

MODIFICATION DE L'ENTRÉE DU SOUTERRAIN DU MONT CENIS.

DIRECTION A DONNER AUX TRAVAUX DES SOUTERRAINS AUXQUELS ON APPLIQUE LA PERFORATION MÉCANIQUE,

Par M. Jules MICHEL,

INGÉNIEUR DES PONTS-ET-CHAUSSÉES,

INGÉNIEUR EN CHEF ADJOINT DU SERVICE DE LA VOIE DE LA COMPAGNIE DES CHEMINS DE FER DE PARIS-LYON-MÉDITERRANÉE.

(Pl. XXVII à XXIX).

La montagne de Fréjus dans laquelle est percé le tunnel, dit du Mont Cenis, sur la ligne de Chambéry à Turin, présente, sur les 130 premiers mètres, à partir de la tête provisoire établie pendant l'exécution des travaux sur le prolongement du côté de Modane de l'alignement du souterrain, un massif de dépôts glaciaires composé d'un mélange de terre argileuse et de débris de roches plus ou moins volumineux.

Au-delà de ces dépôts et sur plus de 200 mètres, on rencontre une masse homogène et compacte de schistes chloriteux auxquels succèdent les grès anthracifères du terrain houiller. La galerie courbe, qui raccorde l'alignement du grand souterrain avec le tracé venant de Modane à flanc de coteau, a une longueur de 550^m; elle traverse, sur 220^m de longueur, les dépôts glaciaires, et sur le reste de son parcours les schistes et les grès anthracifères.

Les portions des deux souterrains ouvertes dans ces roches n'ont jamais subi le moindre mouvement ni accusé la moindre déformation. Mais il n'en est pas de même de la partie qui traverse les dépôts glaciaires.

Dès l'époque de la construction, des lézardes ont apparu dans les maçonneries de revêtement de la galerie courbe : elles sont le résultat d'un mouvement général de la couche de terrain glaciaire, mouvement qui se produit lentement, mais d'une manière continue. Dans ces conditions, on ne pouvait songer à fixer le sol, et on s'est contenté de reconstruire la voûte dans les parties déplacées ou simplement disloquées, sans se faire illusion sur la durée de ces nouvelles maçonneries qui subiront le même sort que les précédentes.

La situation des ouvrages établis jusqu'à 700 mètres en avant de la tête du tunnel n'était pas plus rassurante, et on a dû modifier le tracé qui traversait le contrefort du Replat. On a abandonné un souterrain de 206^m de longueur, qui était complètement disloqué, malgré les boisages énergiques au moyen desquels on avait tenté de le soutenir, et on a adopté provisoirement un tracé à ciel ouvert avec courbes plus prononcées.

Du moment où on ne pouvait obtenir de garantie réelle de stabilité pour la ligne du Mont Cenis, en se maintenant dans les terrains glaciaires, on a dû, pour les éviter, se décider à reporter la tête du grand souterrain en deçà du ravin qui précède le contrefort du Replat et à faire pénétrer la galerie de raccordement plus avant dans la montagne.

L'examen des ouvrages voisins de ce ravin et l'étude géologique approfondie de la nature du sol ont prouvé, en effet, que les dépôts glaciaires n'allaient pas jusque là, et que le terrain qui recouvrait le flanc de la montagne était composé d'éboulements anciens provenant des schistes chloriteux qui constituent le versant du côté de Modane, et qu'il offrait toute garantie de stabilité. Les dépôts glaciaires postérieurs, qui ont formé le contrefort du Replat, et le talus dans lequel est la tête actuelle du souterrain n'existent pas sur le point où est projetée la tête nouvelle.

Les travaux commencés, dès la fin de l'année 1879, sont venus complètement confirmer les prévisions de M. le professeur Lory sur la nature géologique du sol dans lequel sera établie la ligne déviée et on peut avoir une entière confiance dans la stabilité qu'il présente.

Le nouveau tracé substitue, pour la sortie du souterrain, à la courbe de raccordement de 550^m de longueur, une autre galerie de 1575^m de longueur qui viendra rencontrer l'axe du grand souterrain à 750^m, 43 de l'entrée actuelle. Il en résultera un raccourcissement de 229^m, 570 sur la longueur totale de la ligne, de sorte que le nouveau profil en long, sur le parcours de la déviation, présentera une rampe de 0^m, 027989 au lieu de celle de 0^m, 027, qui avait été admise primitivement.

L'exécution d'un souterrain de 1575^m de longueur dans des roches très dures, lorsqu'on ne peut y établir aucun puits, mais seulement une galerie de dégagement de 250^m de longueur à 810 mètres de la tête, nécessite l'emploi des moyens d'attaque perfectionnés, si l'on ne veut pas laisser la durée des travaux se prolonger outre mesure. Aussi a-t-on décidé d'appliquer à la galerie d'avancement les machines perforatrices mues par l'air comprimé.

Les appareils ont été établis au mois de Février 1880 et fonctionnent régu-

ièrement depuis cette époque. Ils se composent d'un appareil perforateur du système Ferroux, portant 6 fleurets dont 4 seulement travaillent en même temps. (Pl. XXVII et XXVIII, Fig. 1 à 9) (1).

Un tuyau en tôle de 0^m,07 (2) de diamètre amène l'air qui a été comprimé à l'aide de machines hydrauliques placées près de la tête du souterrain. Ces machines marchent sous la charge d'une colonne d'eau de 50^m de hauteur, empruntée à un ruisseau voisin, au moyen d'une conduite en tôle de 0^m,35 de diamètre intérieur et de 0^m,005 d'épaisseur, qui est revenue, posée, à 45 fr. le mètre courant.

L'air est soumis dans les réservoirs à une pression de 5 atmosphères. La pression descend à 3 1/2 ou 4 atmosphères lorsque l'air arrive au perforateur.

L'installation des compresseurs est extrêmement simple et économique. Les quatre cloches à matelas d'eau, système Sommeiller, employées à l'origine, du même genre que celles du St-Gothard, ont été remplacées depuis par deux pompes à air système Colladon, qui fournissent un résultat utile plus considérable. L'air comprimé s'échauffe un peu plus, il est vrai, sans qu'il en résulte cependant d'inconvénient bien sensible. (Pl. XVIII Fig. 10 et 11, et Pl. XXIX).

La machine motrice, commandée par une turbine à axe horizontal, fournit une puissance de 80 chevaux qu'il serait facile de porter à 120 et 160, si cela était nécessaire, en augmentant la hauteur de la colonne d'eau. Elle fait 50 tours à la minute. Un hangar de 5^m de large sur 10^m de long suffit pour abriter la machine et les compresseurs.

La chute effective ou hauteur de la colonne d'eau motrice étant de 50 mètres, avec un débit de 170 litres, la turbine développe une force de 85 chevaux vapeurs, en comptant sur un effet utile de 0,75 environ. La turbine fait 180 tours par minute; elle a coûté 4800 francs avec les accessoires.

Les compresseurs (Pl. XXVIII, Fig. 10 et 11 et Pl. XXIX) reçoivent le mouvement de la turbine par l'intermédiaire de roues droites d'engrenages, en bois sur fonte, montées sur des arbres en acier fondu. Le diamètre des cylindres est de 0^m,435 et la course des pistons de 0^m,60. Ils donnent 50 coups à la minute, et produisent ainsi, par minute, un volume d'air de 3300 litres d'air comprimé à 4 atmosphères 1/2. Les compresseurs, avec leurs accessoires, ont coûté 16.000 francs.

(1) On trouvera, à la fin de cette Note, une description de la perforatrice Ferroux.

(2) La conduite a 0^m,10 de diamètre sur un kilomètre de longueur, et 0^m,07 au-delà.

L'air comprimé arrive ensuite dans des réservoirs à air d'une capacité de 40 mètres cubes, soit de 8 à 10 m.c. par machine perforatrice en mouvement. Ces réservoirs, calculés pour résister à une pression de 6 atmosphères, ont coûté 6000 fr.

La conduite d'air se compose, dans la première moitié, de tuyaux en fonte de 0^m 10 de diamètre intérieur, à collets fixes tournés et à brides mobiles avec rondelles en caoutchouc et de tuyaux de 0^m,07 de diamètre dans la seconde partie. Le prix de cette conduite est de 12 francs, pose comprise.

L'appareil perforateur, placé dans la galerie d'avancement, se compose d'un affût portant 6 machines perforatrices actionnant chacune un fleuret de 0^m04 de diamètre. Nous donnons plus loin la description détaillée de cette machine. Quatre fleurets seulement sont en mouvement en même temps : chacun consomme environ 500 litres d'air par minute à la pression de 3 atmosphères 1/2 à laquelle se réduit la pression initiale par suite de son passage dans les conduites.

La machine fournit 3300 litres d'air comprimé à la minute, pour une consommation utile de 2000 litres. L'excédant est destiné à parer aux pertes inévitables, et à permettre, au cas de besoin, d'actionner un fleuret de plus.

Mais il est presque impossible de faire marcher habituellement plus de 4 machines perforatrices, dans une galerie de 7 mètres carrés de section. Chacune d'elle exige 3 hommes pour son service. Il est déjà difficile que 12 hommes ne se gênent pas dans cet étroit espace où ils sont distribués autour de l'affût qui porte les machines perforatrices.

Les trous de mine ont en général de 1^m à 1^m,20 de profondeur, et sont creusés avec telle inclinaison qu'on veut. Ils sont chargés avec des cartouches de dynamite, à raison de 1 kilogramme par trou. Pour obtenir l'abattage d'une section complète de la galerie, il faut percer 12 trous auxquels on met le feu à la fois. La durée du perçage de ces 12 trous est de 4 heures. L'entrèvement du déblais exige le même temps, de sorte que l'avancement du travail est de 3^m à 3^m,50 par 24 heures.

Un affût avec ses 6 perforatrices coûte 9000 francs. L'entreprise du Mont Cenis en a trois, afin que les accidents ou réparations courantes ne puissent jamais être une cause d'arrêt pour le percement de la galerie.

En résumé, on peut dire que si l'on veut obtenir un avancement de 3^m à 3^m,50 par jour dans des roches dures, il faut faire agir en même temps quatre fleurets et que chaque fleuret exige environ 20 chevaux de force.

Quant au prix de revient de la galerie d'avancement, voici les chiffres auxquels on arrive dans les travaux du Mont Cenis, en tenant compte de

l'amortissement des dépenses d'installation, qui se sont élevées en tout à 145.000 francs.

Le prix du déblai proprement dit est de 27 francs par mètre cube. Ce prix comprend les frais du personnel employé à la perforation et à l'enlèvement des déblais, ainsi que la fourniture de la dynamite (qui ne figure pas pour moins de 15 francs par mètre cube).

La répartition des frais d'installation des machines sur le total des déblais à exécuter en galerie donne, par mètre cube, une dépense de 14 francs. Si on joint à ces deux éléments de dépense 10 0/0 pour faux frais et bénéfice, on peut évaluer à 45 francs environ le prix de revient du mètre cube dans la galerie d'avancement.

Si l'on veut avoir une idée du degré de dureté de la roche, on peut se baser sur le prix de déblai de l'abattage et du strosse qui, exécuté à la main par les procédés ordinaires, revient à 16 francs le mètre cube.

II.

Les travaux de perforation mécanique de la galerie d'avancement, commencés en Février 1880, ont été terminés au mois de Mai 1881. La conduite habile de l'entreprise permet de compter que l'exécution de la déviation, y compris la pose de la voie, sera complètement achevée moins de six mois après, et, à cette occasion, je voudrais appeler l'attention des Ingénieurs sur les principes qui doivent présider à la direction des travaux d'attaque des souterrains, lorsqu'on y emploie les perforateurs mécaniques. Ces engins exigent une modification dans le système auquel on donnait jusqu'ici la préférence pour l'exécution des souterrains.

Les engins mécaniques, en effet, s'appliquent en général à des percées très longues, d'où les attaques par puits sont exclues, et où la facilité des transports joue un rôle des plus considérables, pour l'exécution rapide et économique des travaux. D'ailleurs, la rapidité de l'avancement de la perforation mécanique exige l'installation de nombreux chantiers pour les abattages, si l'on ne veut se laisser distancer outre mesure, et si l'on ne veut pas perdre, en définitive, le bénéfice de l'ouverture rapide de la galerie.

La conclusion qui s'impose ensuite de ces deux faits d'une importance capitale, c'est que la galerie d'avancement doit être placée au niveau de la plate-forme du tunnel, *quelle que soit la nature du terrain dans lequel il est ouvert*, au lieu d'être placée dans la calotte, comme on le faisait le plus ordinairement dans les souterrains entièrement exécutés par la main des

mineurs. Les maçonneries suivent alors le déblai de la galerie d'avancement à une distance de 150 mètres à peine, et, quand le percement de la galerie est terminé, il faut au plus six mois pour livrer la déviation à l'exploitation.

C'est du reste, il est bon de le rappeler, de cette façon qu'ont été conduites les attaques du grand tunnel du Mont Cenis. Au tunnel du St-Gothard, qui est encore loin d'être achevé, quoique la galerie d'avancement soit ouverte depuis un an, on a cru devoir conserver le système d'attaque en calotte, et on s'en est mal trouvé.

Pour faire juger de la gravité de cette question de la méthode à appliquer dans la direction des travaux des souterrains, je ne crois pouvoir mieux faire que de donner ici un extrait d'une lettre que M. Bridel, Ingénieur en chef de la ligne du St-Gothard, a bien voulu m'écrire à ce sujet. Appelé après la mort de l'entrepreneur Favre à la direction des travaux du grand souterrain, en même temps qu'il était chargé de l'exécution des lignes d'accès, M. Bridel a pu se rendre compte des difficultés qu'a entraînées sur plusieurs points un mode vicieux d'emploi des perforateurs mécaniques.

Voici comment s'exprime M. l'Ingénieur en chef Bridel :

« C'est au grand tunnel du St-Gothard que nous reconnaissons le plus complètement les inconvénients du système suivi par l'entreprise (galerie unique en calotte). La galerie est percée depuis 11 mois et le tunnel est loin d'être achevé. — Il reste à faire 4758^m de pied-droit Est et 4,114^m 60 de pied-droit Ouest (sur 14920^m de chaque côté). Nous avons fait en Janvier 1881 environ 15000^m3 de déblai et 121^m de pied-droit Est, 260^m de pied-droit Ouest et il y a encore à faire 90000^m3 de déblai. — Voici le vice du système :

« La galerie d'avancement progressant 5 à 6 fois aussi vite qu'elle le ferait à la main, il n'est plus possible de la suivre, à court intervalle, avec une seule attaque (frontale) de battage au large et de strosse. — Il en faut 5 à 6 de chaque espèce (Fig. 202 et 203). — Cela est facile pour le battage au large en calotte ;

Fig. 202. — Coupe transversale.

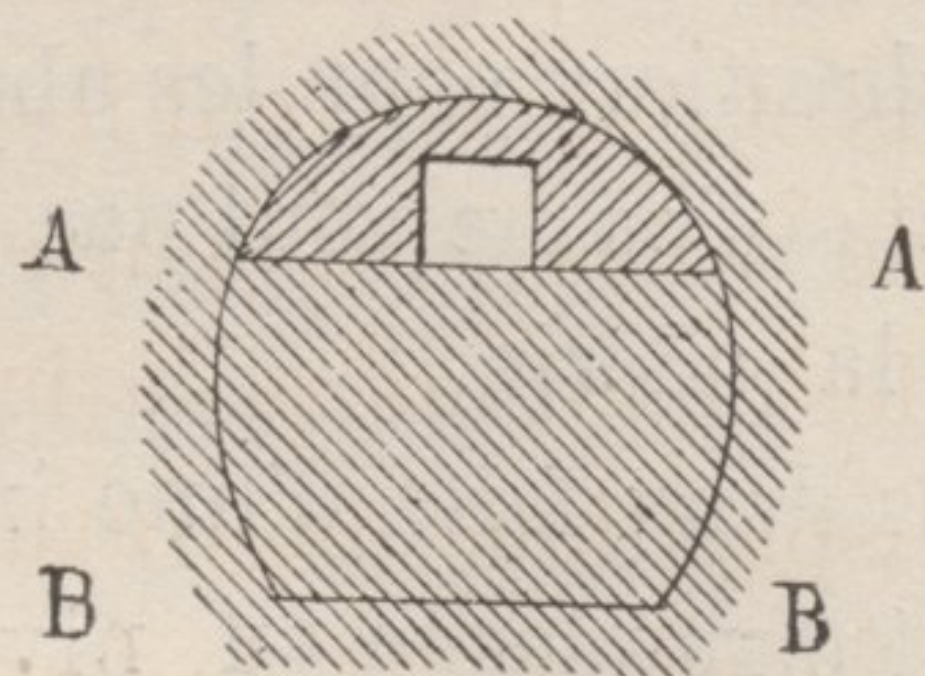
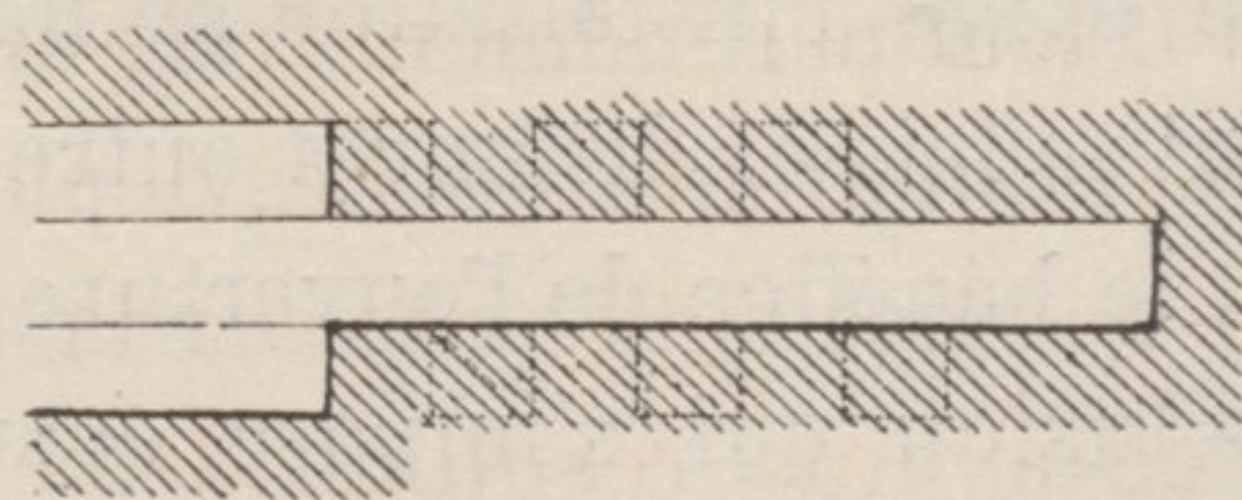


Fig. 203. — Coupe horizontale.



quand la galerie a pris quelque avance, on peut installer à volonté des chantiers latéraux. — Pour le strosse il en est autrement : Il faut tout d'abord conserver

une rampe pour raccorder l'étage AA avec celui BB (Fig. 205 et 206), on est ainsi arrivé à le faire en 2 étages à l'aide des rampes 1 et 2.

Fig. 204. — Coupe longitudinale.

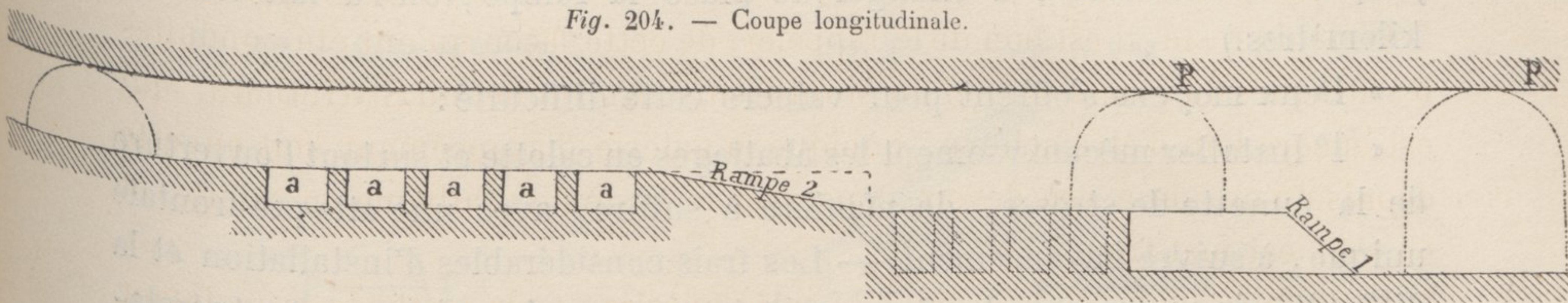


Fig. 205. — Plan.

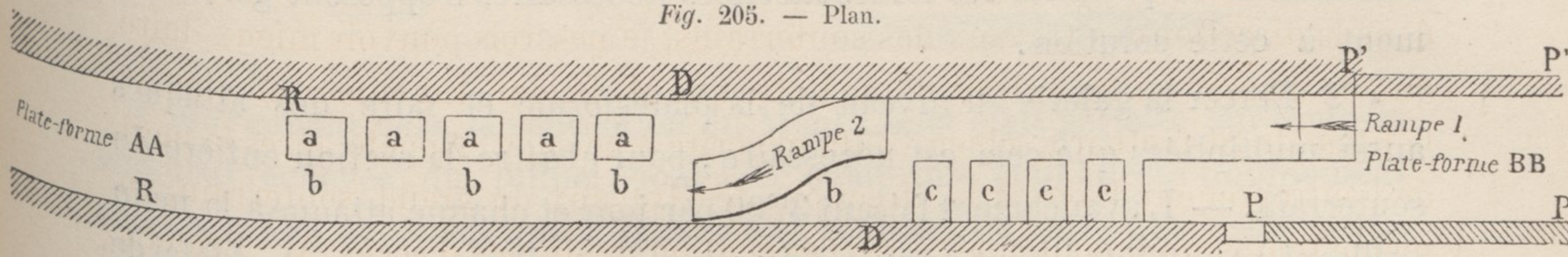
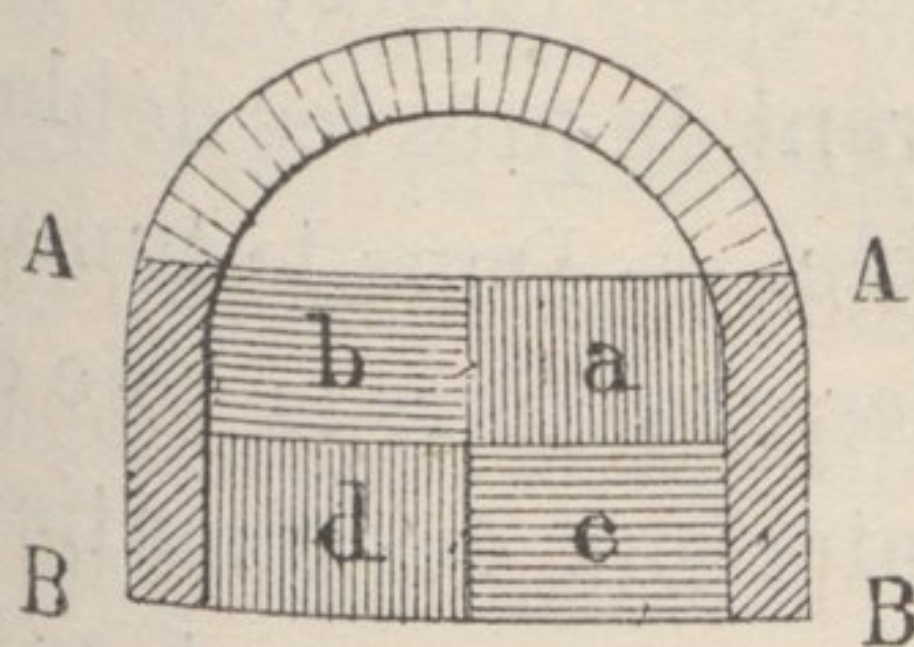


Fig. 206. — Coupe transversale.



« L'étage supérieur *a* de la cunette se fait en 5 ou 6 attaques qui se présentent comme des fouilles en fondation; en général il faut épuiser, même lorsque les infiltrations sont peu importantes. — Les chantiers de cunette *a a* rétrécissent le passage des wagons à l'étage *b* : pour se débarrasser de leurs déblais, il faut espacer les wagons sur la voie

au droit de ces chantiers, charger les déblais sur la banquette *b* entre ces wagons et faire la reprise entre les wagons pour les charger, ou bien établir un plancher sur la cunette *a* quand elle est assez profonde. Pendant ce travail tout transport est interrompu. — Quand toutes ces attaques sont réunies il faut reporter la rampe 2 en R, afin de pouvoir déblayer la banquette *b b b* devenue disponible. — La cunette inférieure *c c* avance péniblement et avec elle le pied-droit gauche PP, jusqu'à ce que les attaques *c c* se soient rejointes; alors il faut forcer sur la maçonnerie. — Le pied-droit P'P' est arrêté jusqu'à ce que la rampe 1 puisse être reportée en D. — Il en résulte qu'il faut par moment trois cents maçons et que souvent il est difficile d'en employer quarante. — Les déplacements de voies, les épuisements, le manque de garages suffisants sur la longueur des chantiers occasionnent des faux-frais effrayants résultant de ce que les dispositions du travail doivent sans cesse changer au lieu de se perfectionner, comme elle le feraient si le travail avait été bien coordonné. — De fait, nos ouvriers sont répartis sur 5000^m de long, 11 mois après achèvement de la galerie, et, sur ces 5000^m, les transports et le travail du mineur sont sans cesse en conflit.

» Enfin, à mesure que la cunette s'allonge, le défilé de l'étage supérieur s'allonge également et les transports deviennent de plus en plus difficiles, jusqu'à ce l'on arrive à changer de place la rampe; (on l'a fait tous les kilomètres.)

» Deux moyens s'offrent pour vaincre cette difficulté :

« 1^o Installer mécaniquement les abattages en calotte et surtout l'ouverture de la cunette de strosse, de manière à suffire, avec une attaque frontale unique, à suivre l'avancement. — Les frais considérables d'installation et la difficulté de se procurer les forces motrices nécessaires s'opposent généralement à cette solution.

« 2^o Percer la galerie au niveau de la plate-forme et faire des attaques aussi multipliées que cela est nécessaire, pour abattre la section entière du souterrain. — L'avancement faisant 3^m00 par jour et chaque attaque à la main suffisant pour 0^m50, il faut arriver à six attaques. — Il est vrai que le déblai de la calotte exige le percement d'une seconde galerie et coûte un peu plus cher que par l'autre procédé, mais les chantiers se développent sans effort; chaque jour l'espace disponible s'agrandit, les maçonneries suivent de près les déblais et le travail se concentre sur le plus court espace possible. — Dans le tunnel achevé, les transports n'offrent aucune difficulté; dans les chantiers la voie de la galerie inférieure n'est jamais encombrée par les matériaux des chantiers supérieurs qui chargent les wagons à travers des entonnoirs *e* ménagés dans la paroi (Fig. 207 et 208).

Fig. 207. — Coupe en travers.

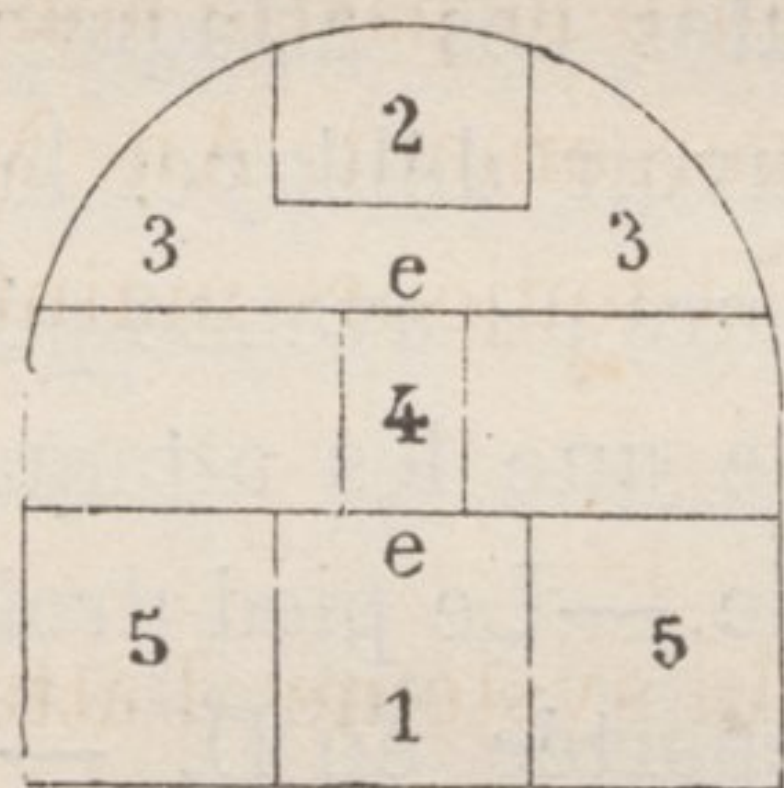
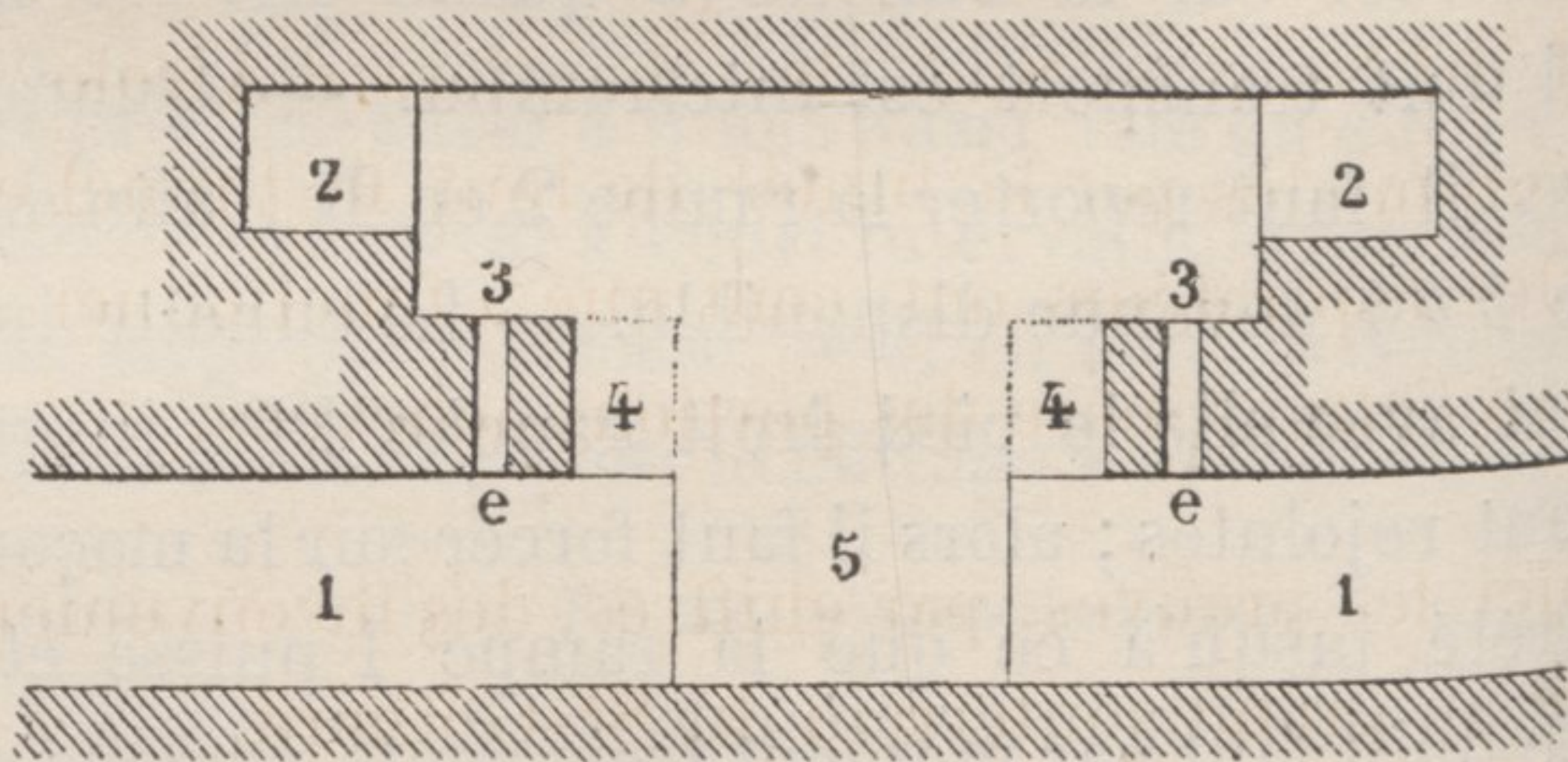


Fig. 208. — Coupe en long.



« On objecte à ce système la difficulté de la ventilation des étages supérieurs. — Nous ne remarquons aucune difficulté à ce sujet au Pfaffensprung, où il est appliqué, et au Mont Cenis il en a été de même. — Bien plus, il permet d'obtenir le résultat suivant : Aussi loin que le tunnel est achevé, on en partage la section en 2 parties séparées par le diaphragme *p*. (Fig. 209 et 210); un aspirateur installé en *a* provoque le passage d'un volume considérable d'air

dans la direction des flèches. — L'air vicié provenant de l'avancement et des travaux s'échappe également en *m* par la calotte.

Fig. 209. — Coupe en travers.

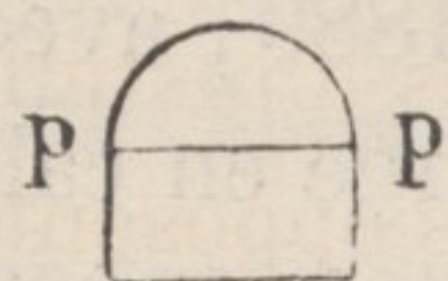
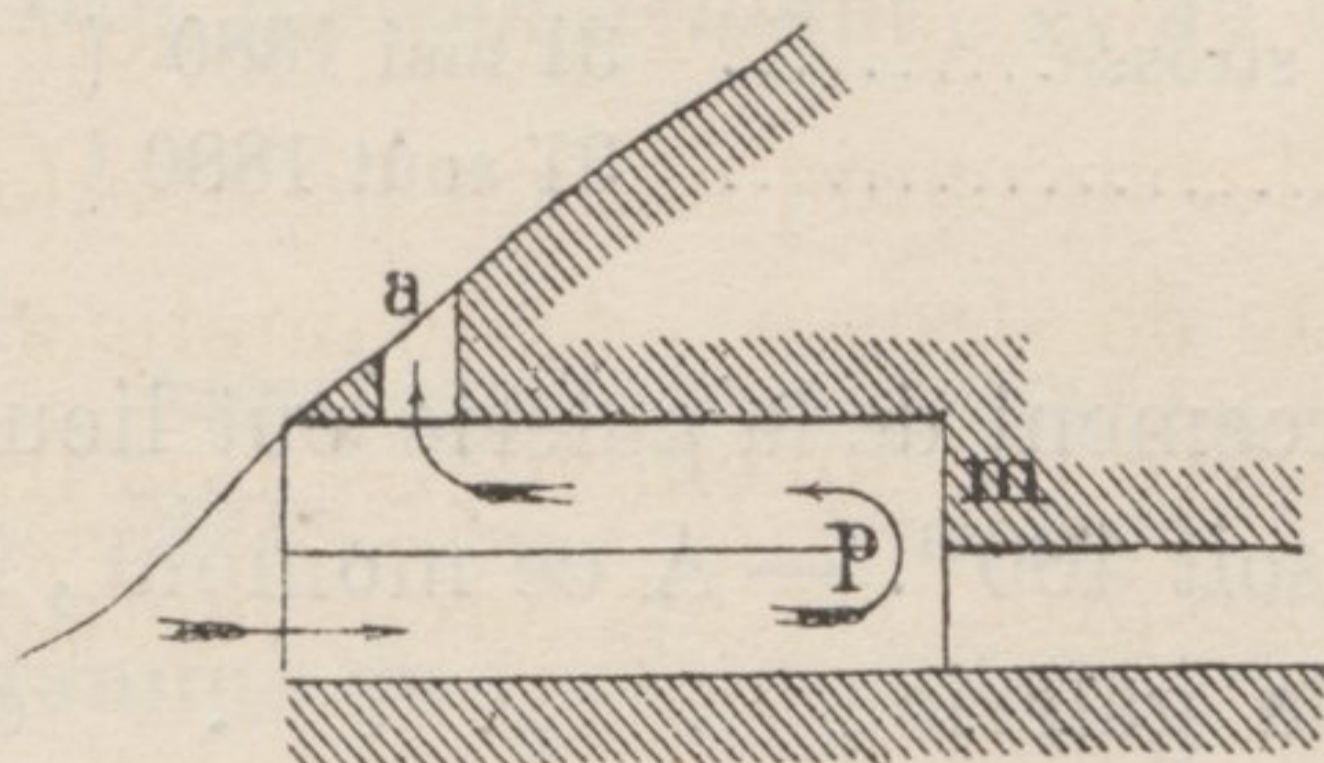


Fig. 210. — Coupe en long.



« Moyennant cela, la ventilation du Mont Cenis était parfaite sur toute la longueur achevée du tunnel; tout l'air comprimé était affecté uniquement aux chantiers occupant une longueur fort réduite, de sorte que cette ventilation était relativement excellente.

« Au Gothard les chantiers se sont allongés démesurément (plus de 6000^m) et la ventilation a été produite exclusivement par le mélange de l'air pur des compresseurs avec l'atmosphère viciée du tunnel; le renouvellement de l'air, près des têtes, par l'effet des courants mal définis qui s'y produisaient était généralement insignifiant. — Il en est résulté que l'on rencontrait, sur toute la longueur achevée, de l'air vicié au lieu de l'atmosphère pure du Mont Cenis. — Puis, la grande longueur des chantiers éparpillait la ventilation sur de trop grands espaces qui étaient imparfaitement pourvus d'air frais. Depuis le percement de la galerie, le renouvellement de l'air s'est amélioré et l'atmosphère est réellement bien plus pure dans le tunnel; mais lorsque le courant s'établit du Nord au Sud, les chantiers d'Airolo et toute la partie achevée sont incommodés par la fumée de tout le tunnel et inversement. Au Mont Cenis, les aspirateurs ont continué à fonctionner et ont toujours maintenu bien pure l'atmosphère des portions achevées.

« Voici les preuves, par chiffres, des inconvénients du système d'attaque employé au grand souterrain du St-Gothard.

« Suivant traité, l'entreprise Favre devait avoir achevé le tunnel en huit années à partir du 1^{er} Octobre 1872. — Avant le 1^{er} Octobre 1873, l'entreprise devait fournir son programme de marche des travaux; elle ne put remettre ce programme que le 1^{er} août 1875, c'est-à-dire après que les travaux eurent marché 2 ans et 10 mois. — Il y avait donc des données assez précises à ce sujet, mais l'entrepreneur, préoccupé seulement de forcer le travail de la galerie d'avancement, avait négligé le reste et croyait, à cette

époque, pouvoir regagner aisément tout le temps perdu. — Les délais d'achèvement prévus étaient :

1° Galerie d'avancement.....	31 décembre 1879.			
2° Battage au large en calotte.	30 avril 1880 (devait rester à faire au 31 décembre 1879.	1000 ^m .		
3° Cunette de strosse.....	31 mai 1880 (—	—	1250 ^m .
4° Strosse.....	31 août 1880 (—	—	2168 ^m .

« Le percement de la galerie eut lieu le 28 Février 1880, avec deux mois de retard, soit 400^m. — A ce moment, le battage au large en calotte était en arrière de la galerie de 1608^m au lieu de 1000^m
 La cunette de strosse de 4036^m — 1250^m
 Le strosse de 4980^m — 2168^m

« Ainsi la marche de l'étage supérieur n'a différé, par rapport à celle de la galerie, que de 608^m sur le programme, tandis que la marche de la cunette et du strosse ont été en retard, par rapport à la galerie, de 2800^m, soit d'environ une année (le maximum prévu au programme étant de 2904^m de cunette et de 3204^m de strosse par an).

« De plus, il y a lieu de remarquer qu'au 1^{er} Août 1875 les différentes attaques étaient en arrière, par rapport à l'avancement :

Pour les abattages en calotte	2450 ^m
Pour la cunette de strosse	2580 ^m
Pour le strosse.....	3600 ^m

« L'entrepreneur s'engageait à réduire ces distances, jusqu'au 31 décembre 1879, aux longueurs suivantes :

Abattage	1000 ^m
Cunette.....	1250 ^m
Strosse.....	2168 ^m

« Soit à les réduire comme suit :

Abattages.....	2450 ^m — 1000 ^m = 1450 ^m
Cunette.....	2580 ^m — 1250 ^m = 1330 ^m
Strosse.....	3600 ^m — 2168 ^m = 1432 ^m

« Au lieu de cela, il les a réduites comme suit :

Abattages	2450 ^m — 1950 ^m = 500 ^m
Cunette	2580 ^m — 4261 ^m = 1681 ^m (Augmentation au lieu de réduction).
Strosse	3600 ^m — 5392 ^m = 1792 ^m (— —)

« En quatre ans et deux mois, il est donc resté en arriére de ses prévisions :

Sur les abattages	1450 ^m — 500 ^m = 950 ^m
Sur la cunette de strosse.....	1330 ^m + 1681 ^m = 3011 ^m
Sur le strosse.....	1432 ^m + 1792 ^m = 3224 ^m

« Et, comme il s'était engagé à faire mensuellement, et au maximum, les avancements suivants :

250 ^m Battage au large de calotte.	
250 ^m Cunette de strosse.....	(242 ^m jusqu'au percement).
271 ^m Strosse.....	(267 ^m — —).

il s'est trouvé en retard sur son programme de :

Galerie d'avancement	2 mois.
Calotte.....	$\frac{900^m}{250^m} = \dots\dots 3.6 \text{ »}$
Cunette.....	$\frac{3011^m}{250^m} = \dots\dots 12 \text{ mois.}$
Strosse.....	$\frac{3224^m}{271^m} = \dots\dots 11 \text{ mois } 9 \text{ »}$

« C'est donc l'étage inférieur qui n'a pu suivre, tandis que l'élargissement en calotte avait suivi l'avancement à 1 mois 1/2 près. »

III.

Voyons maintenant comment, dans la pratique, on arrive à de meilleurs résultats, même pour des souterrains à voie unique, dont la faible section vient encore compliquer les difficultés.

Lorsque les souterrains sont à forte pente, on peut encore passer assez facilement de l'attaque en calotte à celle du strosse par attaques successives.

Fig. 212. — Coupe en long.

Fig. 214. Coupe en travers.

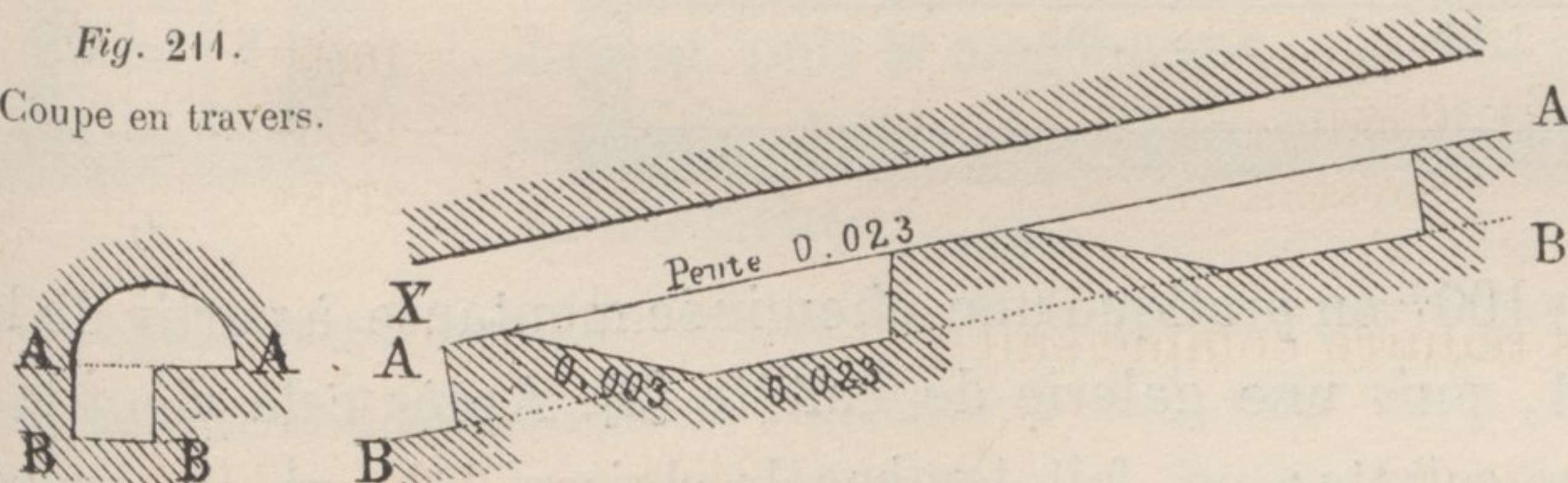
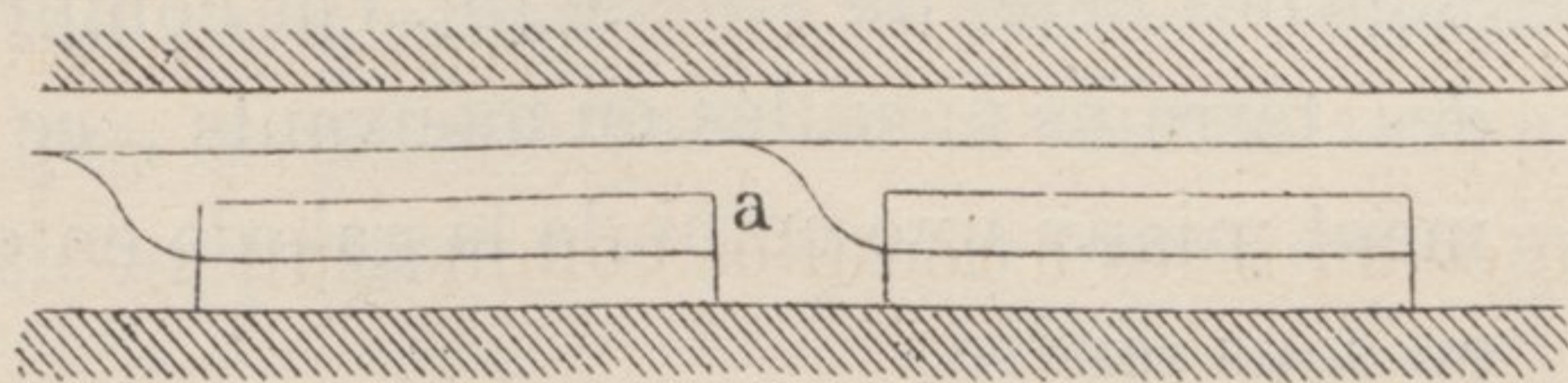


Fig. 213. — Plan.



Ainsi, au tunnel du Monte Cenere (1,675^m. de longueur), ouvert dans le faite qui sépare le lac Lugano du lac Majeur, on a établi tous les 300^m à 400^m un plan incliné de 0^m,003 qui s'enfonce de 2^m par 100^m à raison de la pente du tunnel qui est de 0^m,023, et on forma ainsi la cunette du strosse (Fig. 211 et 213).

Les transports se font au moyen de branchements de voie *a, a*, conduisant dans la cunette; de sorte que la circulation est notablement facilitée sur la banquette A A de la calotte, et les difficultés d'épuisement disparaissent.

Les wagons provenant de l'avancement, du battage au large en calotte et de la cunette du strosse roulent sur la banquette A A jusqu'en X. (Fig. 212) au point où la plate-forme est à largeur pour l'exécution des maçonneries; là il faut les transborder au moyen de couloirs dans les wagons de la voie principale. On est ainsi obligé de pousser le strosse au moyen d'une cunette ce qui est moins avantageux que si l'on procède de front sur toute la largeur du tunnel.

Le tunnel étant à une voie, la circulation y est difficile, on ne peut faire la voûte avant les pieds-droits, sous peine de rétrécir à l'excès cet espace, et les maçonneries ne peuvent suivre les abattages et la cunette du strosse, mais doivent attendre l'achèvement complet de l'excavation.

L'entrepreneur aurait mieux fait de passer franchement de la galerie en calotte à celle de base par une réduction de pente de 20 %.

Le souterrain du Pfaffen-Sprung (tunnel hélicoïdal de 1460^m de longueur, entre Amsteg et Goschenen dans la vallée de la Reuss) est attaqué par la base et avance avec une grande rapidité; il est une des meilleures preuves de la supériorité de ce mode d'attaque sur celui d'ouverture de la galerie en calotte (Fig. 214 et 215).

Fig. 214. — Coupe en long.

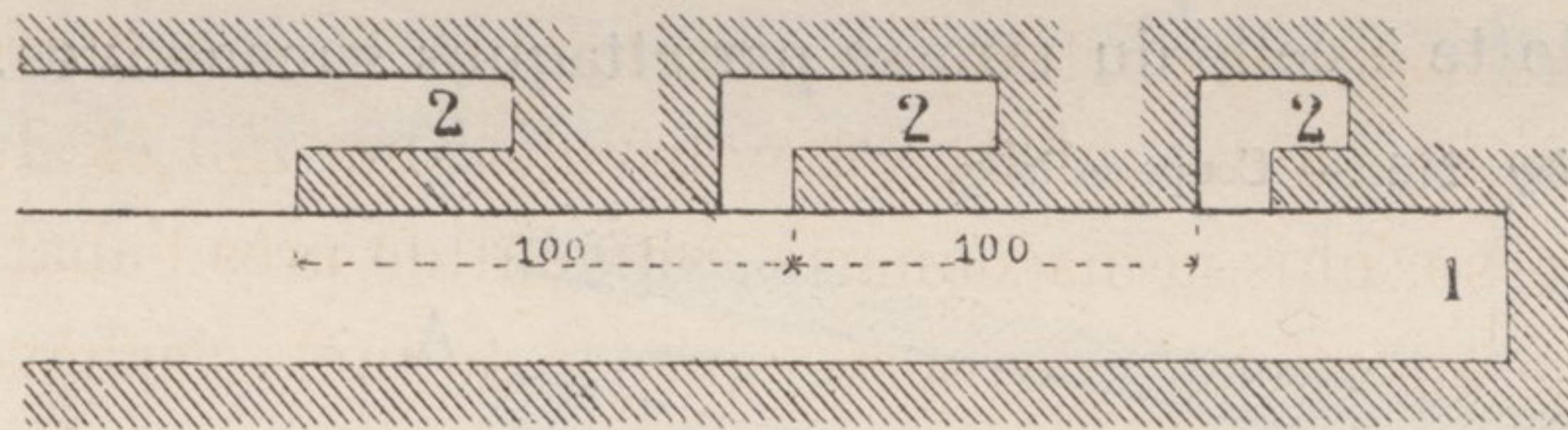
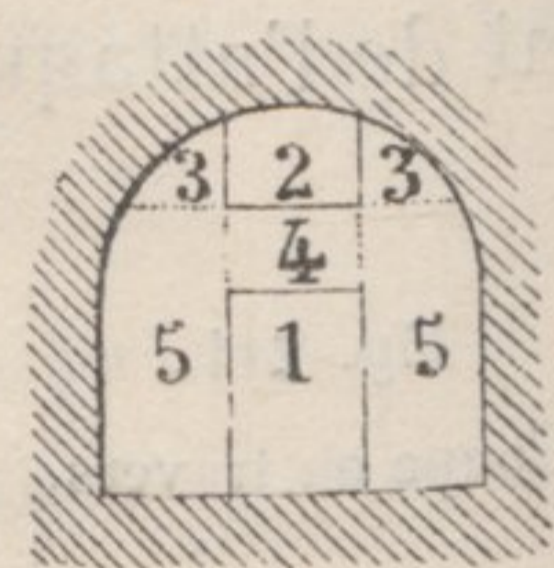
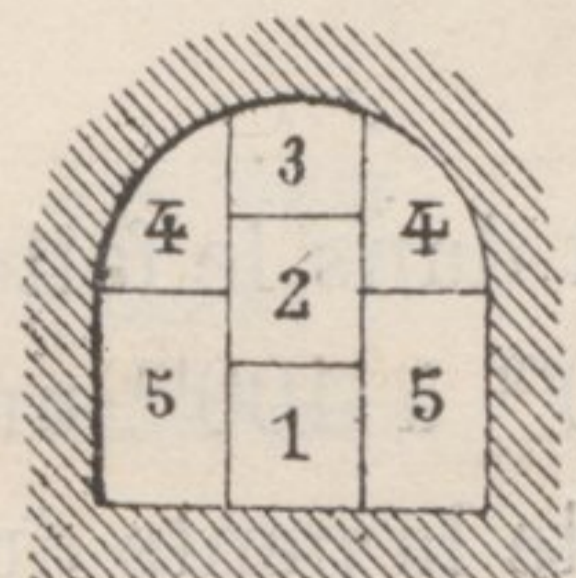


Fig. 215. — Coupe en travers.



De 100^m en 100^m on pratique une cheminée montante à partir de la galerie d'avancement, puis une galerie de calotte [2]. Après cela vient le battage au large [3] en calotte; on fait tomber la cloison [4], et on procède sans difficulté à l'abattage des côtés du strosse [5]. On comprend que, même dans

Fig. 216.
Coupe en travers.



des terrains mouillés ou mouvants, ce procédé vaut infiniment mieux que celui de la galerie en calotte et des reprises en sous œuvre.

Dans le grand souterrain du Mont-Cenis où les boisages n'étaient pas nécessaires, l'application d'un procédé analogue n'a souffert aucune difficulté et a donné les meilleurs résultats (Fig. 216).

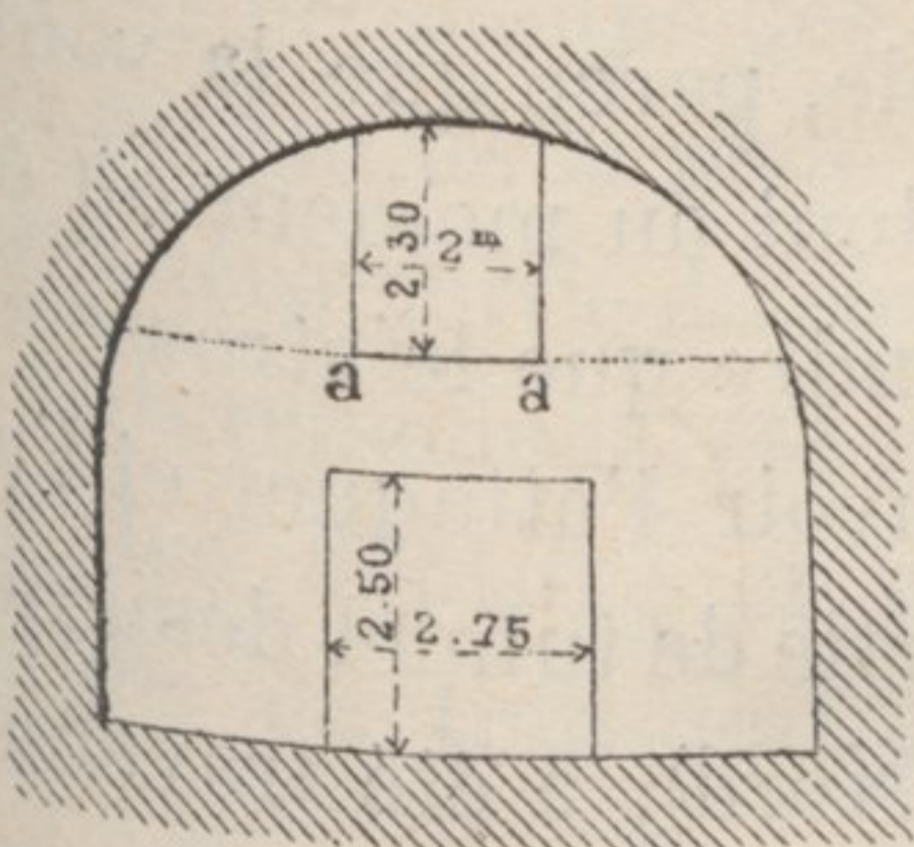
La galerie d'avancement se faisait à la hauteur de la plate-forme, elle recevait de suite une voie bien établie et bien asséchée. Au lieu de faire la cunette, pour attaquer le reste du tunnel, en approfondissant (Fig. 204) on la faisait en relevage, en général à la machine, on était donc parfaitement à sec. — Les attaques de battage au large en calotte, se faisaient facilement à l'aide d'un plancher établi à la hauteur voulue; on les pratiquait à des intervalles tels que tous les chantiers d'une tête étaient concentrés sur moins de 1 kilomètre; sur le reste de la longueur le tunnel était complètement achevé.

Le système de galerie de plate-forme se prête parfaitement au boisage; il est bien supérieur à l'attaque en calotte en ce qui concerne les transports. — Si on le désire, on peut exécuter la voûte avant d'abattre le strosse 5. — Enfin, dès qu'une faible longueur de strosse 5 est abattue, chaque chantier dispose de l'emplacement nécessaire à un garage. — Aussi le Mont Cenis a-t-il été achevé (voie posée) 9 mois après le percement de la galerie.

Le système imposé à l'entreprise de l'Arlberg (1), paraît devoir s'approprier à tous les cas, pour le percement mécanique des souterrains. On exécute simultanément deux galeries séparées par un plafond *aa* (Fig. 217), toutes

Fig. 217.

Coupe en travers.



deux à la machine. — De 100^m en 100^m, on perce ce plafond d'un trou par lequel on charge les déblais du battage au large en calotte, dans les wagons de 4^{m³} de capacité circulant dans la grande galerie. — Ce battage au large se pratique en chantiers espacés de 100^m et marchant à la rencontre l'un de l'autre; l'abattage du plancher *aa* et du strosse, puis la maçonnerie, suivent de près l'abattage en calotte, de sorte que le tunnel s'achève rapidement.

« L'entreprise s'est engagée à faire 3^{m,30} de galerie par jour et à faire suivre le tunnel achevé à 600^m du front d'attaque; elle doit donc faire annuellement 1200^m de galerie et autant de longueur de tunnel achevé par an et par tête. Quel que soit l'avancement de la galerie, la retenue pour retard sera appliquée, dès que la portion achevée du tunnel sera en retard sur le programme. — Ainsi, supposons que l'attaque ouest doive avoir atteint, au

(1) Le tunnel de l'Arlberg, auquel la *Revue générale des chemins de fer* consacrera une Notice spéciale dans un prochain Numéro, se trouve sur la ligne de Innsbruck à Bludenz; sa longueur est de 10.270 mètres.

1^{er} Juillet, le piquet 1000^m, le tunnel devra être achevé jusqu'à 400^m de la tête. Si la galerie avait atteint 1200^m, mais que le tunnel ne fût achevé que jusqu'à 400^m de la tête, on porterait, en déduction de la situation mensuelle, l'amende pour retard sur 200^m de tunnel.

Je considère cette clause comme très utile, tout autant pour l'entrepreneur qui est tenu en éveil, et forcé de coordonner parfaitement son travail et en retire un grand profit, que pour la Compagnie qui sait toujours où elle en est (1).

« La perforation mécanique, dit encore à ce sujet, M. l'Ingénieur en chef Bridel, paraît devoir se substituer, petit à petit, au fonçement des puits profonds pour l'exécution des grands tunnels; mais il y a lieu de créer, pour ce genre de travail, une méthode bien coordonnée, permettant de faire suivre les abatages et les maçonneries. — Jusqu'ici, on n'a guère réussi que pour les grands avancements de galerie et il est intéressant de suivre les divers essais qui se font en ce sens. — Je crois cependant que la galerie à la base est à recommander parce qu'elle permet d'attaquer, sur n'importe quel point de la galerie, la section entière du souterrain et de *l'achever complètement* par tronçons indépendants. — Avec les puits, l'on crée aussi les chantiers indépendants, pouvant fonctionner isolément jusqu'à total achèvement de la partie du tunnel que chacun d'eux dessert; c'est ce même principe qu'il s'agit d'appliquer aux tunnels sans puits attaqués par perforation mécanique. — En outre, il est impossible d'exécuter, en commençant par la maçonnerie de la voûte, une portion de tunnel dans un terrain fortement compressible, parce que la voûte s'enfoncé nécessairement dans le massif du strosse, surtout au moment où on pratique le déblai de ce strosse. — Dès lors, il faut attendre que le strosse ait atteint une pareille partie d'un grand tunnel, pour pouvoir l'attaquer et l'on perd beaucoup de temps. — Ainsi au St. Gothard, la partie de tunnel désignée par l'expression *mauvaise partie* (2,760^m-2,840^m côté Nord), a été traversée en galerie en Novembre et Décembre 1875 et Janvier 1876; le battage large et la construction de la voûte ont commencé en Septembre 1876 pour être achevés en Juin 1877. — Le strosse et les piédroits, commencés en Novembre 1877, ont été achevés en Octobre 1878. — Mais lors de la reprise en sous-œuvre, la voûte s'était resserrée de 1^m00 et pendant la reprise elle s'est abaissée de 0^m 70; il a fallu tout recommencer. — Une portion analogue, longue de 40^m, rencontrée au milieu du tunnel (7484^m à 7525^m) en Novembre et Décembre

(1) L'entreprise Favre a, mensuellement, des frais généraux qui s'élevaient à fr. 186.000. — Il est arrivé que certaines situations mensuelles sont tombées au-dessous de fr. 370.000 et que l'entrepreneur s'est trouvé en déficit, et cela sur les travaux de strosse et de piédroit payés: le mètre cube de strosse 32 fr., le mètre cube de maçonnerie ordinaire en déblais du tunnel 40 fr. (déblai compris). C'est parce que la méthode suivie imposait un ralentissement temporaire, que l'on est descendu à un chiffre aussi bas, car la moyenne des situations mensuelles devrait être de 600.000 fr. — Ce ralentissement donne lieu à une augmentation de durée du travail et à une accumulation des frais généraux.

1879, n'est pas encore attaquée en abattage; on attend d'avoir achevé les parties adjacentes. »

En résumé, la perforation mécanique active l'avancement de la galerie dans un souterrain; dès lors, il faut pour profiter de cette avance y approprier les méthodes d'abattage. Il y a nécessité d'ouvrir aussi rapidement que possible l'étage supérieur, si l'on a établi la galerie principale à la base, ou l'étage inférieur si la galerie a été percée en calotte.

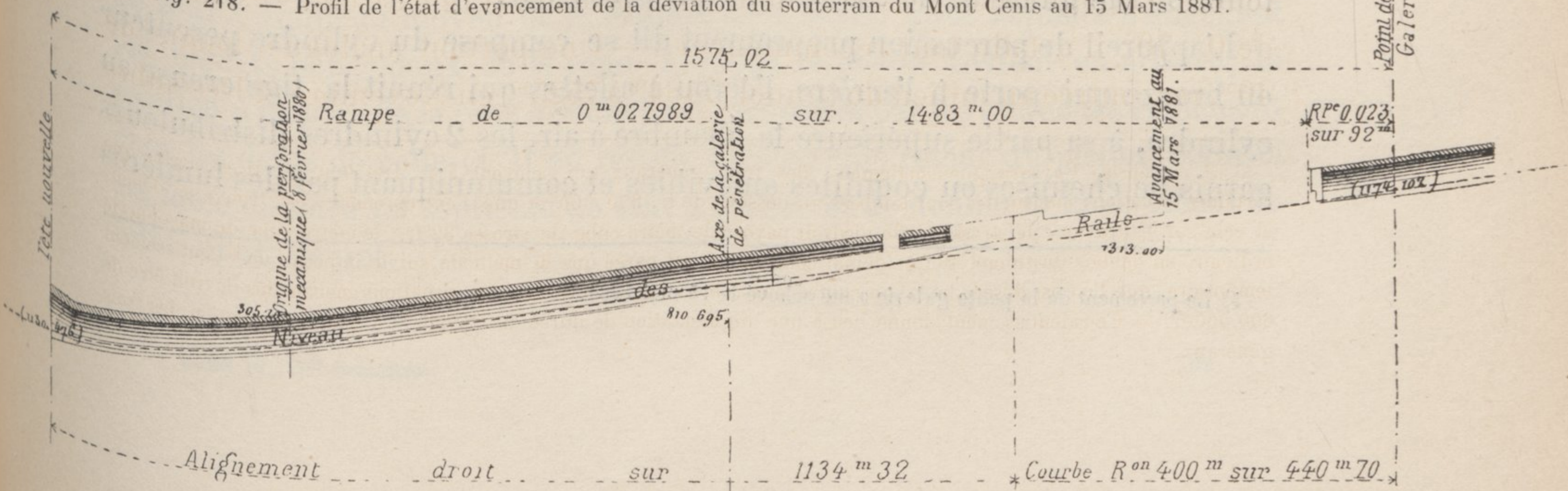
L'expérience du St-Gothard démontre l'impossibilité de procéder avec ordre et méthode, par conséquent d'une manière rapide et économique, à l'approfondissement de la galerie en partant de la calotte, de sorte que l'attaque par la galerie au niveau de la plate-forme finit par s'imposer comme la vraie méthode à appliquer, quand on a recours à la perforation mécanique pour l'exécution d'un souterrain d'une grande longueur.

Suivant que la nature du terrain exige ou non des boisages, il y a lieu de faire l'attaque de l'étage supérieur sous forme d'une deuxième galerie comme à l'Arlberg, ou sous forme de havages par gradins renversés comme on l'a fait autrefois au Mont-Cenis.

Dans l'exécution de la déviation actuelle, on n'a pas cru devoir prendre les mêmes précautions; les travaux y sont facilités par l'ouverture d'une galerie latérale qui débouche au milieu du souterrain. L'entrepreneur s'est plutôt préoccupé des frais de boisage qu'exigerait la continuation de l'attaque au niveau de la plate-forme, attaque à laquelle il avait été conduit dans la première partie du souterrain pour rejoindre la petite galerie latérale. Celle-ci a naturellement été percée au niveau inférieur pour l'évacuation des eaux et des déblais, et elle fait disparaître à peu près complètement les difficultés de transport contre lesquelles on viendrait infailliblement se heurter s'il s'agissait d'un souterrain plus long et sans autre moyen de dégagement que le passage par la tranchée de tête.

Le profil en long de l'état d'avancement du nouveau souterrain au 15 mars dernier (Fig. 218), montre quel est le mode d'attaque actuel de la petite

Fig. 218. — Profil de l'état d'avancement de la déviation du souterrain du Mont Cenis au 15 Mars 1881.



galerie. L'entrepreneur la fait remonter vers la calotte, à tort peut être : mais cependant sans qu'il puisse en résulter de biens grands inconvénients au point de vue du prompt achèvement des travaux, à cause des circonstances exceptionnelles que nous venons d'indiquer (1). Mais, en dehors de ces circonstances, il faudrait se garder de reproduire ce mode d'attaque; si l'on voulait ne pas reculer outre mesure la date de livraison d'un long souterrain à l'exploitation. Dans le cas contraire, l'emploi de la perforation mécanique n'aurait d'autre résultat que de satisfaire une certaine gloriole basée sur le percement rapide de la petite galerie, et serait d'un médiocre profit au point de vue de l'exécution du souterrain proprement dit.

IV.

Description de la perforatrice Ferroux (Pl. XVIII, Fig. 1 à 19).

La perforatrice Ferroux se compose de trois organes principaux :

1° Le *châssis*, destiné à supporter l'appareil de percussion et composé des longerons, de la culasse et de la têtère ;

2° L'*appareil de percussion*, soit le cylindre percuteur avec sa distribution le porte-outil (ou piston percuteur) et les accessoires ;

3° L'*appareil d'avancement automatique*, formé par les cylindres automoteurs et la tige creuse.

Outre ces parties essentielles il y a encore : les organes destinés à empêcher le recul du cylindre percuteur, soit le chevalet avec son piston et le couteau, les organes réglant l'avancement automatique, la griffe et son piston et enfin les organes donnant le mouvement de rotation au piston percuteur, c'est-à-dire la roue à rochets et les cliquets.

Le châssis est formé par les 2 longerons ou barres en acier portant les dents de la griffe sur leur face supérieure, les dents du couteau sur la face inférieure et la rainure du coulissage et de support des pièces mobiles sur leur face inférieure. Les longerons sont réunis à l'arrière par la culasse qui sert en même temps à fixer tout l'appareil sur l'affût, et à l'avant par la têtère faisant aussi fonction de guide de la tige du piston percuteur.

L'appareil de percussion proprement dit se compose du cylindre percuteur en bronze qui porte à l'arrière l'écrou à ailettes qui réunit la tige creuse au cylindre, à sa partie supérieure la chambre à air, les 2 cylindres distributeurs garnis de chemises ou coquilles amovibles et communiquant par des lumières

1) Le percement de la petite galerie a été achevé le 15 mai 1881.

de distribution, d'un côté avec la chambre à air et de l'autre avec l'air libre, les oreilles du balancier et enfin le cylindre formant coussinet d'air pour la griffe, le tout fondu d'une pièce. Dans la partie antérieure du cylindre percuteur se trouve la boîte à bourrage, la garniture en cuir et le presse-étoupe servant en même temps de logement à la roue à rochet et portant les oreilles de la griffe. Ces organes sont également en bronze. La distribution de l'air se fait par les 2 pistons distributeurs en acier dont le mouvement est rendu solidaire au moyen du balancier. A l'intérieur du cylindre percuteur voyage le piston percuteur qui porte les segments en acier faisant garniture et la rainure hélicoïdale qui donne le mouvement de rotation à la roue à rochet. Le porte-outil est rendu solidaire avec le fleuret au moyen d'un manchon également en acier.

L'appareil d'avancement automatique consiste en 2 cylindres automoteurs en bronze, voyageant l'un dans l'autre, et en une tige creuse en acier passant à l'intérieur, portant à son extrémité le chevalet et son piston et fixée au cylindre percuteur au moyen de l'écrou à ailettes. Le cylindre automoteur extérieur porte le robinet d'arrière et il est fixé aux longerons au moyen de 6 tétons.

L'agent moteur, air comprimé, vapeur, gaz, etc., accomplit lui-même toutes les fonctions nécessaires à la marche de l'appareil. Il entre par le robinet d'arrière, passe dans les cylindres automoteurs et la tige creuse et arrive dans la chambre à air. Il agit constamment sur les bagues faisant garniture, sur le piston de la tige creuse et du cylindre automoteur et tend toujours à pousser toute la partie mobile en avant. La distribution, depuis la chambre à air, se fait par les pistons distributeurs. L'un d'eux est levé et donne introduction, tandis que l'autre, par l'effet du balancier, est baissé et fait échappement. Leur mouvement est commandé par le piston percuteur lui-même qui porte à cet effet deux surfaces coniques. Il fait lever l'un des pistons distributeurs lorsqu'il arrive de son côté à fond de course, tandis qu'il se produit échappement derrière lui et vice-versâ. Il se produit ainsi mouvement alternatif en avant et en arrière du piston percuteur, qui lui-même le communique au fleuret solidaire avec lui.

Dans son mouvement en avant, il entraîne la roue à rochet à faire un $1/7$ de tour à droite au moyen de la rainure hélicoïdale dans laquelle s'engagent les taquets hélicoïdaux de la roue. Lorsque le piston revient en arrière, la rotation à gauche de la roue à rochet est empêchée par les cliquets s'engageant dans les dents de celle-ci. Il en résulte qu'à chaque retour du piston, celui-ci est forcé de faire un septième de tour à droite, et de donner le mouvement de rotation au fleuret.

Le chevalet et le couteau ont pour fonction d'empêcher le cylindre percuteur de reculer lorsque le piston frappe, c'est-à-dire qu'ils annulent la réaction résultant du choc du fleuret contre le rocher. Le couteau est forcé d'engrener constamment dans les dents inférieures des longerons par suite de la position du chevalet tenu en haut par son piston, qui reçoit sur sa face inférieure la pression de l'air comprimé.

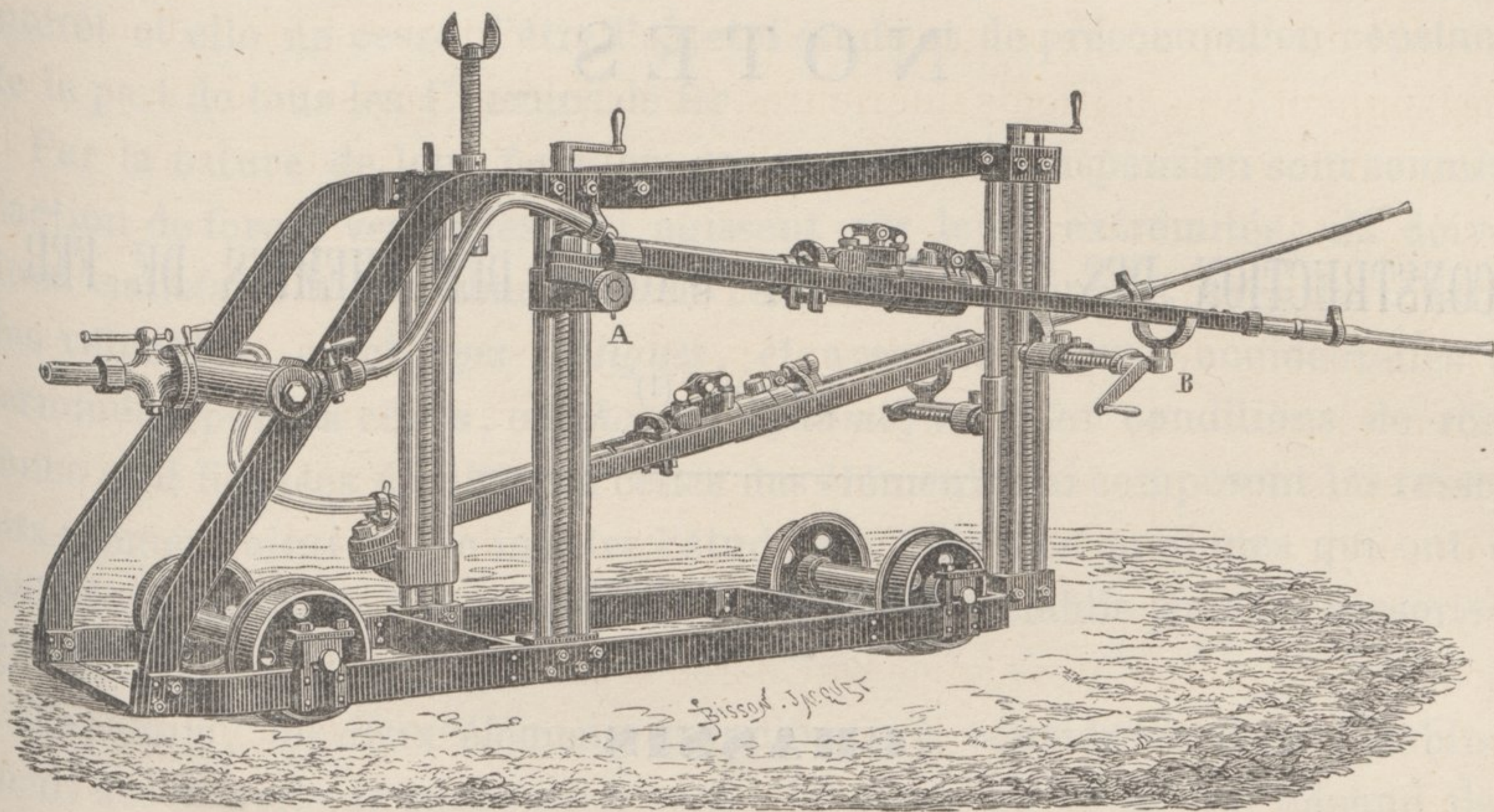
L'air comprimé agissant constamment sur la tige creuse, et par là sur toute la partie mobile de l'appareil, celle-ci tend toujours à avancer. Or, il en résulterait nécessairement que le piston percuteur, n'aurait plus de mouvement en arrière, puisque ce serait le cylindre percuteur qui avancerait et le fleuret se « coincerait » au fond du trou de mine. La fonction incombant à la griffe est justement d'empêcher cet effet de se produire. Le piston de la griffe sur lequel agit constamment la pression de l'air, force la griffe à engrener dans les dents supérieures des longerons. Le piston percuteur peut donc fonctionner en avant et en arrière. Mais lorsque le trou est assez avancé, la partie renflée de la tige du piston vient rencontrer le bec du taquet de la griffe, le soulève et sort la griffe des dents. Tout l'appareil mobile peut donc avancer d'un cran et recommencer son jeu régulier. Par suite de cette disposition, en connexion avec le mouvement automatique d'avancement, la machine règle sa marche toujours d'elle-même, quelque soit la nature et la dureté de la roche qu'il s'agit de travailler.

Affût de perforatrices. (Pl. XXVII et Fig. 219).

L'affût est destiné à supporter les perforatrices et à les disposer pendant le travail pour l'attaque du front en toute direction. Selon l'importance de la section et la rapidité du travail, on emploie les types à 2, à 4, à 6 ou à 8, machines fonctionnant simultanément. Il se compose essentiellement d'un châssis formé par 4 longerons, 2 inférieurs, 2 supérieurs, entretoisés convenablement et supporté par 2 essieux, de manière à pouvoir rouler sur la voie de la petite section.

Les perforatrices sont supportées à l'arrière par le support de culasse A et à l'avant par le support d'avant B. Ces supports se manœuvrent dans le sens vertical au moyen des vis de rappel des barres d'affût. Le support d'avant a en outre un mouvement dans le sens horizontal commandé par la vis de rappel horizontale. On comprend donc aisément qu'il est facile de donner une direction quelconque à la perforatrice, de manière à pouvoir percer des trous de mine dans tous les sens. Ces différents mouvements se donnent au moyen des clés et très rapidement.

Fig. 249. — Affût pour perforatrices Ferroux. Types à 2 machines.
(Pour y adapter 6 perforatrices , il suffit d'augmenter le nombre des supports A et B).



Tout l'appareil est maintenu en place par les griffes d'arrêt qui prennent les rails de la voie. L'air comprimé arrivant par la conduite au moyen d'une culasse en caoutchouc est distribué aux différentes machines travaillant sur l'affût.

Fig. 3.

Vue de face du côté des fleurets.

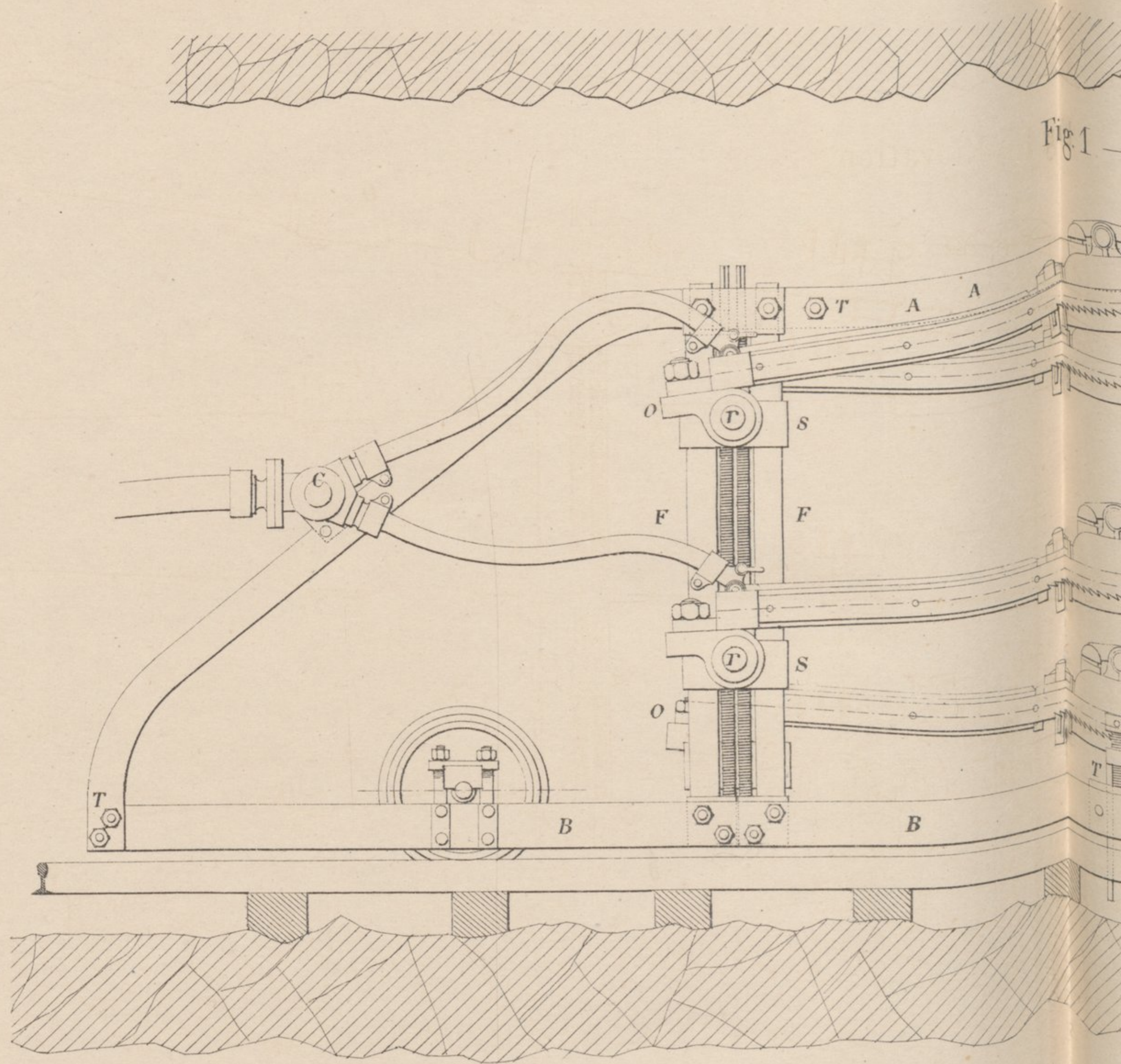
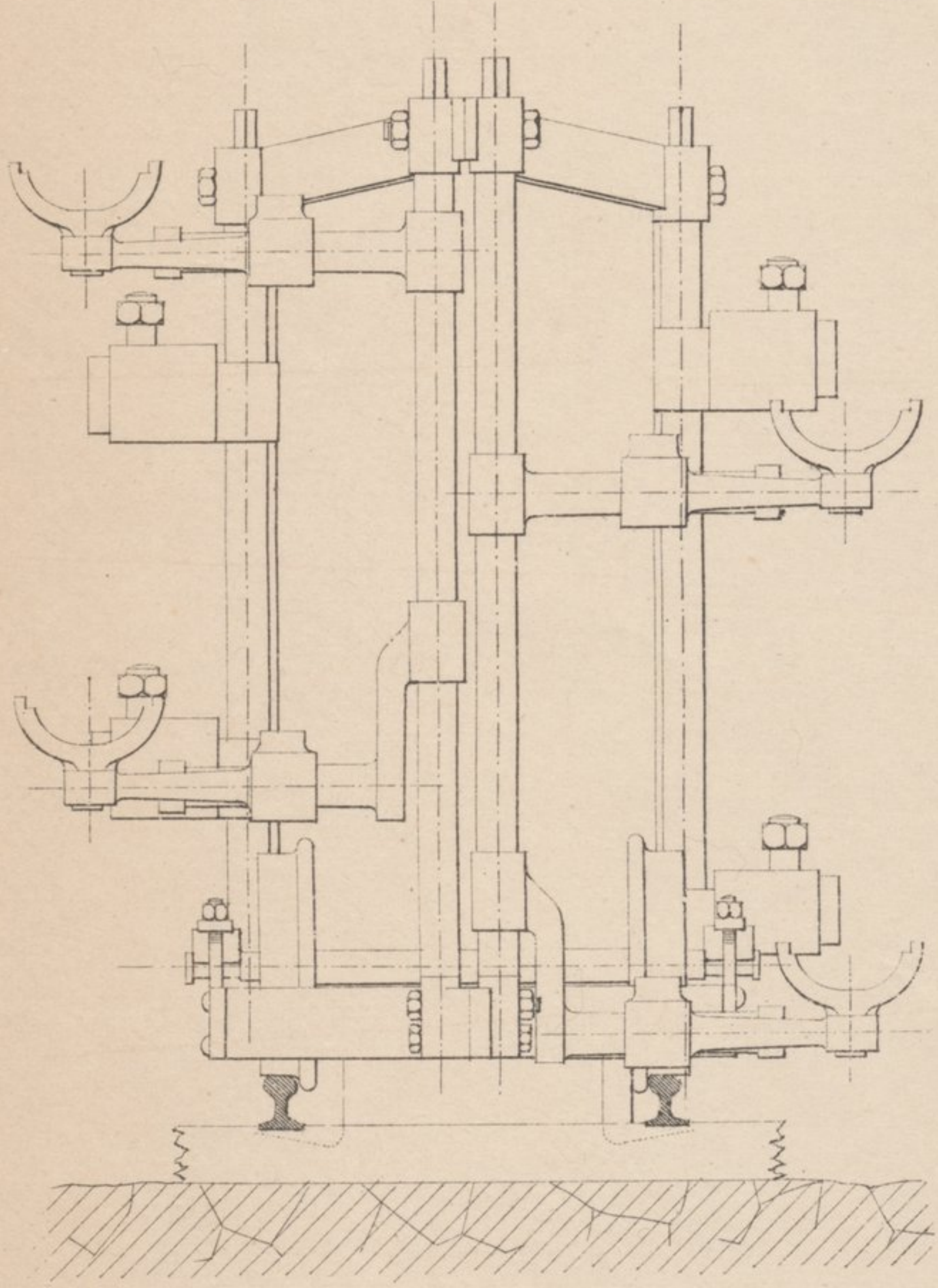


Fig 1

Affût à dédoublement, Système Mercier,
avec 4 Perforateurs Ferroux.

Echelle 1/20^e

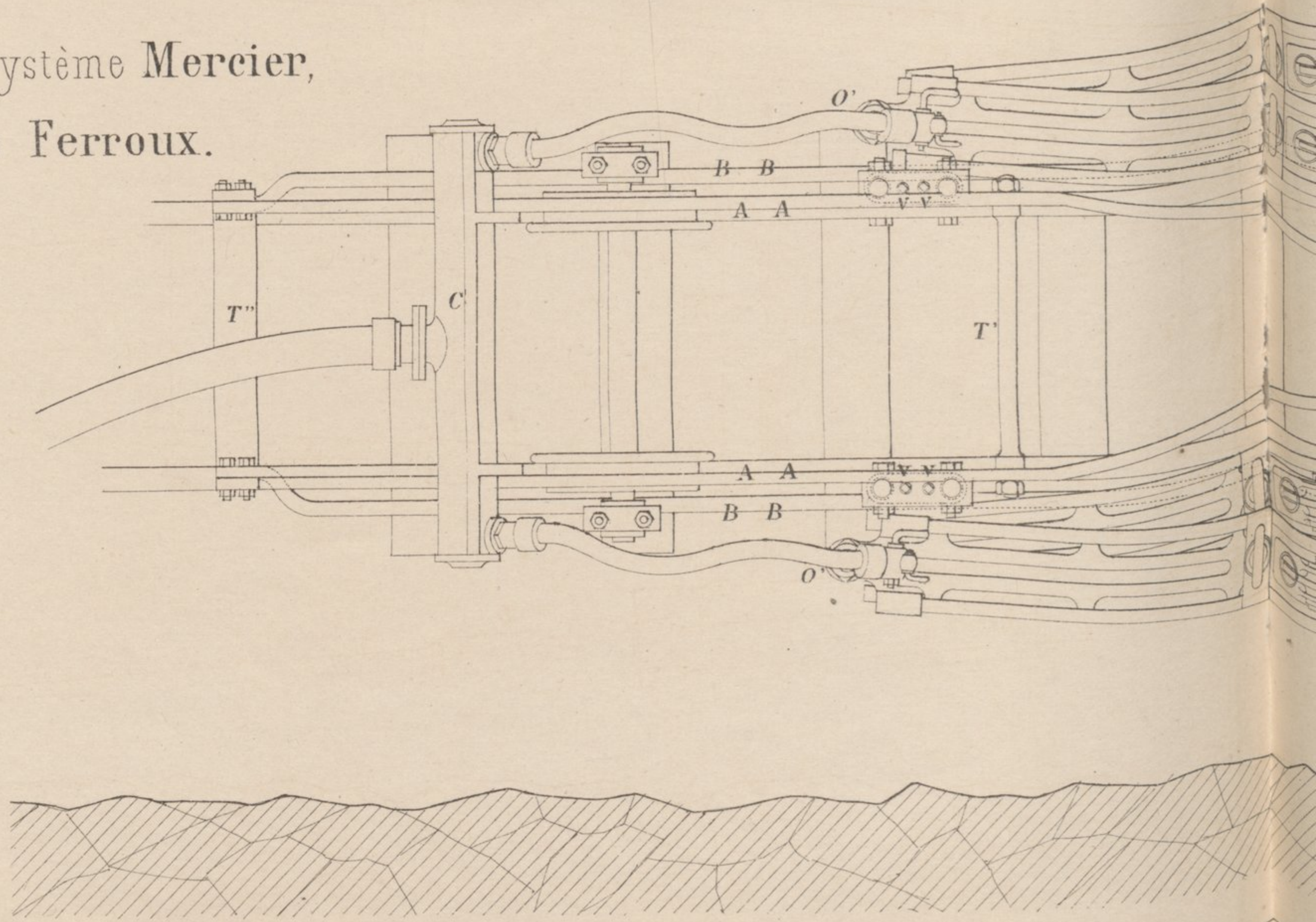


Fig. 5

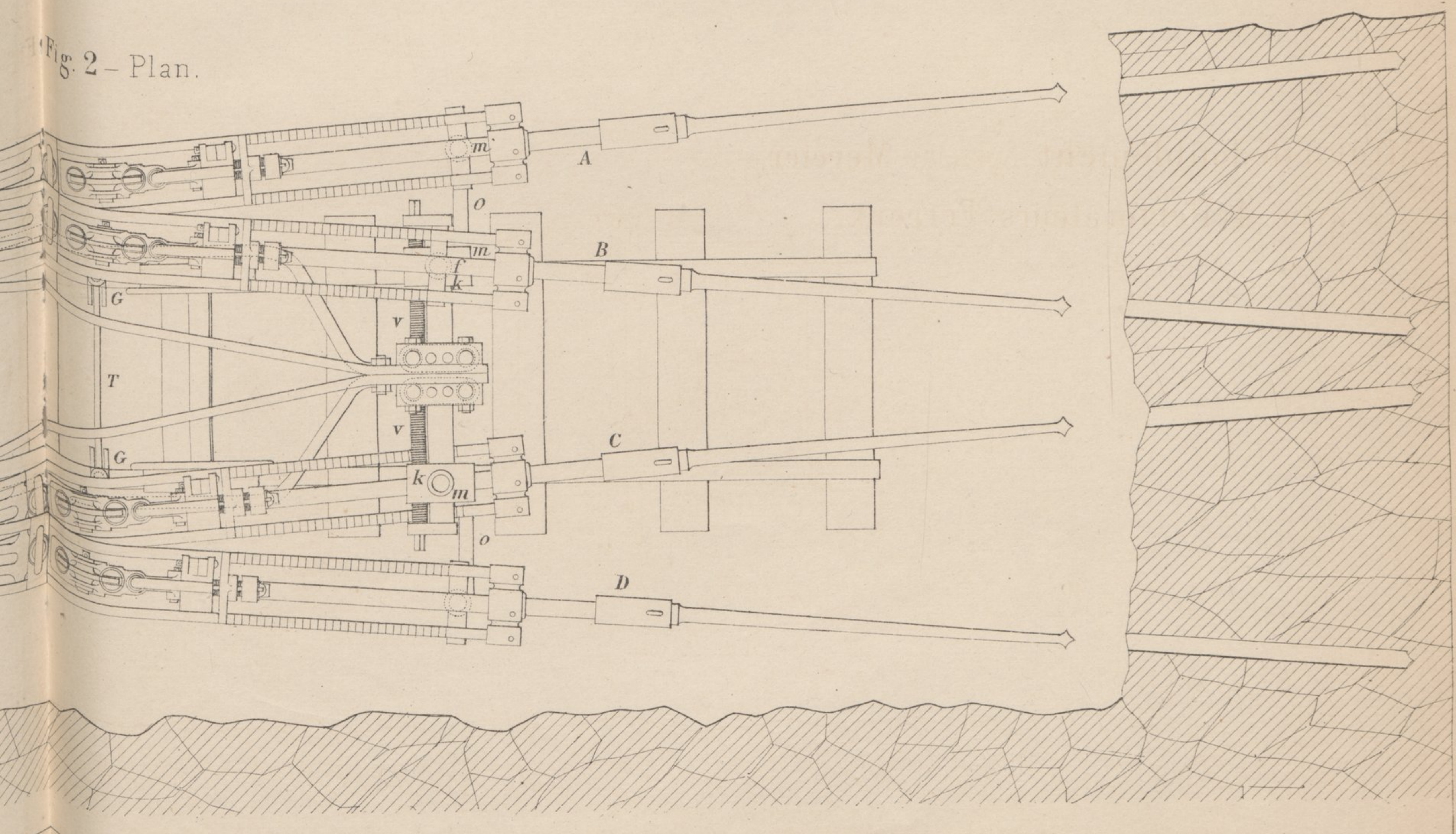
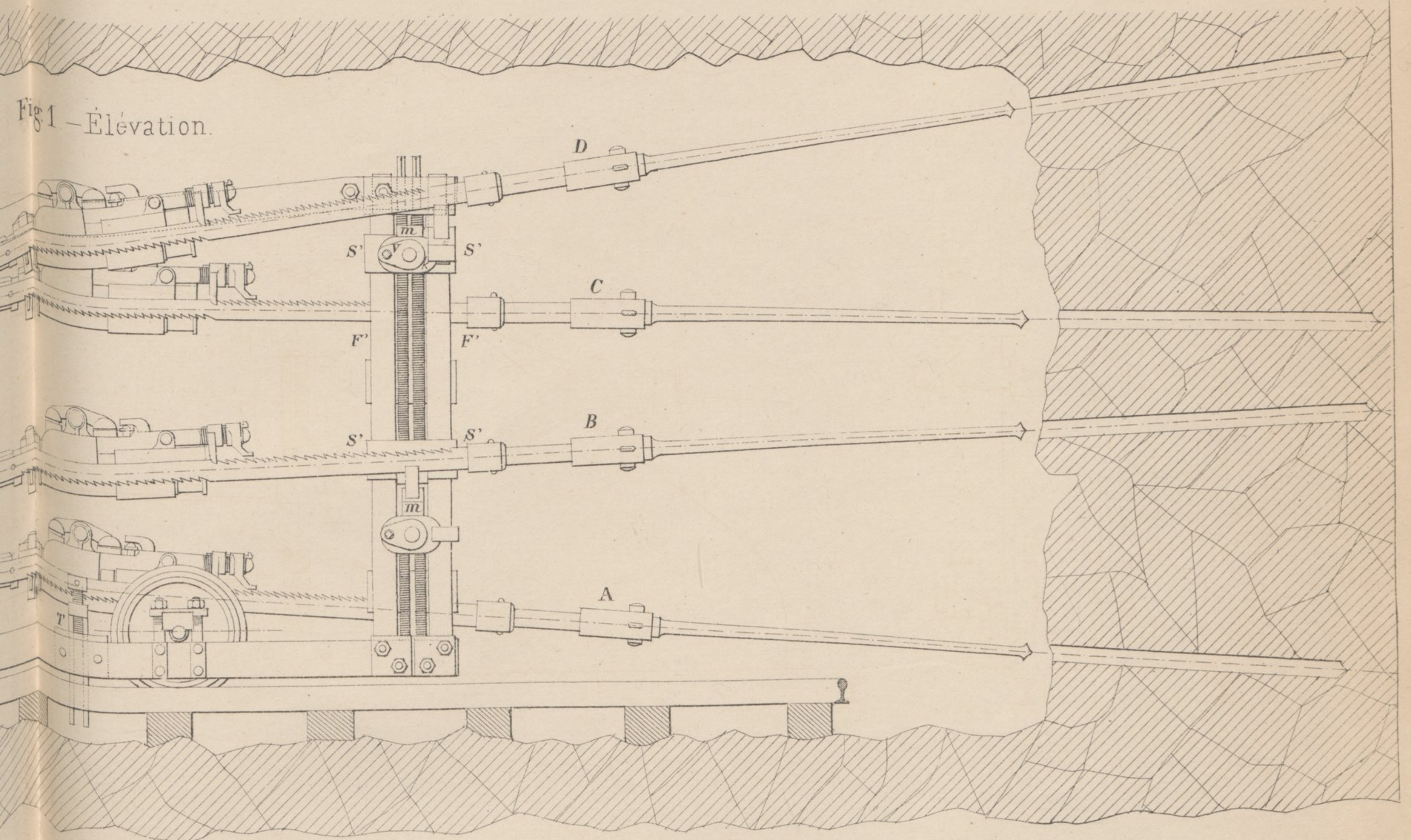


Fig.1 à 9 - Ensemble et détail

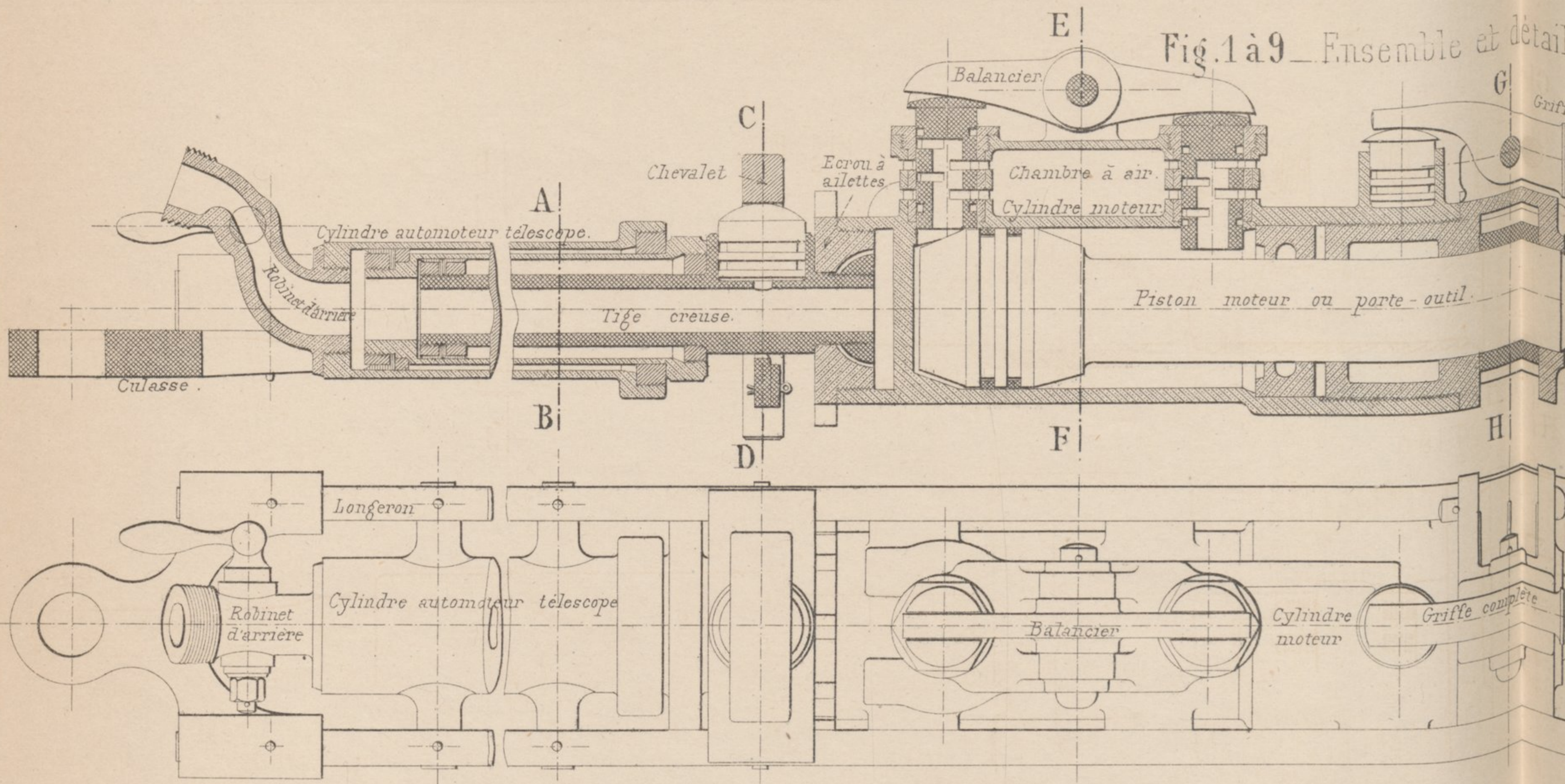


Fig. 10 et 11 - Compresseur d'air.

Elevation.

Echelle 0,05.

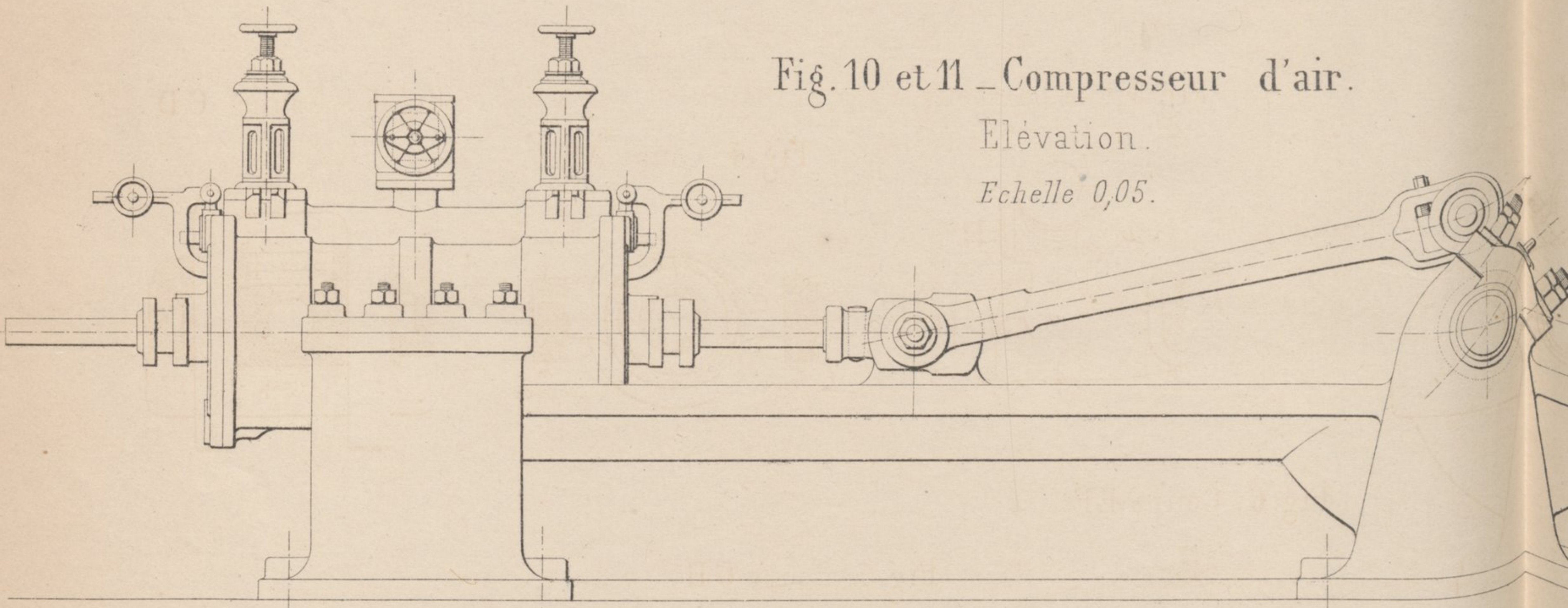
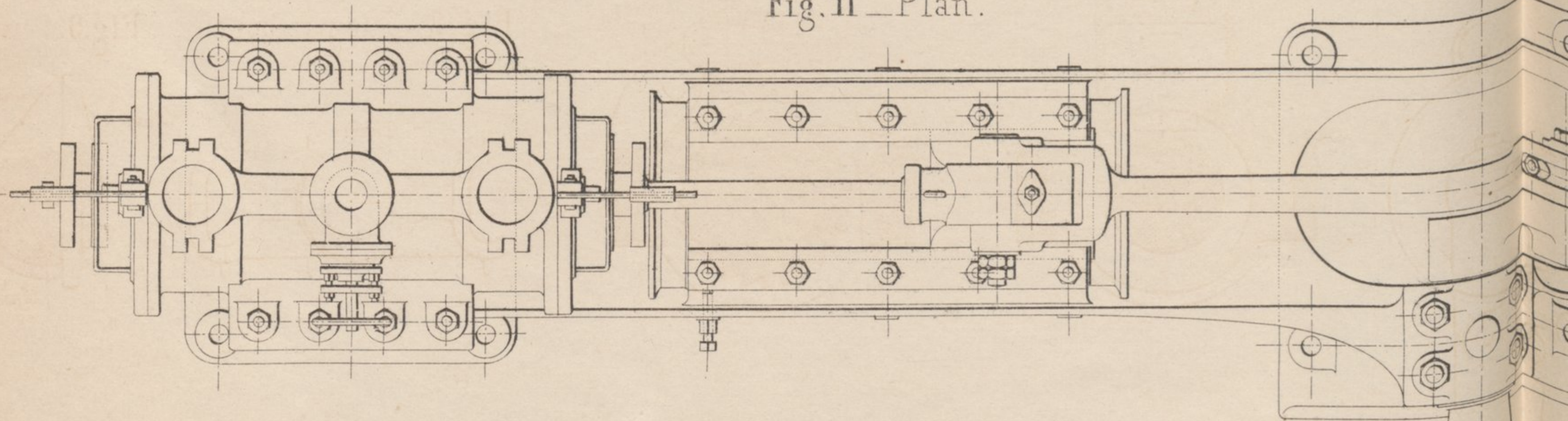


Fig. 11 - Plan.



et détails de la Perforatrice Ferroux. (Echelle 1/5^e)

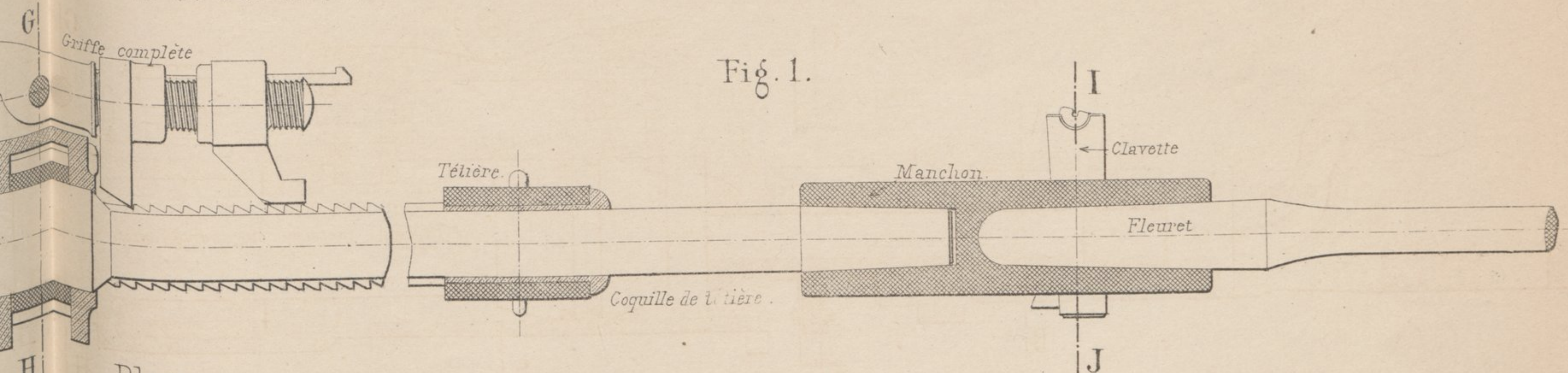


Fig. 1.

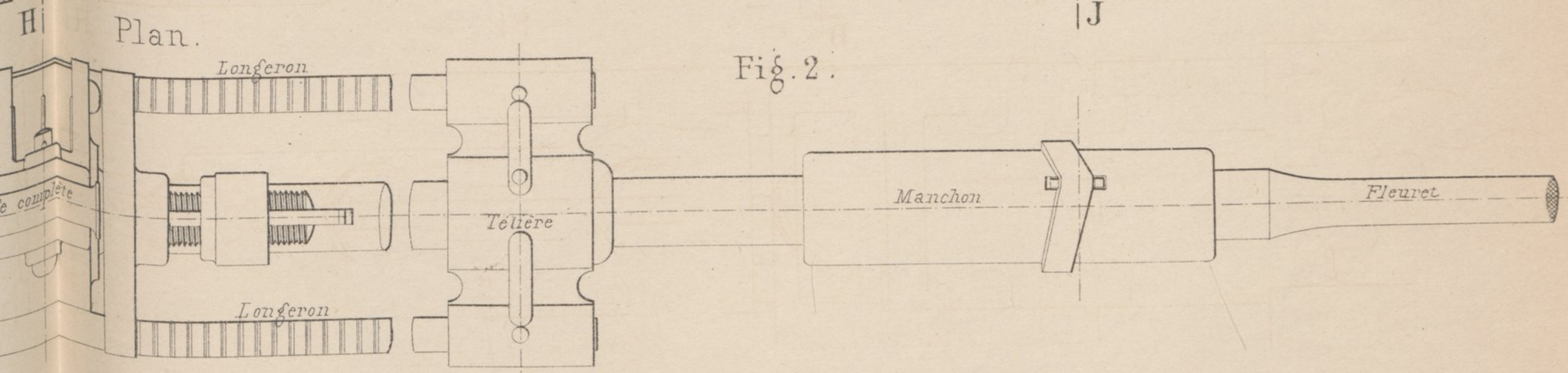


Fig. 2.

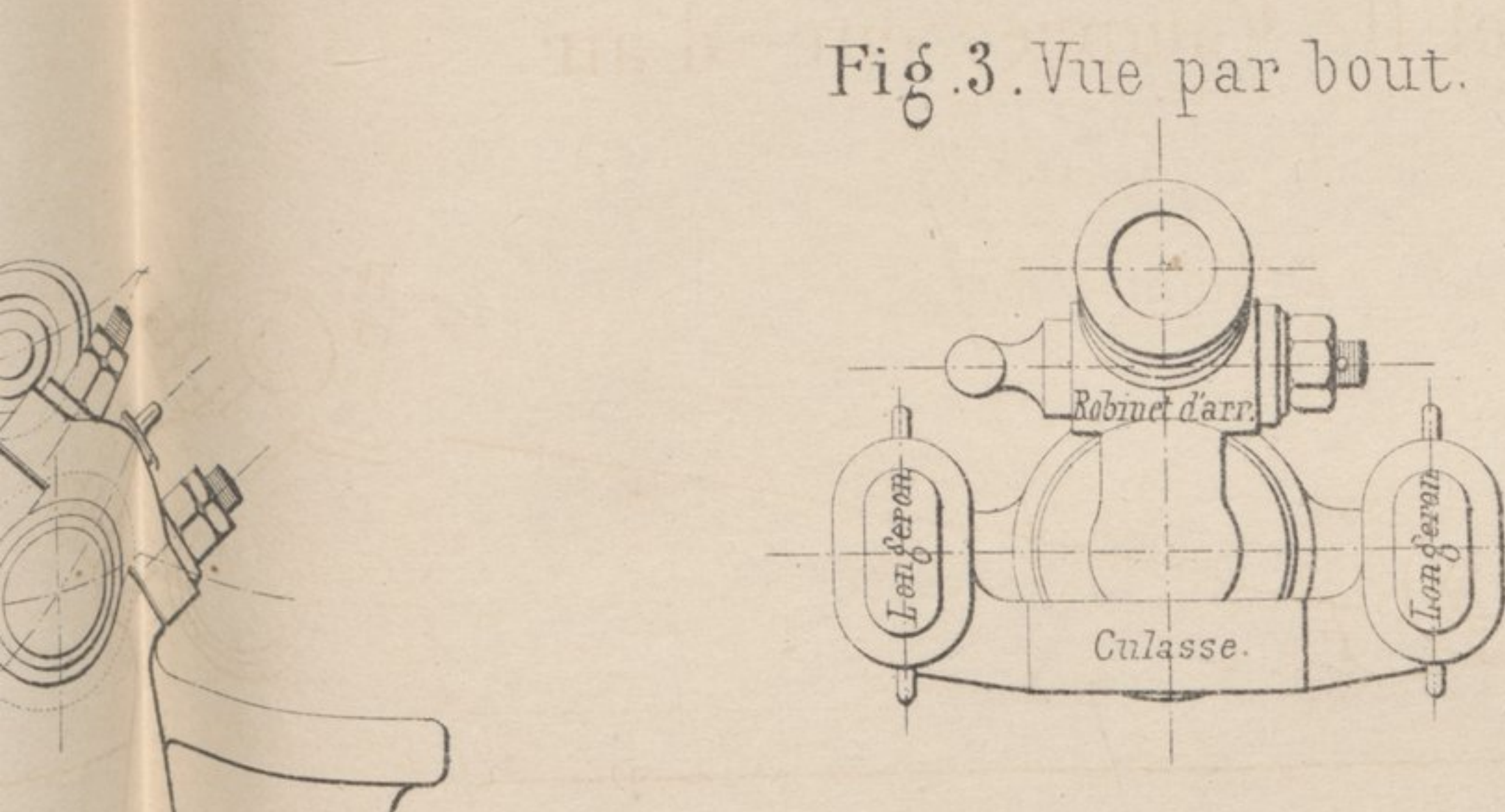


Fig. 3. Vue par bout.

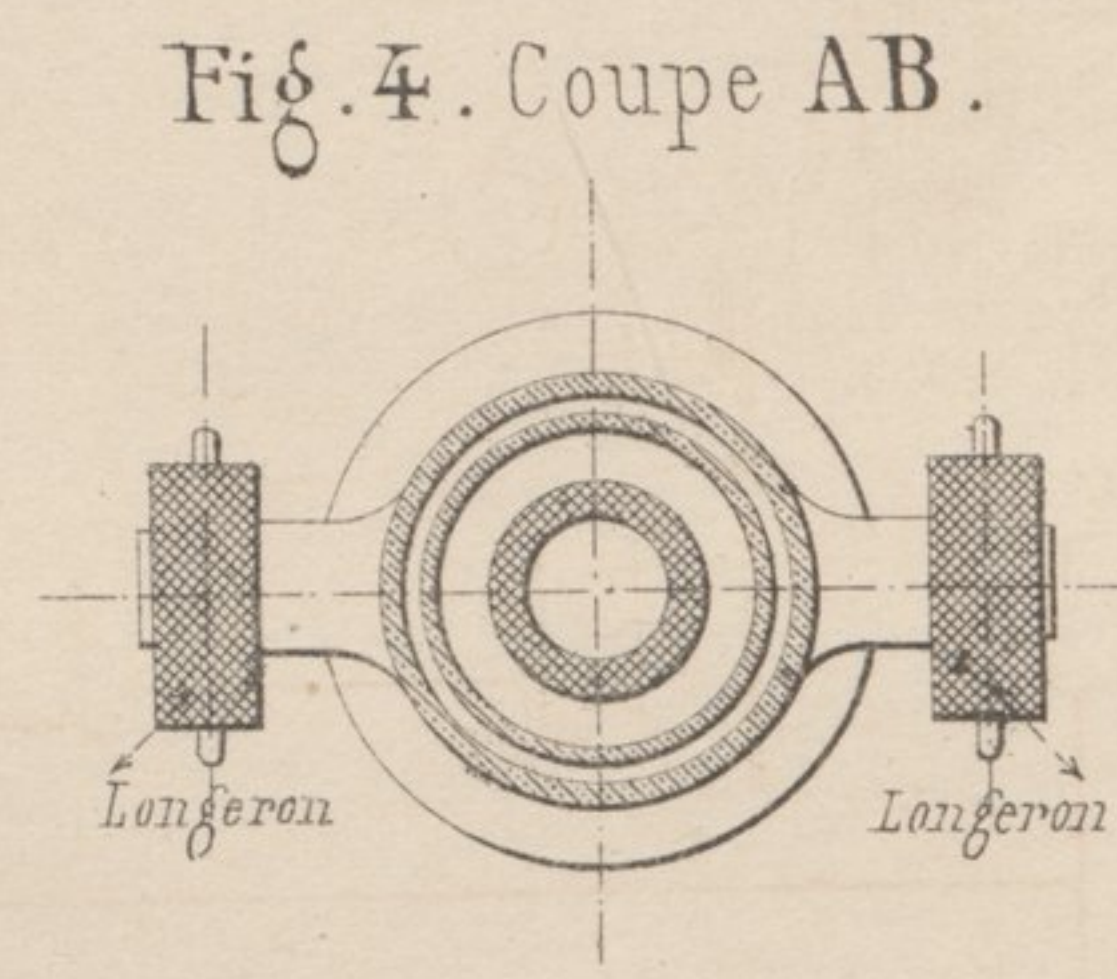


Fig. 4. Coupe AB.

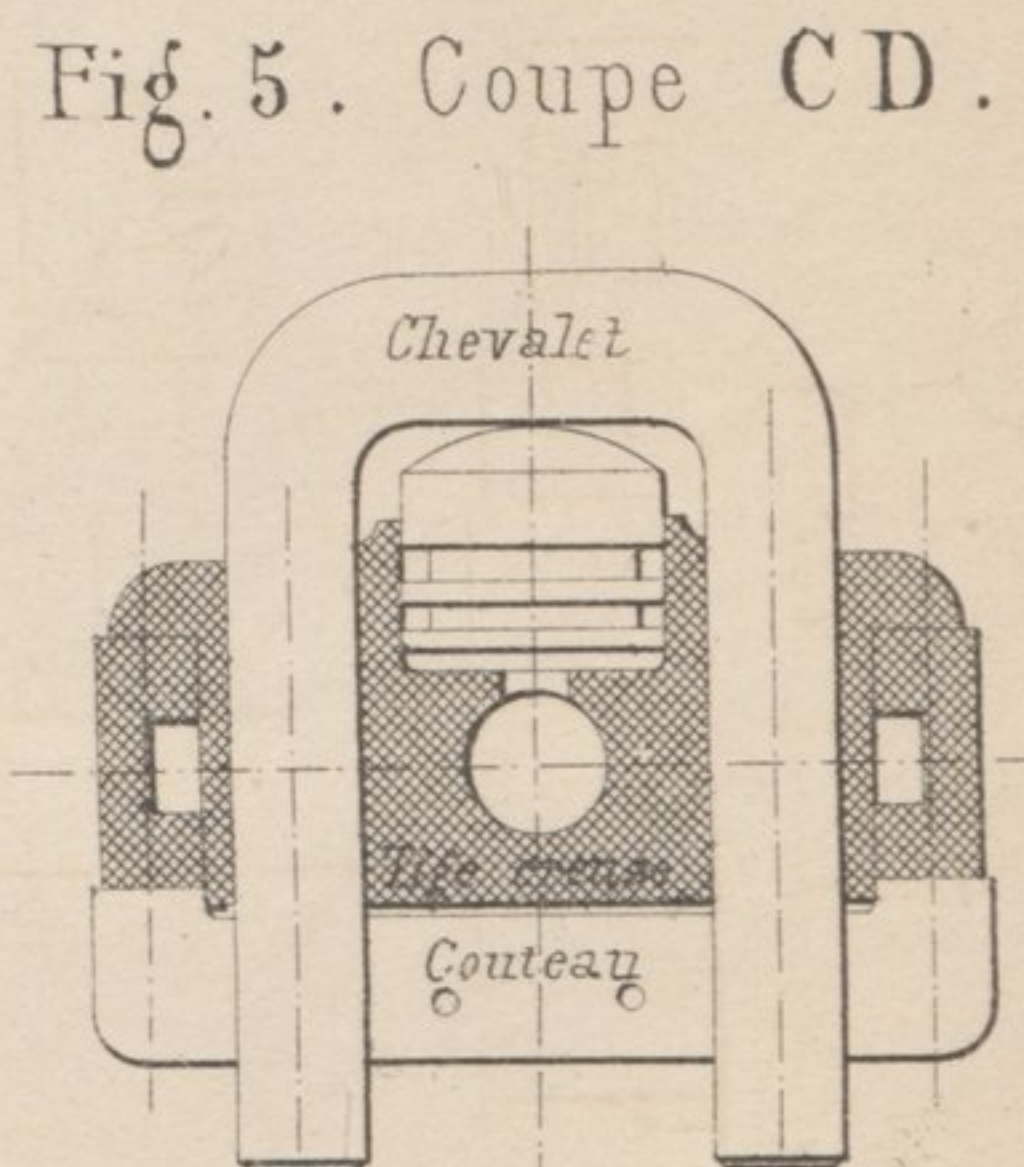


Fig. 5. Coupe CD.

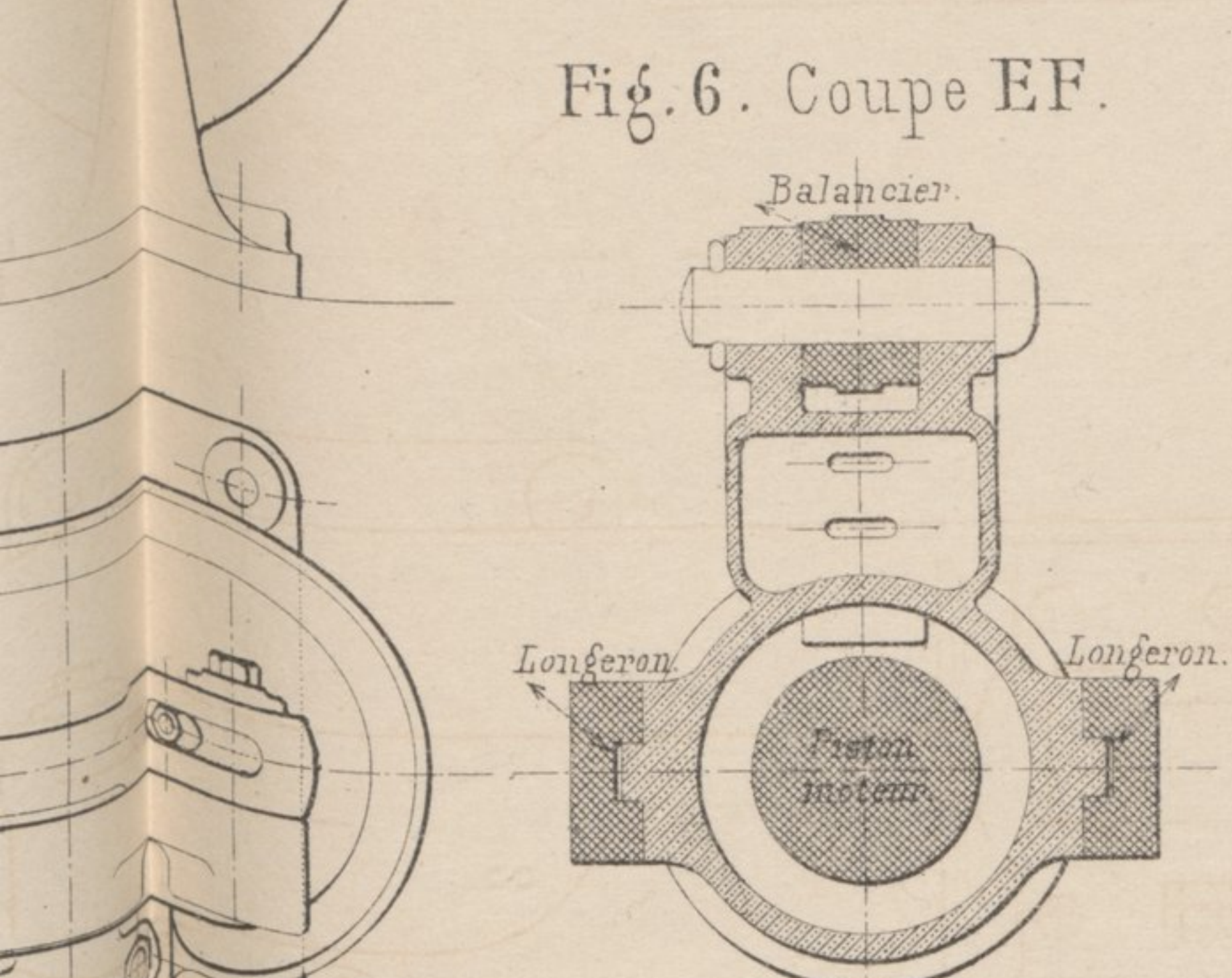


Fig. 6. Coupe EF.

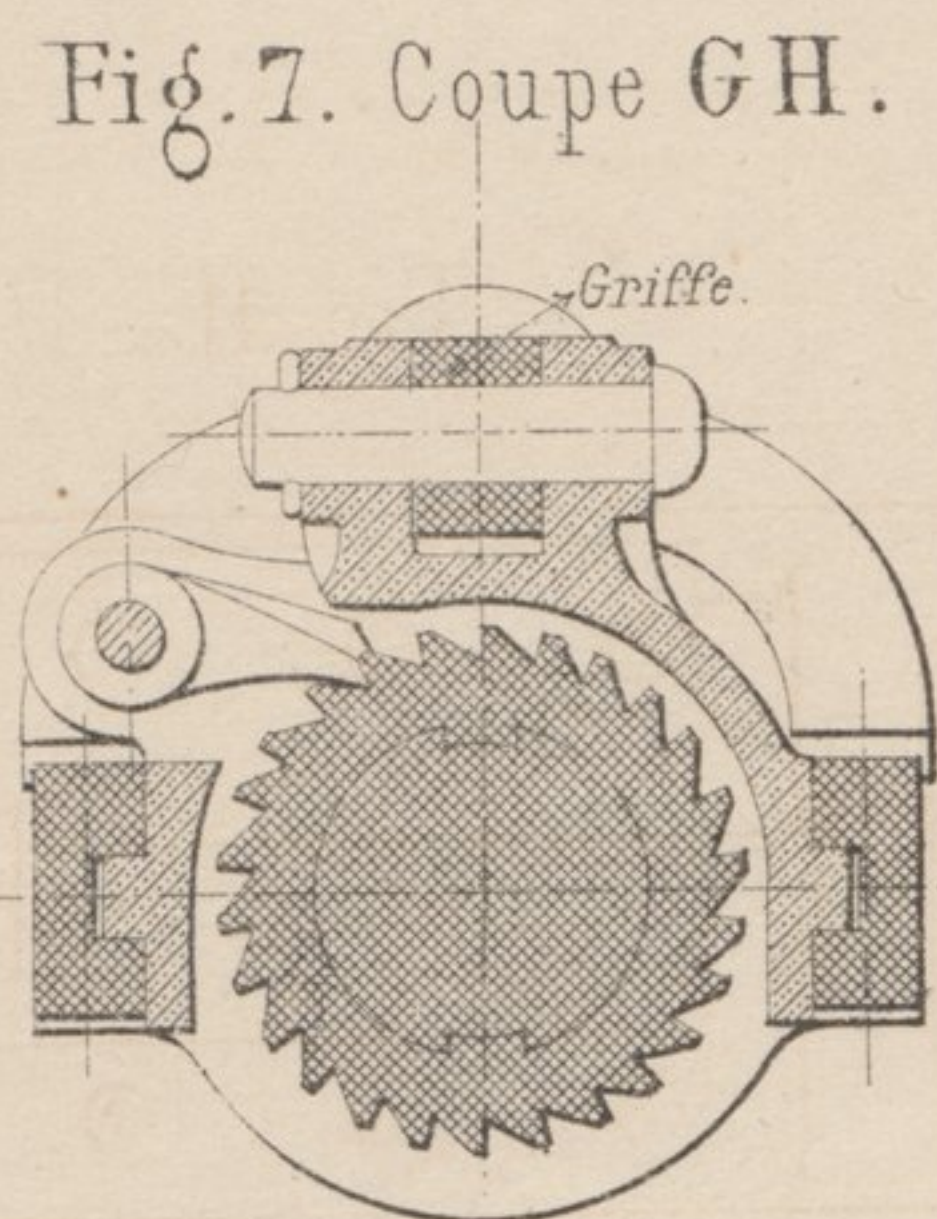


Fig. 7. Coupe GH.

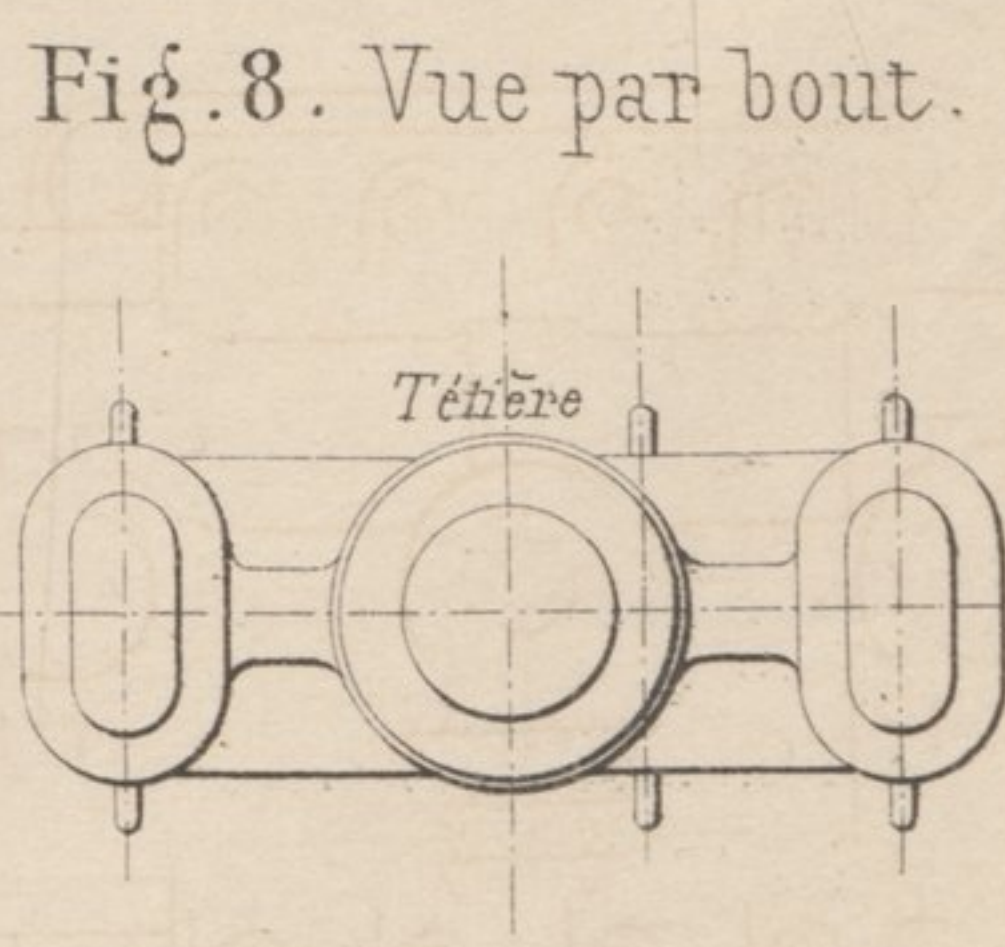


Fig. 8. Vue par bout.

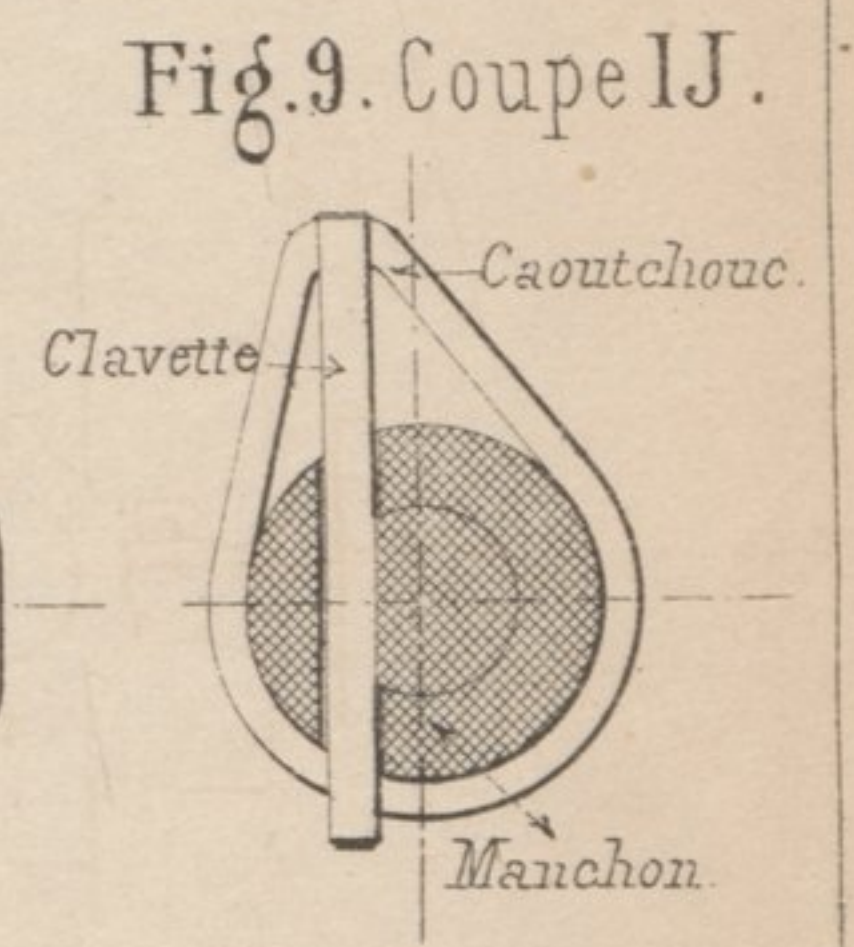
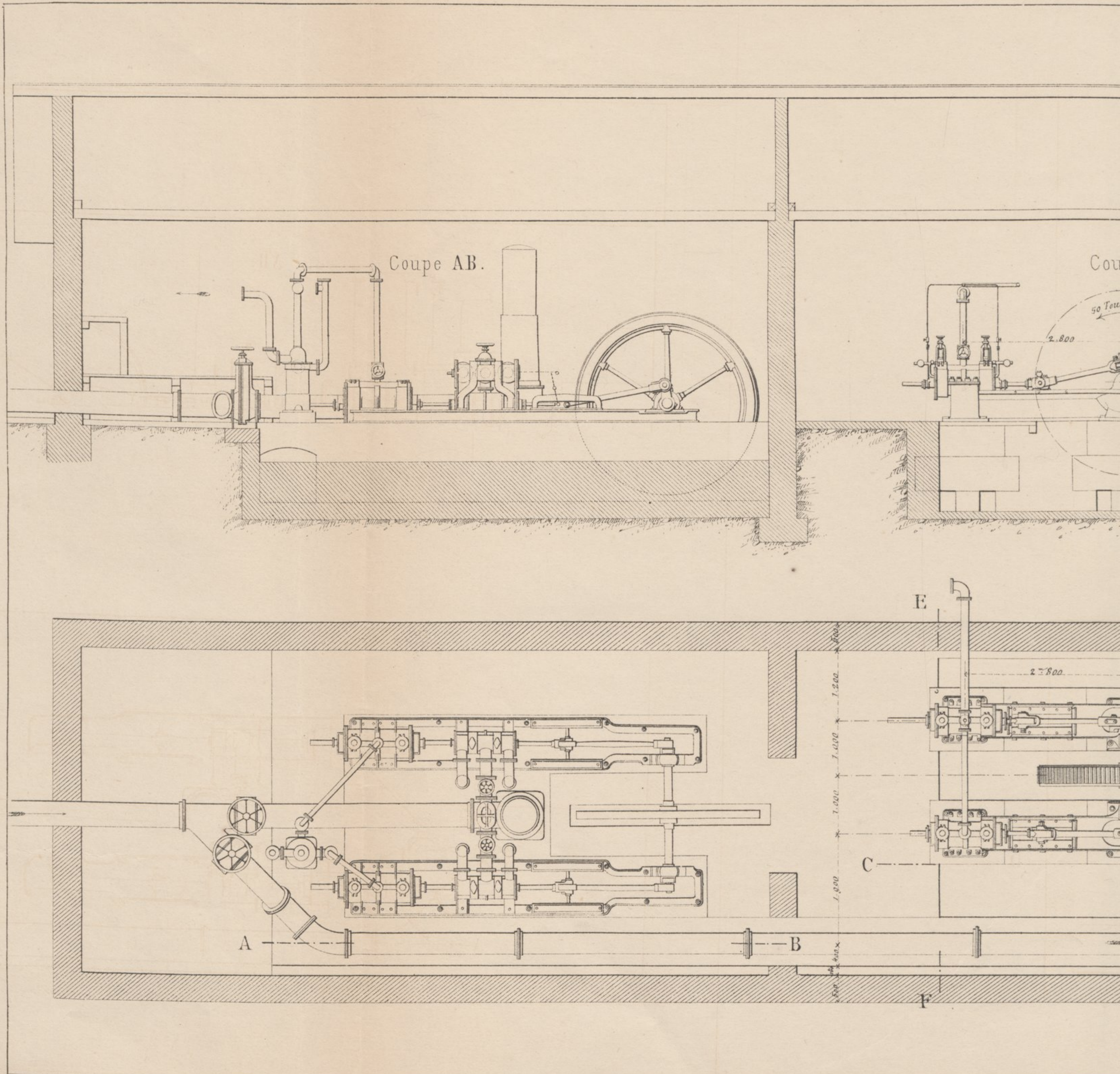
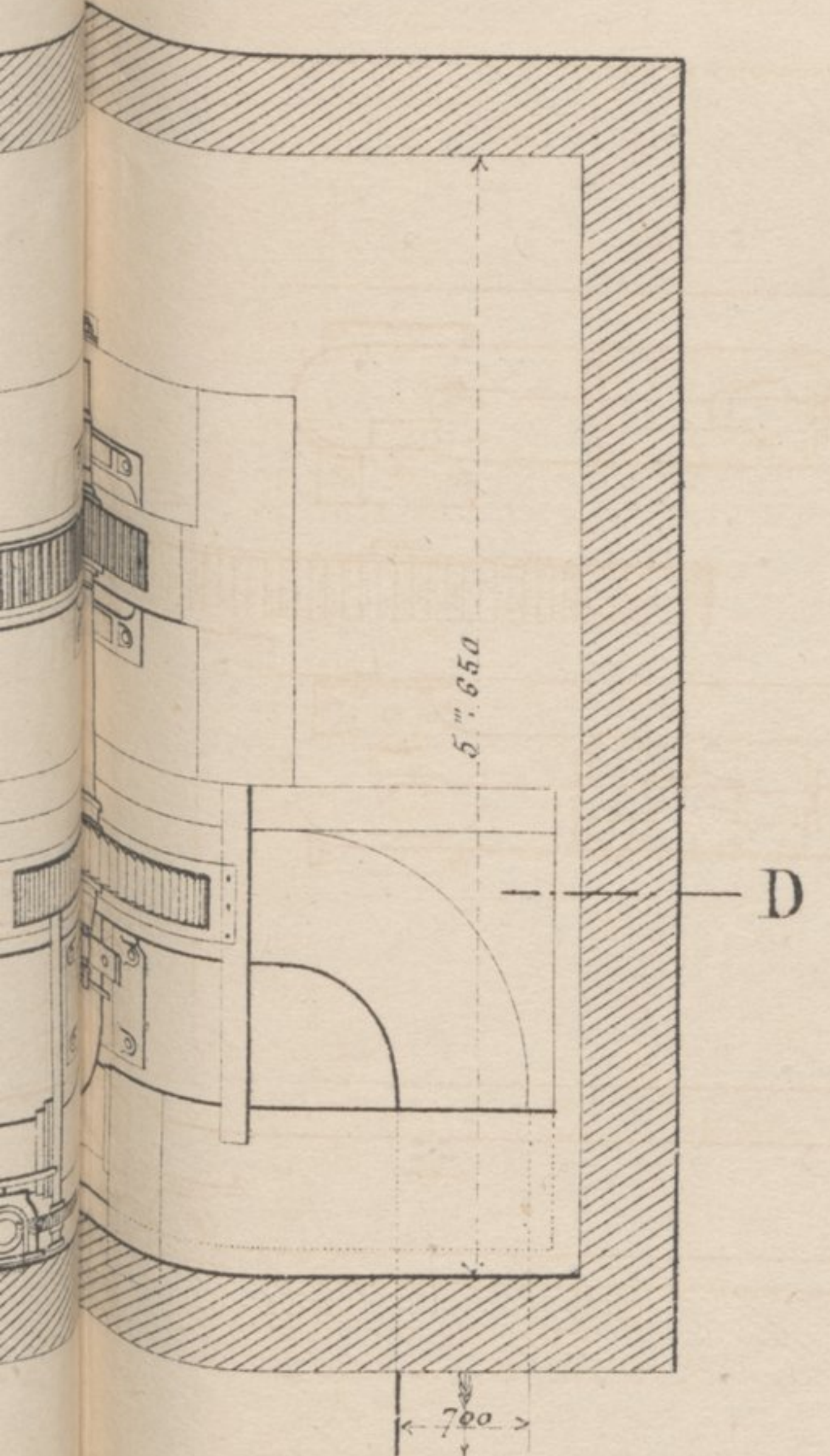
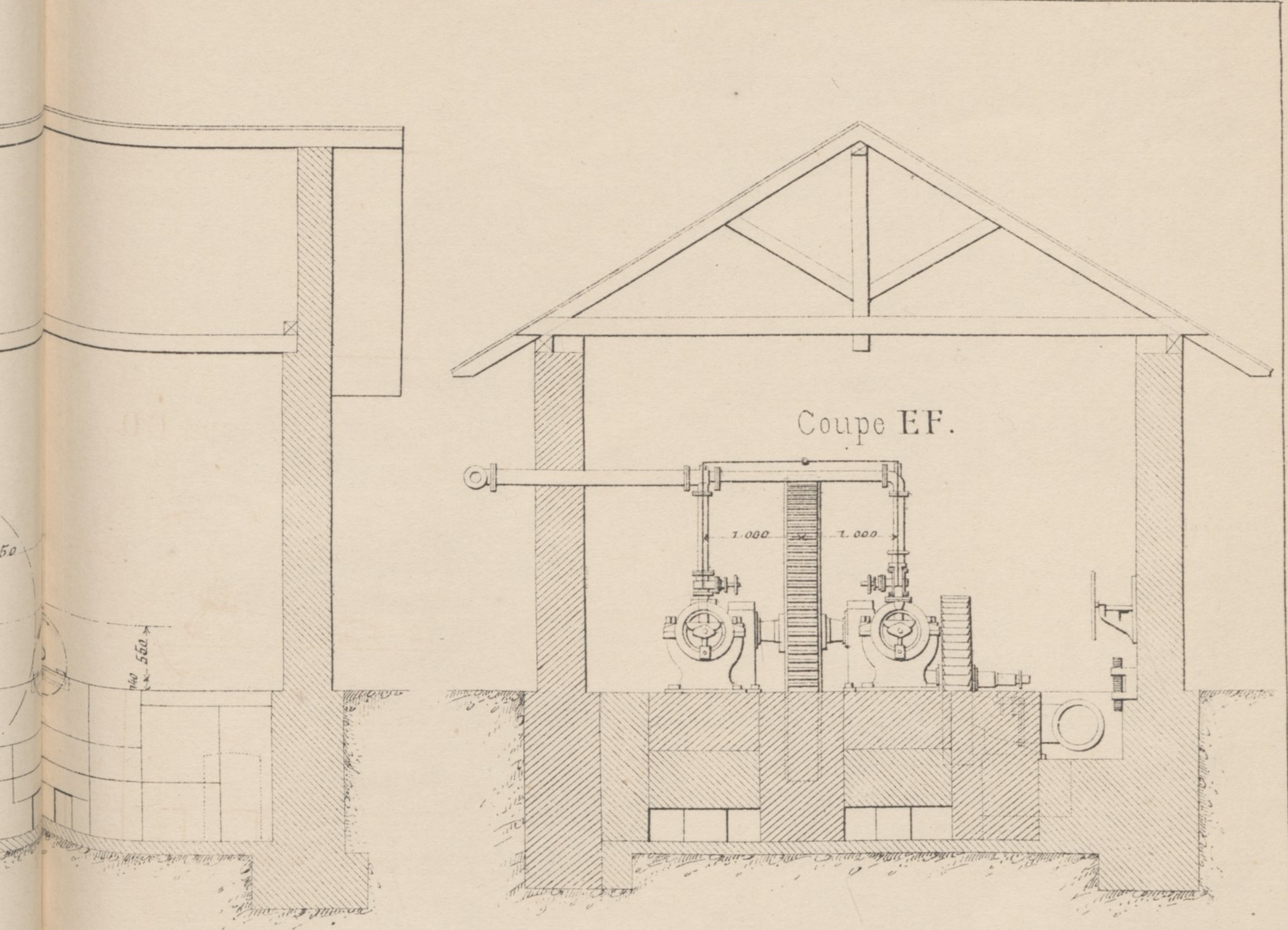


Fig. 9. Coupe IJ.





INSTALLATION
DES COMPRESSEURS D'AIR

Echelle de 1/75.