé pour déterminer la longueur du déversoir; il en résulte qu'il faudrait recommencer les calculs; mais les longueurs de la passe navigable et du déversoir changeraient d'une quantité si faible qu'il n'y a pas lieu de déterminer à nouveau ces dimensions.

Pendant le chômage et pendant les crues, le barrage est abattu; il faut donc que, pour tous les débits, le remous produit par l'ouvrage ne soit pas trop considérable. Vérifions si cette condition est remplie, pour quelques hauteurs d'eau au-dessus de l'étiage.

Pour déterminer la vitesse moyenne, le meilleur moyen consiste à diviser le débit par la section mouillée. Celle-ci peut-être fixée en admettant qu'immédiatement en amont du barrage, le fond de la rivière est partout à 0^m,60 sous l'étiage et que la largeur de la rivière, en dehors de l'écluse, est égale à la somme des longueurs de la passe navigable, de la pile, du déversoir et de l'épaulement. On peut donc ici admettre une largeur de 100^m,00.

$$1^{\circ} \text{ Hauteur d'eau : } 1^m,00; L = 43^m,00; L' = 53^m,00; H = 1^m,60;$$

$$H' = 0^m,75; V = \frac{199}{100 \times 1,90} = 1,05; H_1 = 0,0562; Q = 199^m^5.$$

On a donc, par la formule (D) :

$$\sqrt{(Z + H_1)} = \frac{199}{0,697 (53 \times 0,75 + 43 \times 1,6) 4,43} = 0,59.$$

d'où $Z = 0^m,29.$

$$2^{\circ} \text{ Hauteur d'eau : } 2^m,45; H = 3^m,05; H' = 2^m,20; Q = 526^m^5;$$

$$V = \frac{526}{100 \times 3,30} = 1,59; H_1 = 0,129.$$

$$\sqrt{(Z + H_1)} = \frac{526}{0,772 (53 \times 2,20 + 43 \times 3,05) 4,43}$$

par conséquent : $Z = 0^m,25.$

3^o Hauteur d'eau : 3^m,25. — Pour ce cas, nous emploierons la formule suivante donnée par MM. Chanoine et de Lagrené (*Annales des Ponts et Chaussées*, 1868).

$$Z = 1,5 \left(\frac{V'^2 - V^2}{2g} \right)$$

donnant la chute en fonction de :

V , vitesse moyenne de l'eau, avant la construction du barrage,

V' , vitesse moyenne, après la construction.

En appelant :

S , la section d'écoulement de la rivière, avant l'exécution des travaux,

S' , la section, après l'exécution; on a :

$$V' = \frac{VS}{S'}; \text{ donc } Z = 1,50 \times V^2 \left(\frac{S}{S'^2} - 1 \right) \times 0,051.$$

Dans l'exemple qui nous occupe, on a : $V = 1^m,65$; $S = 4,70$;
 $S' = 327$ environ; donc $Z = 1,5 \times 272 \times 1,06 \times 0,051$

ou $Z = 0^m,22.$

Le Sous-Ingénieur,
 (Signé) TH. BELPAIRE.



BARRAGES DE LA MEUSE EN AMONT DE NAMUR.

Fig. 1. Plan d'emplacement du barrage et de l'écluse de Hun.

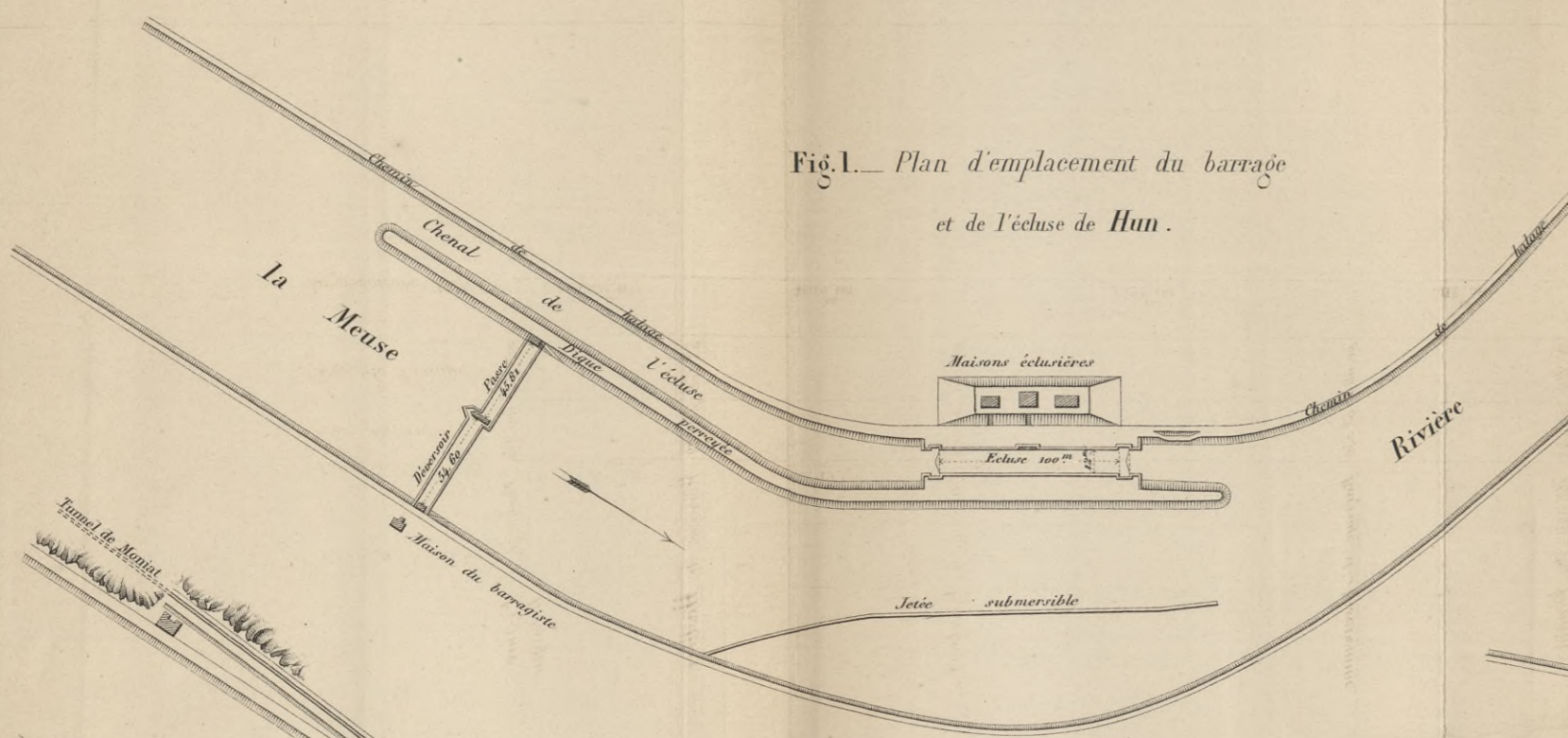


Fig. 2. Plan d'emplacement du barrage et de l'écluse de Houx.

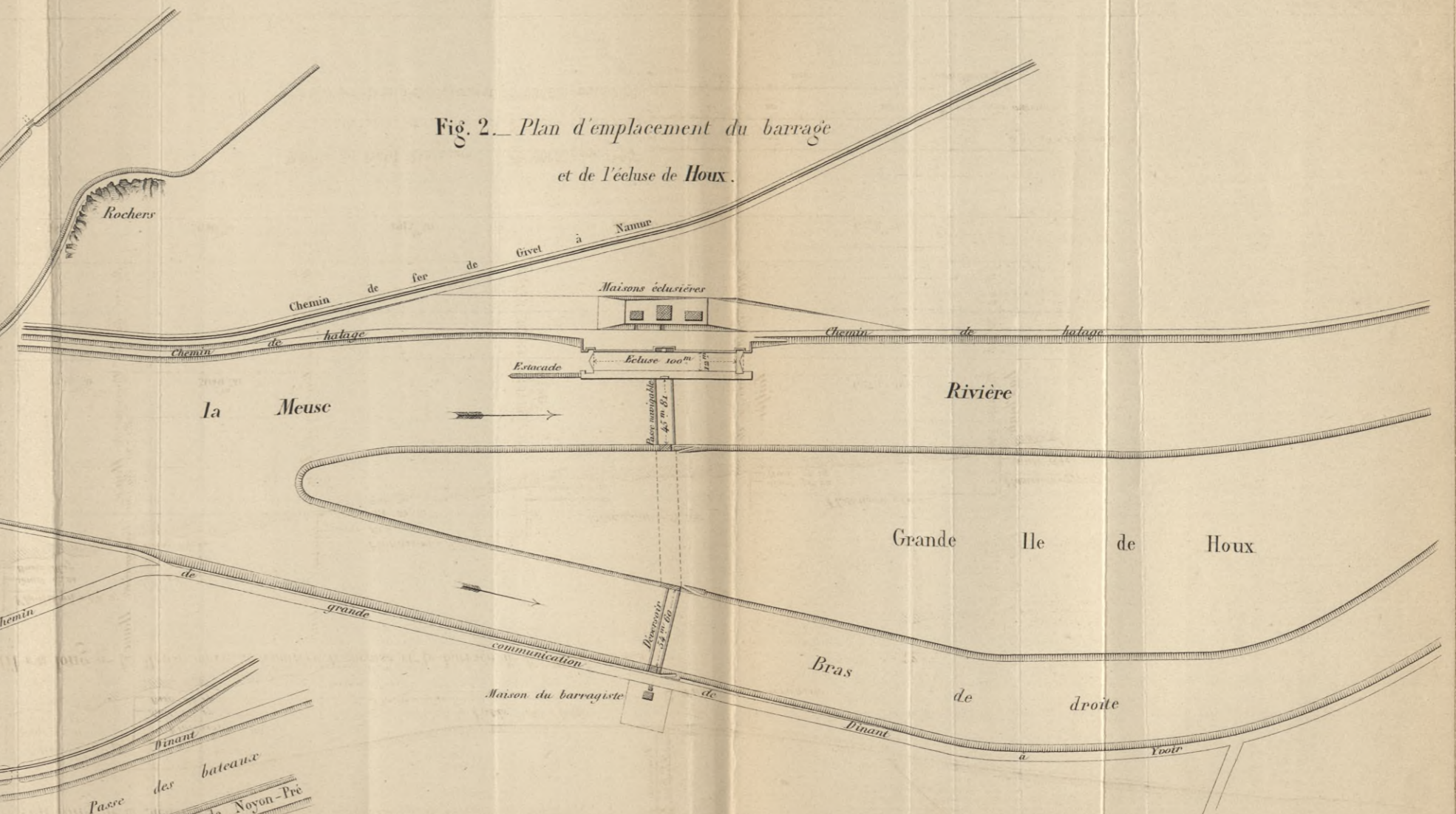


Fig. 4. Plan d'emplacement du barrage et de l'écluse d'Anseremme.

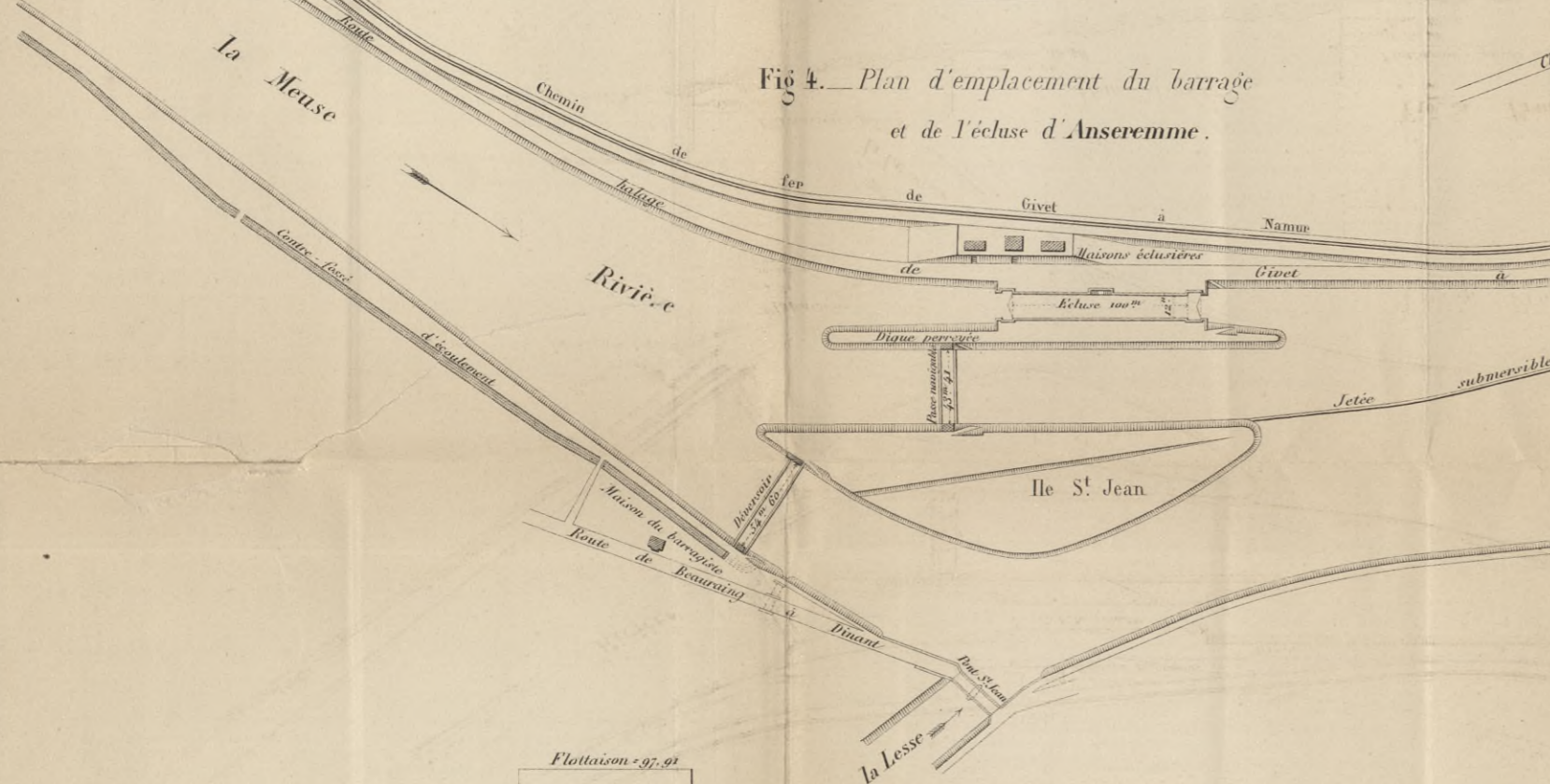


Fig. 3. Plan d'emplacement du barrage et de l'écluse de Bouvières-Dinant.

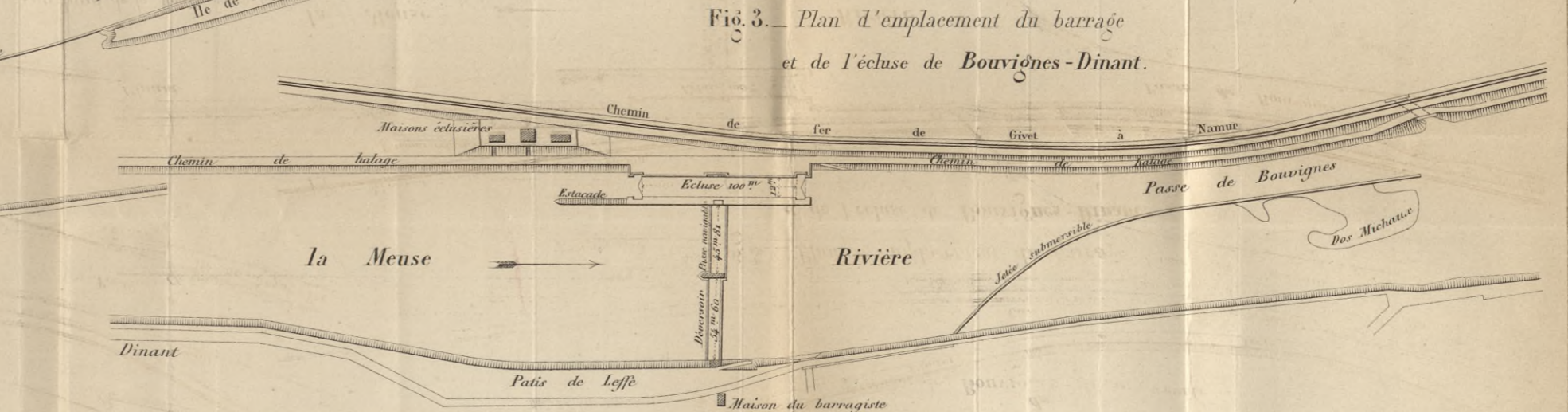
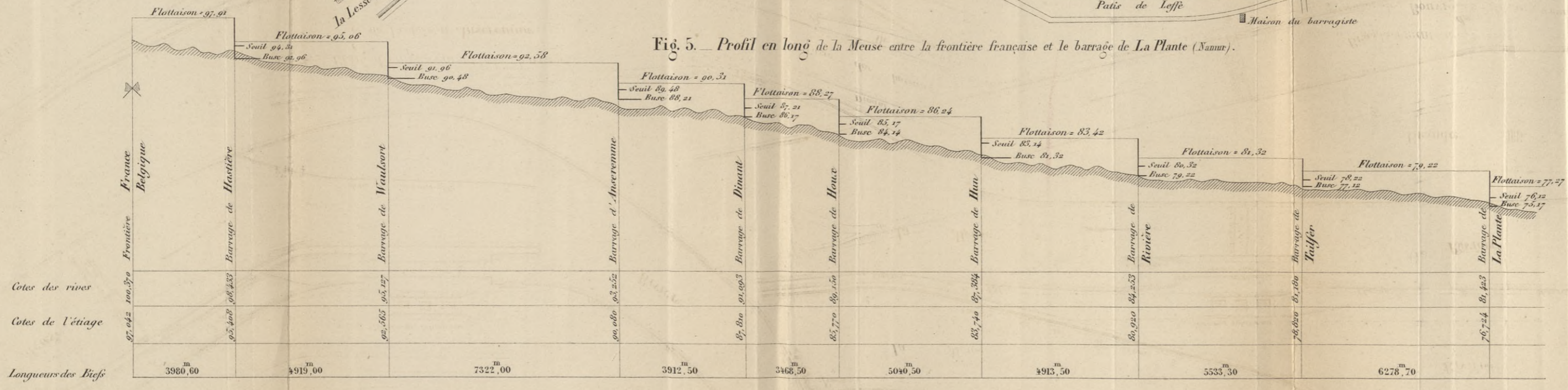


Fig. 5. Profil en long de la Meuse entre la frontière française et le barrage de La Plante (Namur).



Echelle du Profil, longueurs... 0^m 000007 pour 1^m 00
 id hauteurs... 0^m 002 pour 1^m 00
 Echelle des plans d'emplacement 0^m 00025 pour 1^m 00



Plans des Ecluses.

Fig. 1. Elevation du bayoyer de rive des écluses.

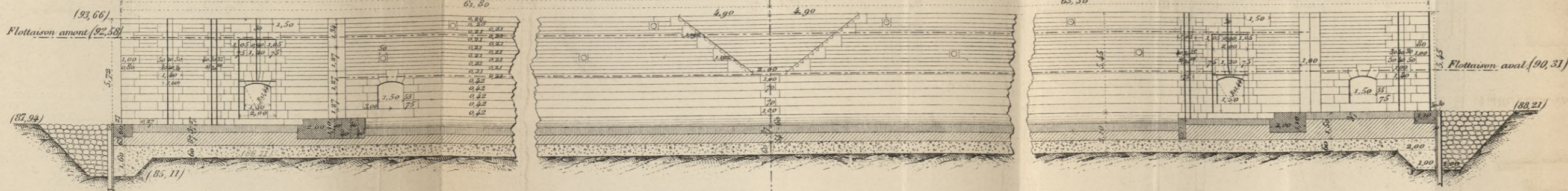


Fig. 2. Plan de l'écluse d'Anseremme.

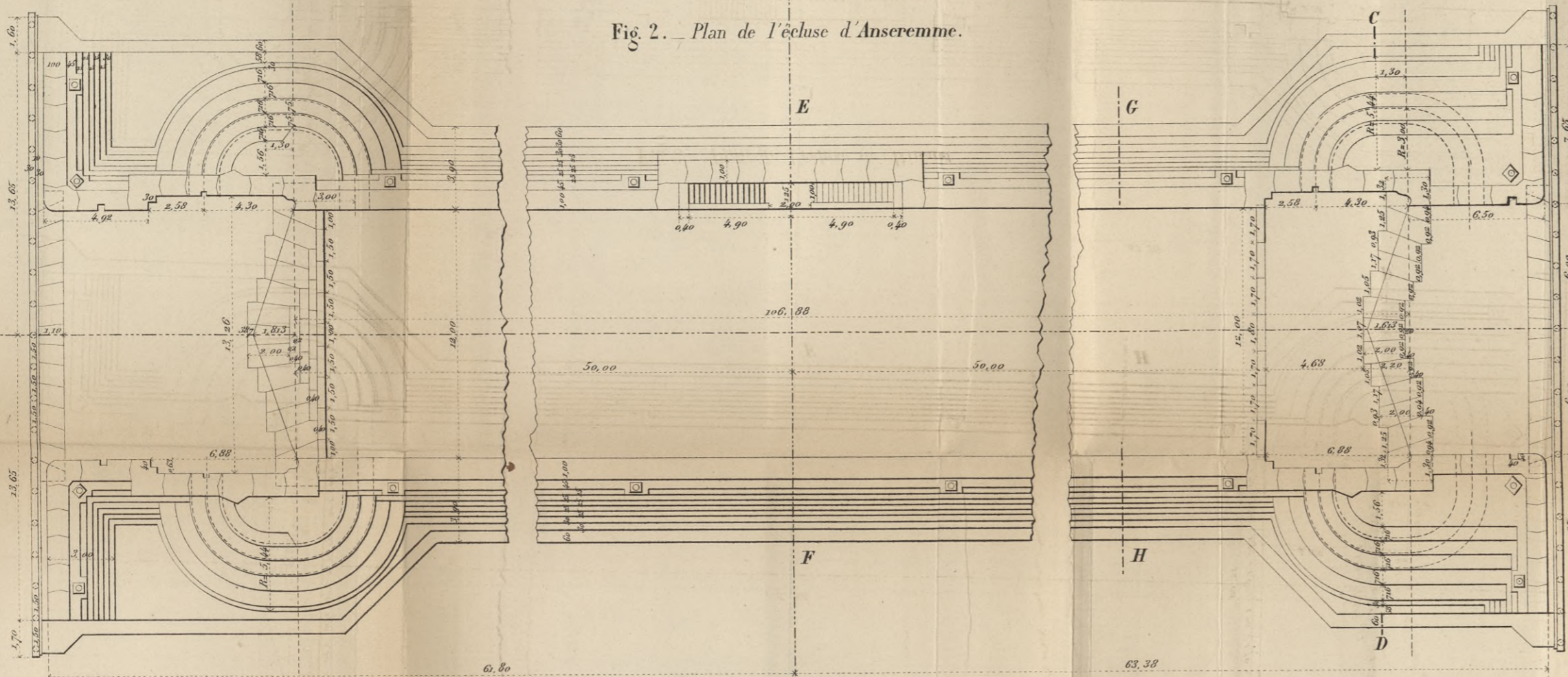
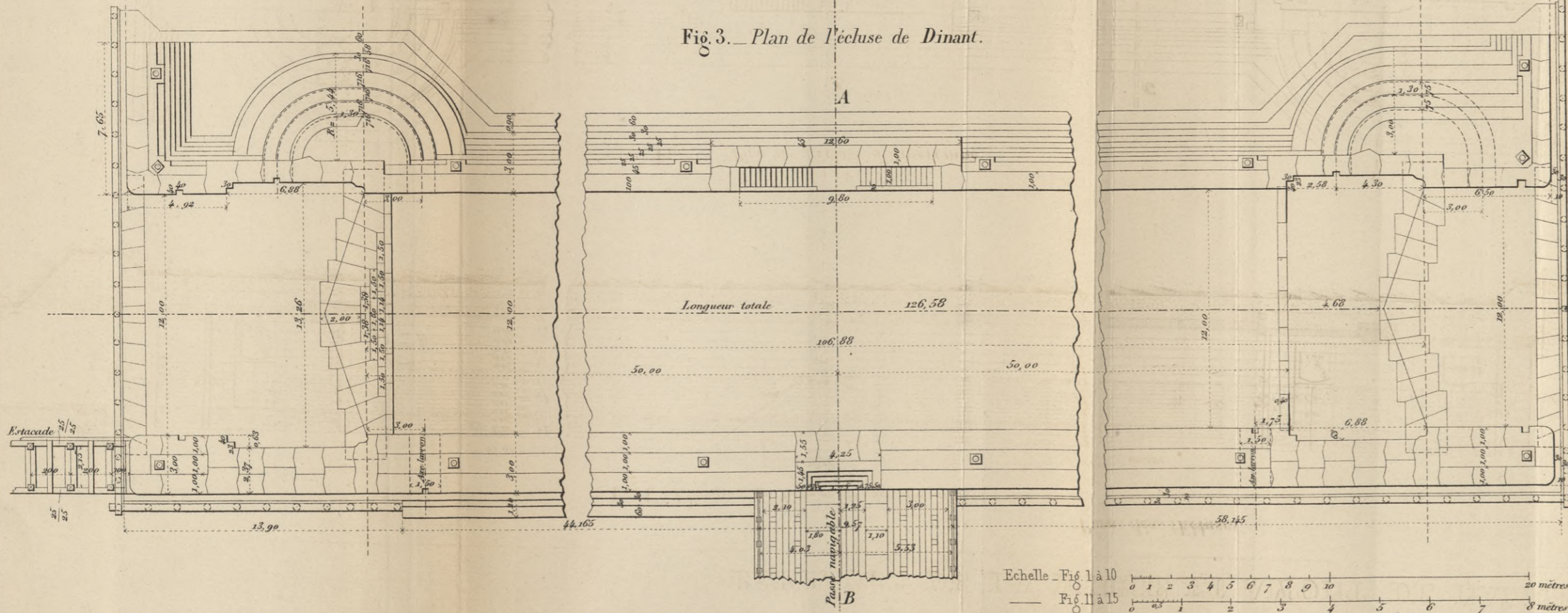


Fig. 3. Plan de l'écluse de Dinant.



Echelle - Fig. 1 & 10 0^m 00k pour 1^m 00
 - Fig. 11 & 15 0^m 01 - 1^m 00

Fig. 4. Coupe AB.

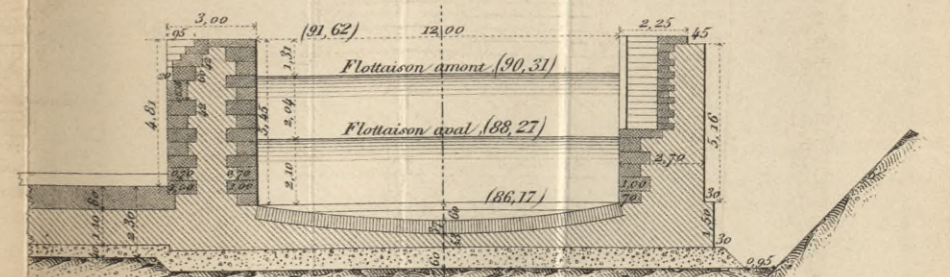


Fig. 5. Coupe CD.

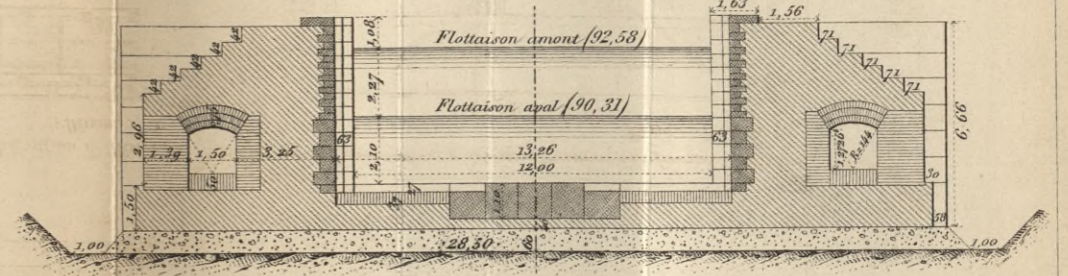
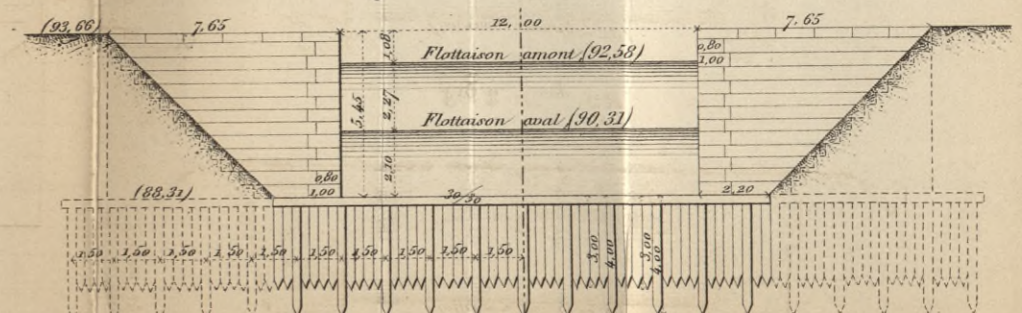


Fig. 6. Elevation de la tête aval.



Vanne de l'arron.
 Fig. 14. Elevation. Fig. 15. Coupe.

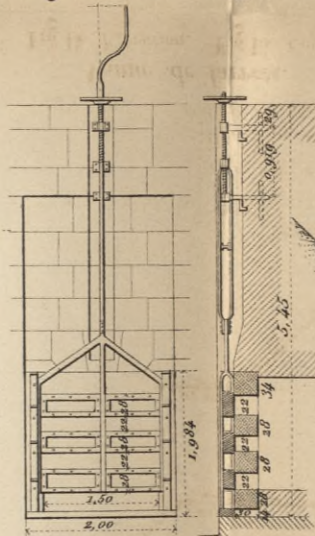


Fig. 7. Coupe EF.

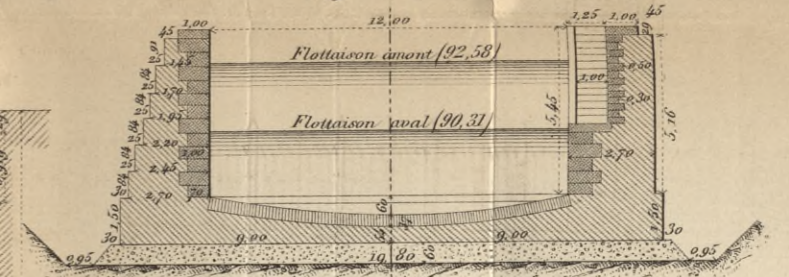


Fig. 8. Coupe GH.

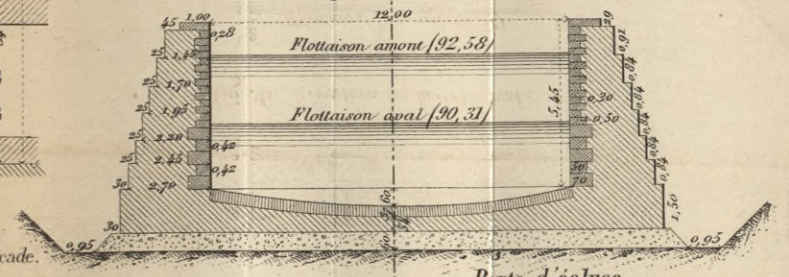


Fig. 9. Elevation de l'Estacade (Dinant).

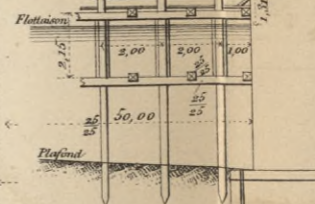


Fig. 10. Coupe en travers de l'Estacade (Dinant).

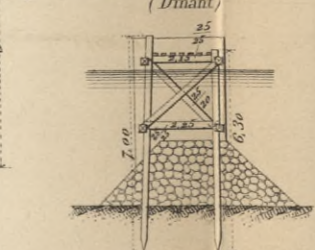


Fig. 11. Elevation. Porte d'écluse.

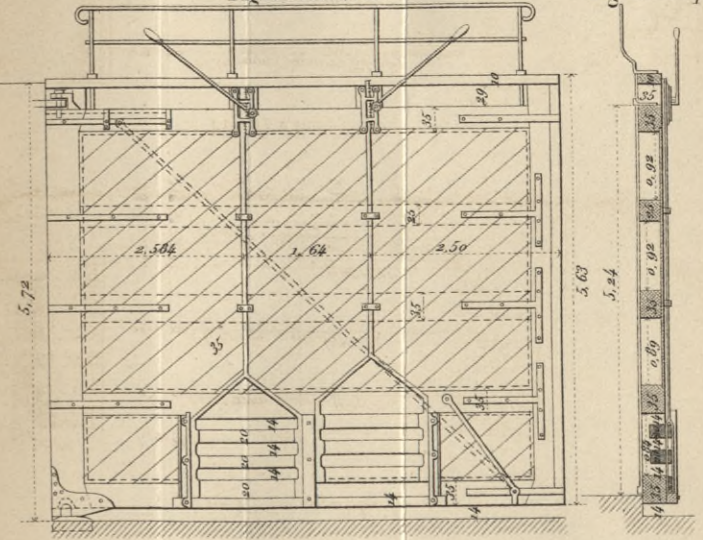
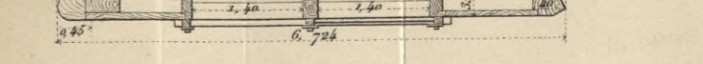
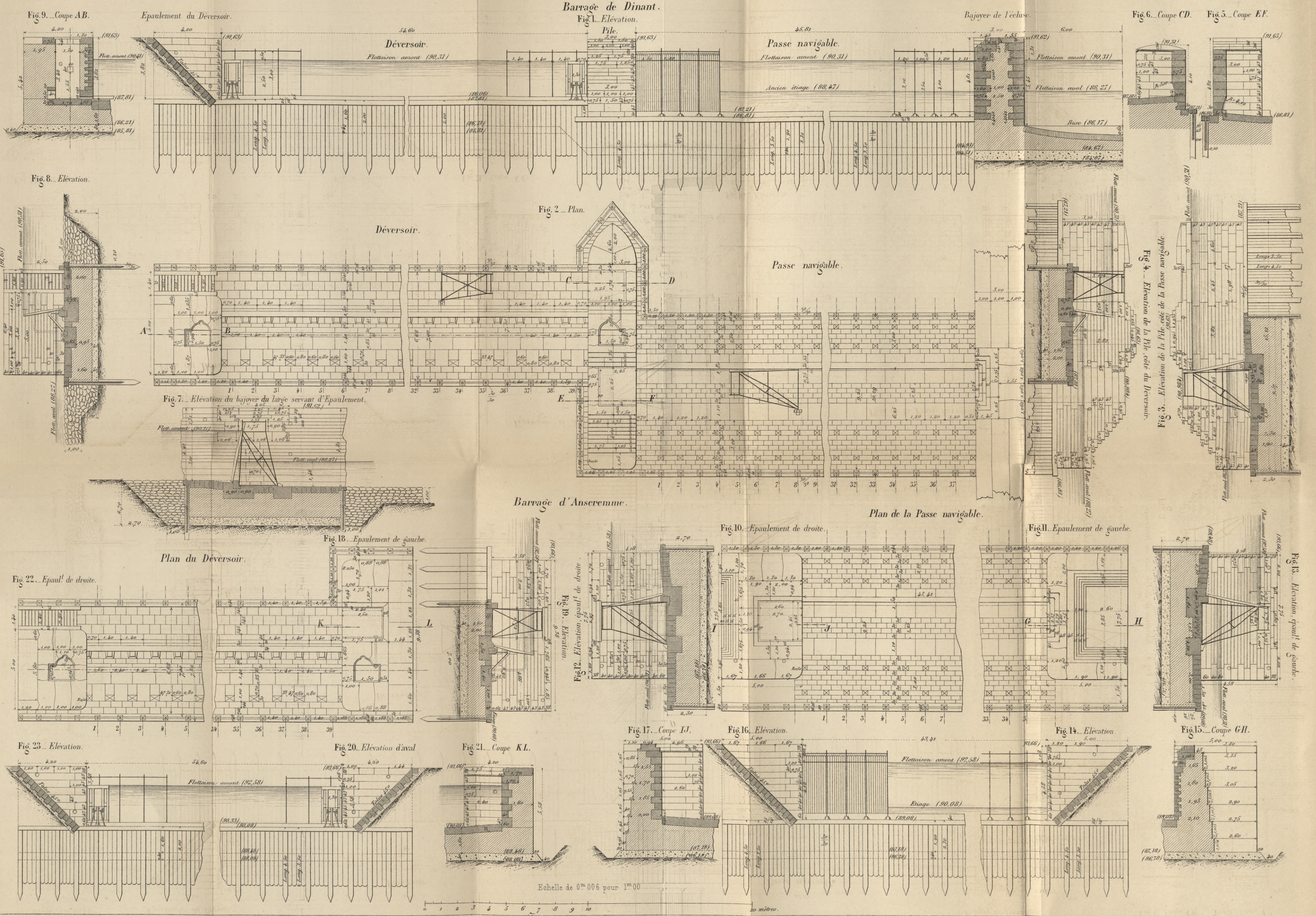


Fig. 12. Plan.







Détails des fermettes de la Passe-navigable.
Fausse fermette de la Culée.

Fig. 13. Elevation.

Fig. 14. Vue de côté.

Fig. 15. Plan.

Fausse fermette de la Pile.

Fig. 16. Elevation.

Fig. 17. Coupe en travers sur ABCD.

Fig. 18. Plan de la grande barre mobile.

Fig. 3. Vue d'amont des fermettes.

Fig. 12. Barre supérieure. Vue de dessus.

Fermette de la Passe navigable.
Fig. 1. Vue de côté d'une fermette avec aiguille.

Fig. 20. Vue de côté.

Fig. 21. Coupe sur A B.

Fig. 19. Elevation.

Fig. 22. Coupe CD.

Poteau valet.
Fig. 23. Elevation. Vue d'amont.

Fig. 24. Ouvert.

Etai.
Fig. 25. Elevation. Vue de la Pile.

Fig. 26. Vue d'amont.

Fig. 27. Coupe sur EF.

Fig. 28. Coupe sur GH.

Fig. 29. Coupe IK.
(Echappement ouvert)

Fig. 30. Coupe sur NO.

Fig. 31. Coupe sur LM.
(Echappement ouvert)

Treuil de manœuvre des fermettes.

Fig. 32. Elevation de côté.

Fig. 33. Elevation.

Fig. 34. Coupe.

Fig. 35. Coupe en travers de la Passe navigable indiquant la disposition des ancrages.

Crapaudine d'amont des fermettes.
Fig. 5. Elevation. Fig. 6. Coupe verticale.

Fig. 7. Coupe horizontale.

Fig. 4. Plan de l'agrafe.

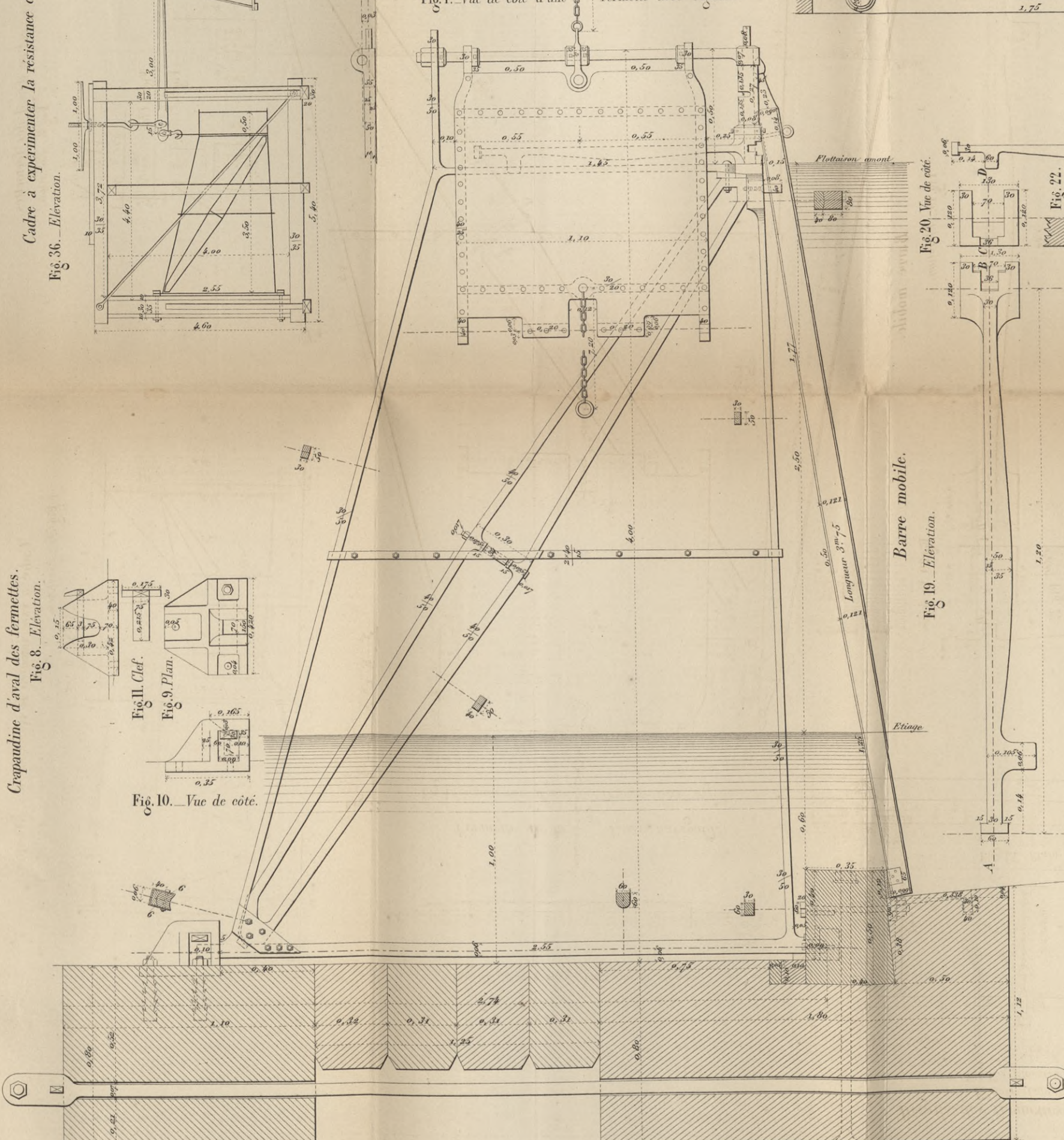
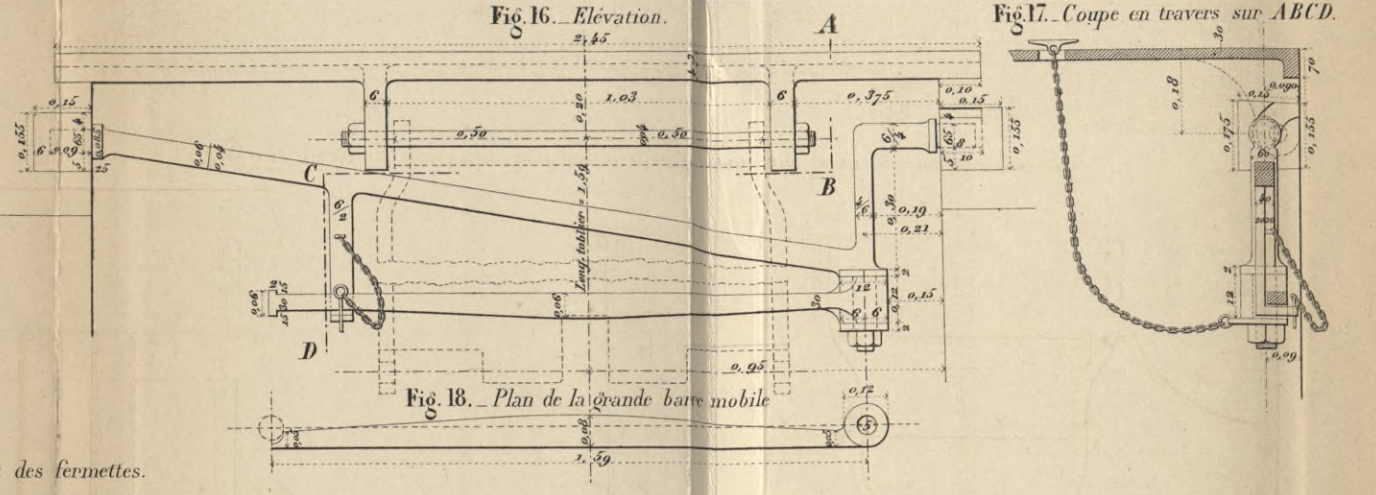
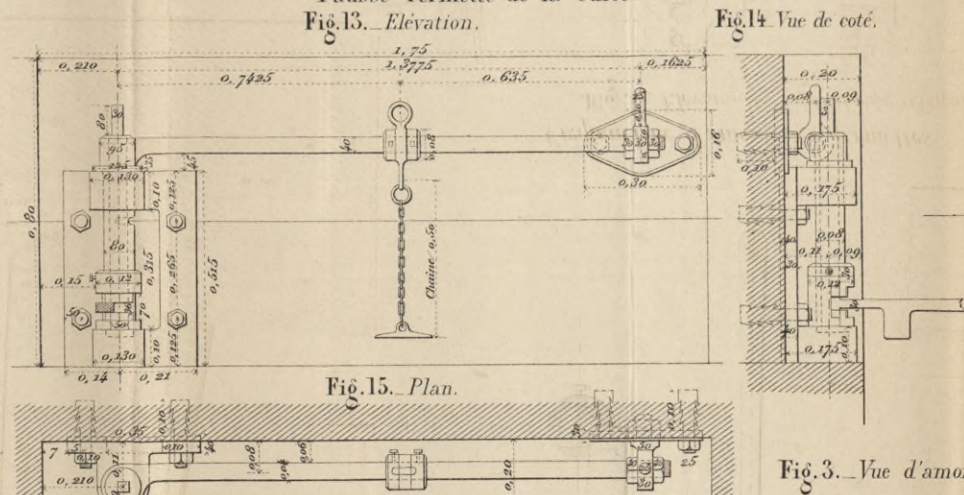
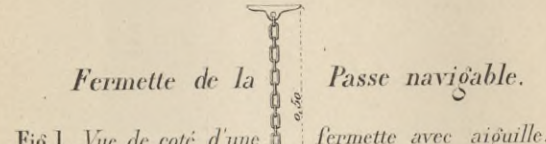
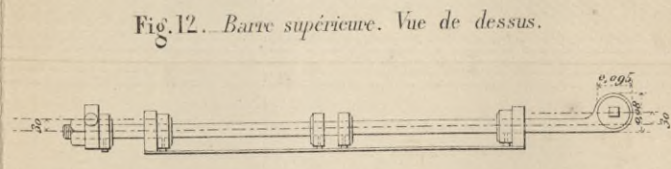
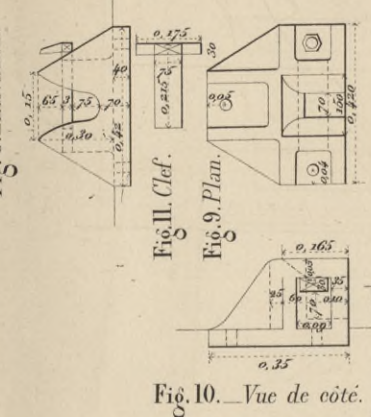
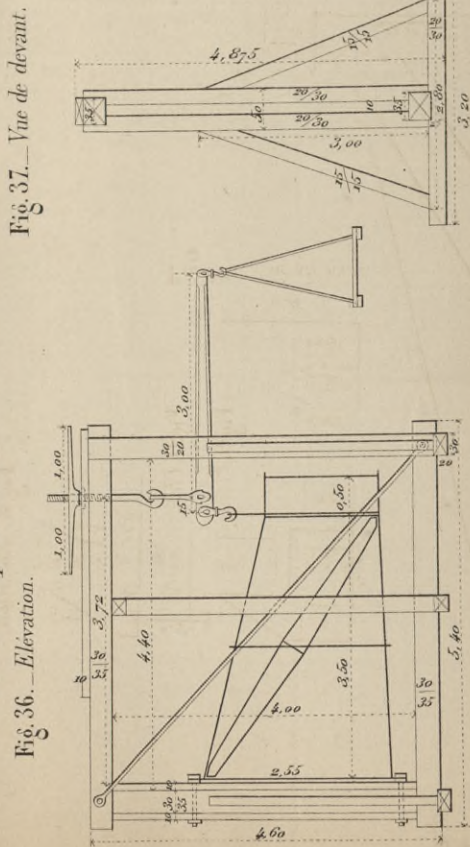
Crapaudine d'aval des fermettes.
Fig. 8. Elevation.

Fig. 11. Claf.

Fig. 9. Plan.

Fig. 10. Vue de côté.

Cadre à experimenter la résistance des fermettes.
Fig. 36. Elevation.



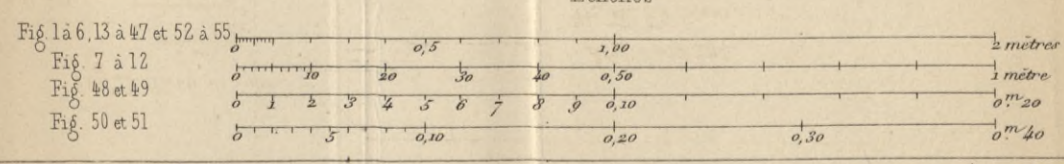
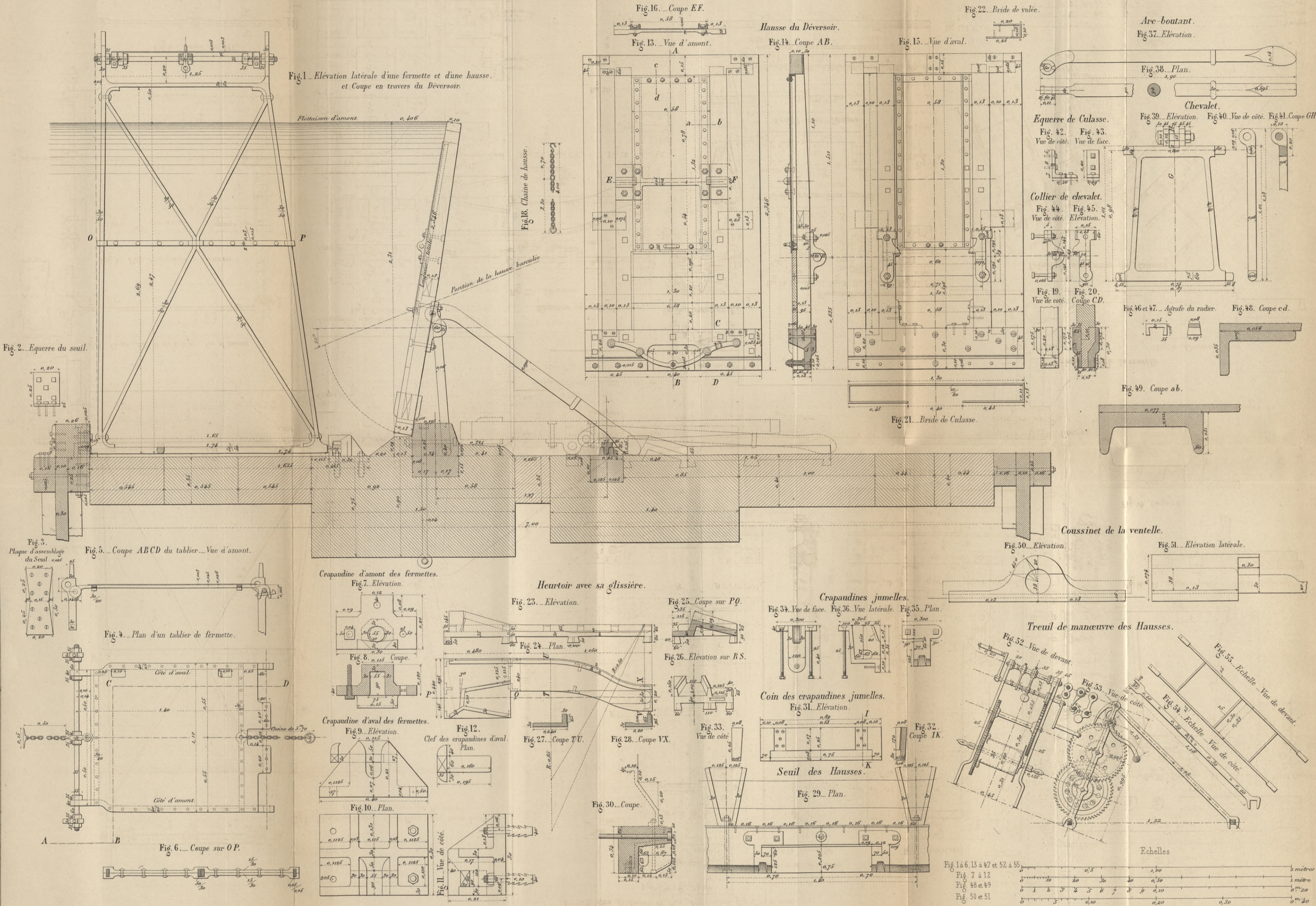
Echelle - Fig 1 à 18 = 0^m 05 pour 1^m 00

— 19 - 31 = 0 ^m 10	1 ^m 00
— 32 - 34 = 0 ^m 06	1 ^m 00
— 35 = 0 ^m 015	1 ^m 00
— 36 - 37 = 0 ^m 01	1 ^m 00

1 mètre
1 mètre
3 mètre



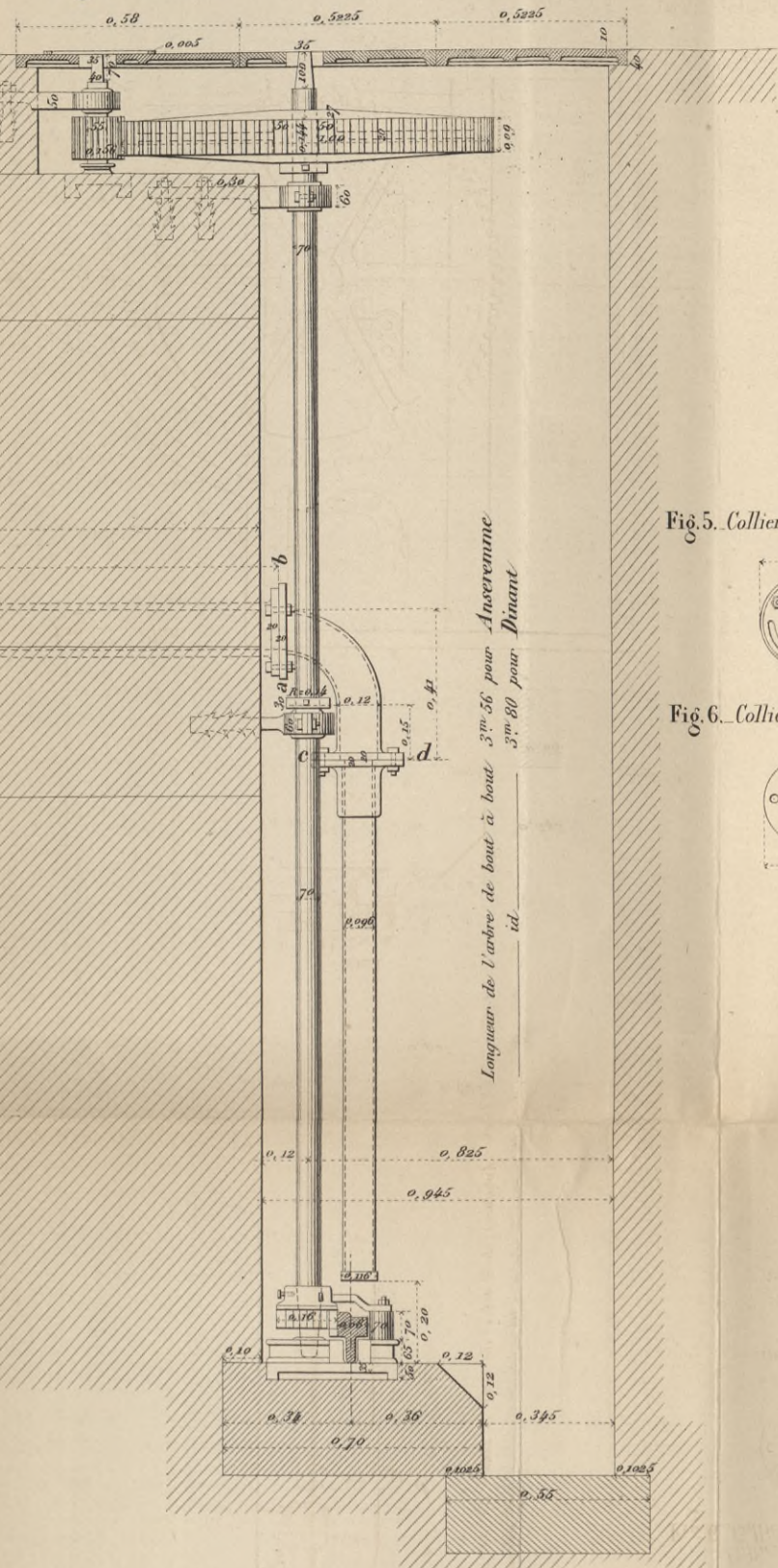
Détail des Hausses et des Fermettes du Déversoir.





Treuil de manœuvre de la barre à talons et vanne de chasse.

Fig. 1. Elevation.



Pignon moteur de la Crémaillère.

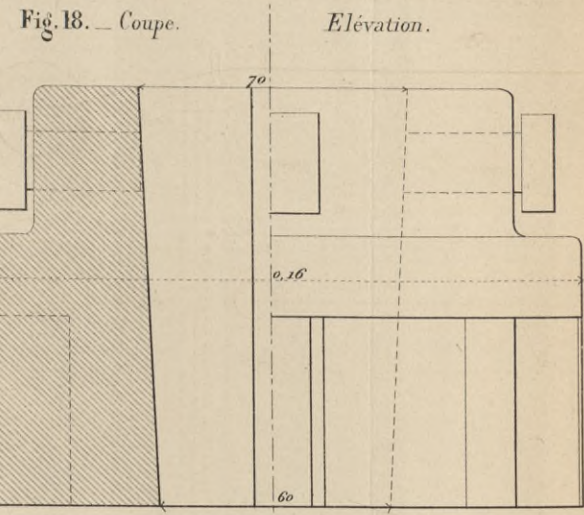


Fig. 18. Coupe. Elevation.

Fig. 5. Collier supérieur, a b, du coude.

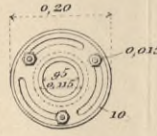


Fig. 6. Collier inférieur, c d, du coude.

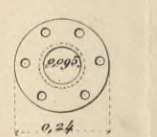
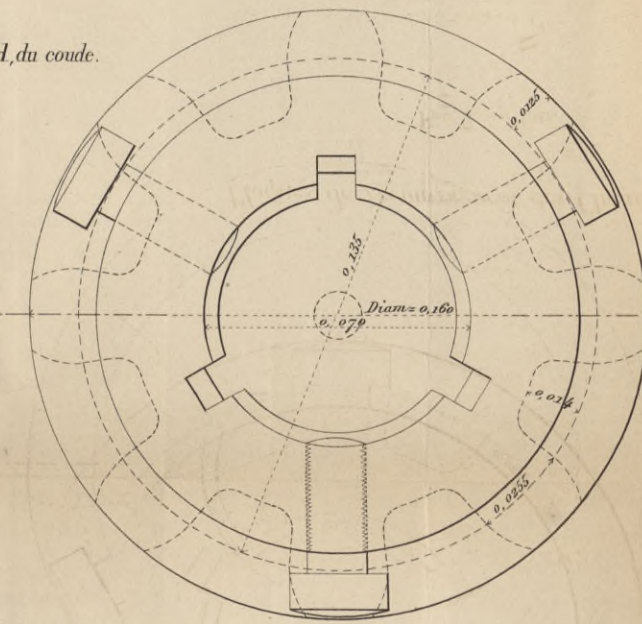


Fig. 17. Plan.



Plaques de recouvrement des Chambres des Treuils.

Fig. 7. Plan.

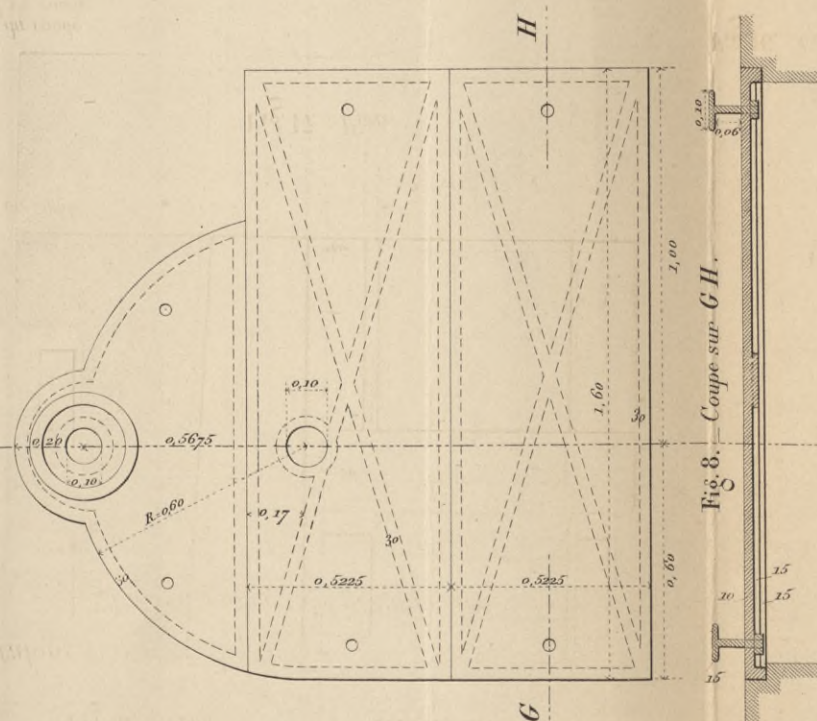
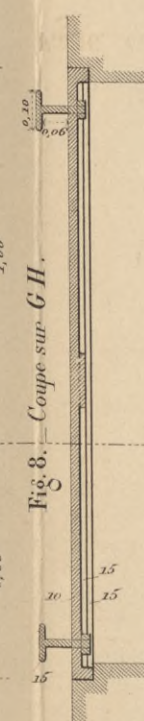


Fig. 8. Coupe sur G H.



Tête de la Vanne.

Fig. 3. Elevation.



Fig. 4. Coupe.

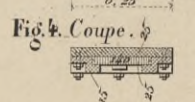


Fig. 9. Elevation.

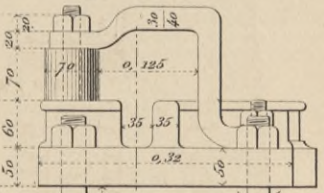


Fig. 10. Plan.

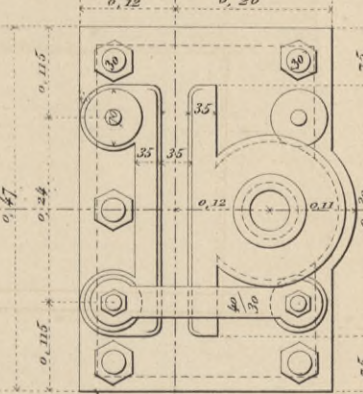


Fig. 11. Coupe.

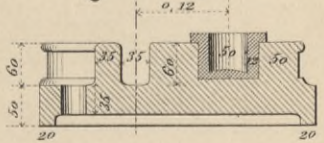
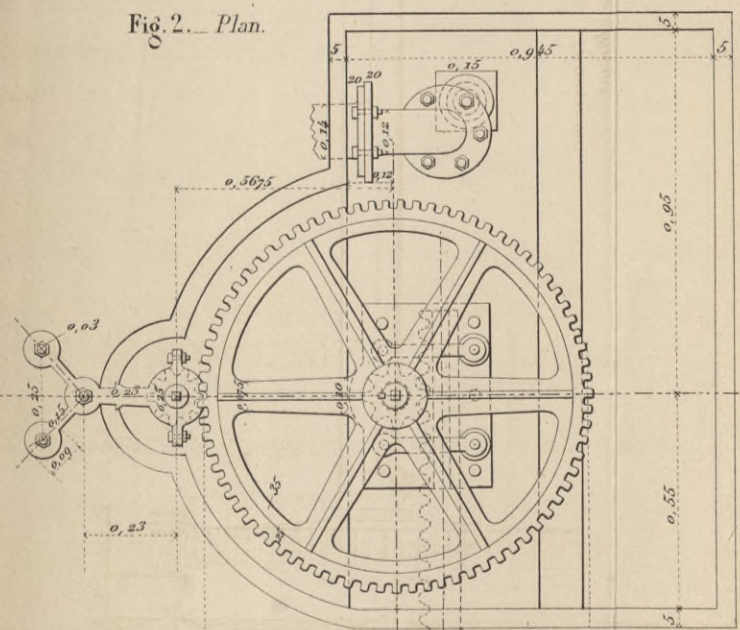


Fig. 2. Plan.



Echelle des Fig. 1 à 8. 0^m 05 p^r 1^m 00
 id. — 9-16. 0^m 10 p^r 1^m 00
 id. — 17-18. 0^m 50 p^r 1^m 00

Fig. 14. Coupe en travers d'un guide, sur A B.

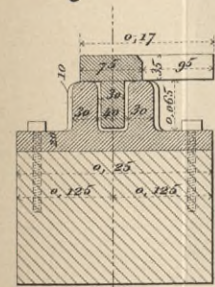


Fig. 15. Coupe sur C D.

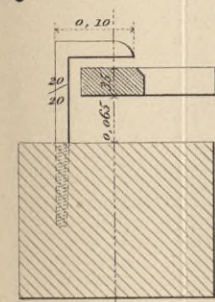


Fig. 16. Coupe en travers d'un galet, sur E F.

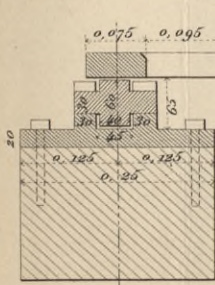
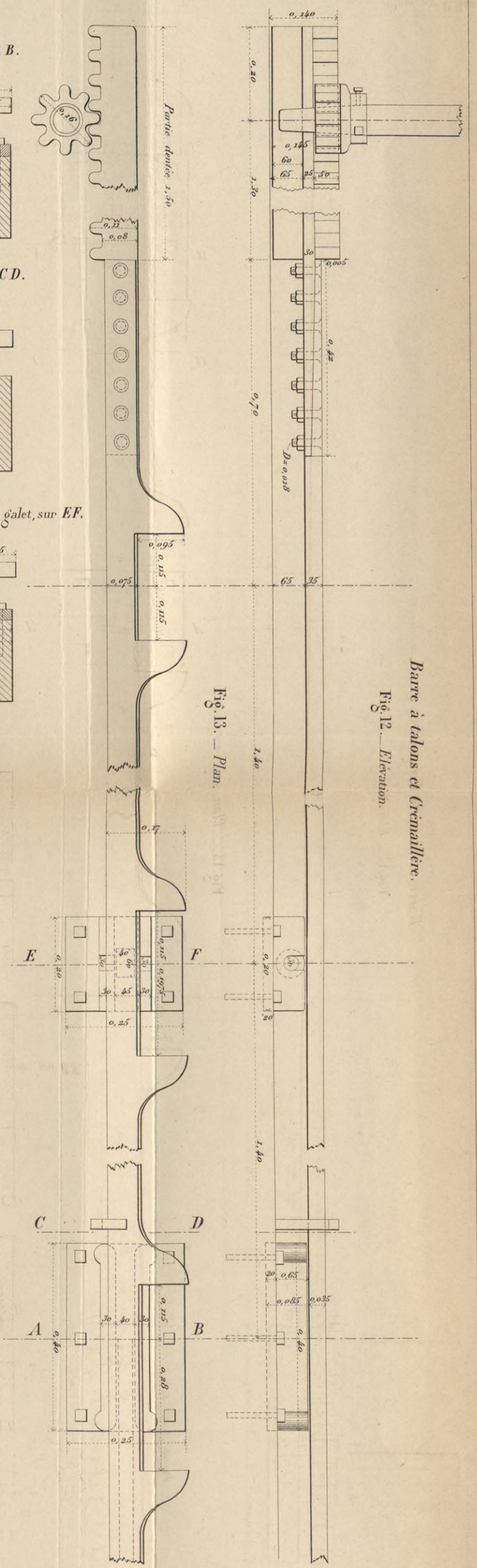


Fig. 13. Plan.



Barre à talons et Crémaillère.

Fig. 12. Elevation.

Crépine guide.



S. 61

8-96

6-96

Biblioteka Politechniki Krakowskiej



10000294561