

déjà plus. — Un train de déblais passait; on le fit arrêter, et on y plaça, avec un lit de rochers pour soutien, le corps déjà raidi de celui qui avait lutté jusqu'à son dernier souffle pour créer une œuvre toute de science et de travail. Fin glorieuse s'il en fut jamais! Favre mourait dans toute la plénitude de ses forces, à moins de cinquante-quatre ans; je puis dire, sans crainte d'être démenti, qu'il fut universellement et sincèrement regretté de tous ceux qui avaient travaillé à ses côtés. Encore aujourd'hui, lorsque nous nous rencontrons, quelques vieux collègues de Gerschenen, d'Airolo ou d'Altorf, ce n'est pas sans émotion que nous nous rappelons les anciens jours, les joyeuses réunions dans lesquelles il illuminait toute la table de son rire large et doux.

M. Louis Favre mort, la direction générale de l'entreprise de percement du grand tunnel fut confiée à M. E. Bossi, son ingénieur en chef et son ami, assisté de MM. E. Stockalper et A. Maury, ingénieurs-chefs de chacune des deux sections de Gerschenen et d'Airolo, le premier bien connu par ses travaux sur le Simplon, le second, ingénieur à l'entreprise de l'isthme de Panama, et de M. D. Colladon, notre vénéré maître, comme ingénieur-conseil. Combien de noms ne faudrait-il pas citer encore parmi nos amis: J. Arnaud, conducteur principal des travaux, aussi vaillant dans les travaux publics qu'il le fut pendant notre malheureuse guerre (Arnaud, capitaine d'un corps franc, reçut la croix de la Légion d'honneur pour sa belle conduite), C. Ferroux et Seguin, les inventeurs des deux machines perforatrices de Gerschenen et d'Airolo, mon excellent ami A. Penéard, qui vit passer entre ses mains les 60 millions de francs qui s'engouffrèrent dans les montagnes, et tant d'autres. — Fermons ici nos souvenirs; la place nous est forcément mesurée. Nous n'avons point du reste l'intention de faire une histoire complète du grand tunnel; notre seul but a été de revendiquer, dans l'achèvement de l'œuvre, une part de gloire bien méritée, pour ceux que la science officielle a cru devoir laisser au second plan, dans ses discours et dans ses toasts. Discours faciles à faire! Verres faciles à vider! Favre mourut à la peine au cours de son travail; ses collaborateurs n'ont emporté de leur campagne de dix années dans les neiges du Gothard, que le souvenir d'une camaraderie inoubliable; c'est bien le moins que pour cette pléiade d'hommes courageux et désintéressés, *La Nature* réclame un peu plus de justice et un peu moins d'oubli.

MAXIME HÉLÈNE.



LE TRANSPORT DES GRANDES MASSES

J'ai souvent entendu les gens du monde et même des ingénieurs se demander avec étonnement comment on avait pu dans l'antiquité élever les pierres

de Carnac ou les obélisques, construire les pyramides, faire mouvoir les tours de siège et accomplir une foule d'autres travaux qui nous paraissent hors de proportion avec les moyens bornés que nous attribuons aux civilisations qui ont précédé la nôtre.

Cela tient à deux erreurs que je vais essayer de détruire.

D'abord il est inexact de dire que les anciens nous étaient inférieurs au point de vue des machines destinées aux manœuvres de force. Il est certain qu'ils n'avaient point appliqué leur génie à remplacer pour les œuvres industrielles la main humaine par des outils: grâce à l'esclavage, ils n'en avaient pas besoin; mais, quand on se donne la peine d'étudier l'histoire du travail au lieu de se borner à l'histoire des guerres, on voit qu'ils nous avaient devancés dans la plupart des inventions propres à augmenter la puissance de l'homme.

On peut faire remonter d'une façon certaine le treuil et la moufle jusqu'à Archytas de Tarente, contemporain de Platon, et la vis jusqu'à Archimède. Il est extrêmement probable que toutes ces machines étaient antérieures aux mathématiciens auxquels on en a attribué l'invention parce qu'elles étaient décrites pour la première fois dans leurs ouvrages.

Ce n'est point ici le lieu d'entrer dans une dissertation archéologique à ce sujet; je me propose simplement, dans cet article, de montrer que c'est à l'aide des machines les plus simples que l'on parvient encore de nos jours à déplacer les fardeaux les plus considérables et cela parce que plus le poids est lourd, moins il faut perdre en frottement.

TRANSPORT DU PIÉDESTAL DE LA STATUE DE PIERRE LE GRAND

A SAINT-PÉTERSBOURG

La masse la plus considérable qu'on ait jamais transportée est, je crois, le rocher dans lequel on a taillé le piédestal de la statue de Pierre le Grand à Saint-Petersbourg.

Ce rocher était un bloc de granit pesant trois millions de livres ou environ 1500 tonnes; il se trouvait isolé dans un terrain marécageux à 6 kilomètres de la Néva. Il affectait la forme d'un prisme irrégulier de 7 mètres de haut sur 14 mètres de long, et 9 mètres de large dans ses plus grandes dimensions.

Un gentilhomme italien, le comte Marin Carburri, lieutenant-colonel au service de la Russie, offrit de l'amener jusqu'à la place où devait être érigée la statue du czar.

La première opération consista à le dégager du terrain dans lequel il était enfoncé de près de 5 mètres; pour cela, on fit creuser tout autour jusqu'à cette profondeur sur une largeur de 28 mètres, puis on ménagea une rampe de 12 mètres de large sur 200 mètres de long (au $\frac{1}{40}$) pour l'amener au niveau de la plaine voisine.

Renversement du rocher. — Pour amener le

rocher dans la position convenant à l'usage auquel il était destiné, il fallait lui faire faire quartier. On y arriva de la façon suivante :

On construisit avec des sapins des pyramides triangulaires dont la base était formée de pièces de bois de 7 pouces (0^m,19) d'équarrissage. Ces pièces étaient arrêtées à leurs angles par des équerres en fer et elles présentaient à ces angles trois mortaises destinées à recevoir les montants des pyramides. Ces montants n'avaient que 5 pouces (0^m,135) d'équarrissage; ils étaient réunis au sommet par des cercles de fer (fig. 1).

Dans chaque pyramide un quatrième montant plus petit que les autres relierait un des côtés de la base avec un des montants et servait à supporter un treuil.

Chaque pyramide avait également deux parties de moufle fixées l'une au sommet, l'autre sur un côté de la

Fig. 1

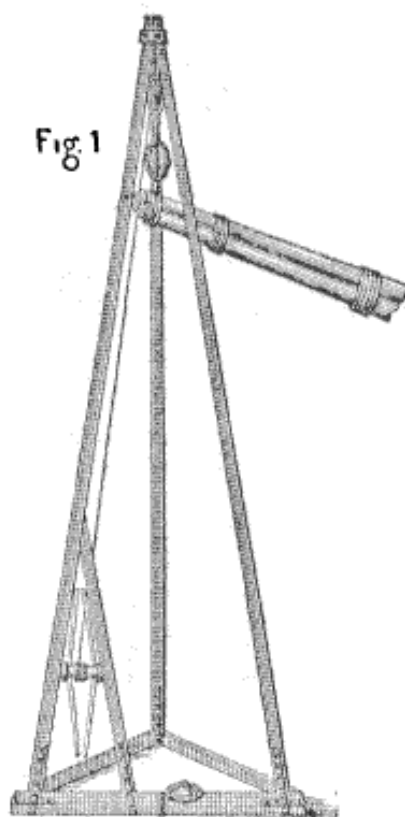


Fig. 1. — Pyramide en charpente avec moufles et treuil.

base, de telle sorte que, suivant que l'on conjuguait avec des cordages l'une ou l'autre de ces parties avec une troisième partie de moufle fixée à la queue des leviers dont je vais parler, on pouvait élever ou abaisser ces leviers¹.

Chaque levier était formé de trois mâts diminuant de grosseur d'un bout à l'autre et réunis en faisceaux par une série de ligatures en cordages; le gros bout de ces mâts avait de 0^m,50 à 0^m,55 de diamètre et leur longueur était de 22 mètres. On en disposa douze les uns à côté des autres, ainsi que l'indiquent les figures 2 et 3; il suffisait de trois hommes pour faire tourner chaque treuil et ces trois hommes suffisaient également pour déplacer les pyramides à l'aide de leviers en fer à mesure qu'il-en était besoin.

Avant de commencer l'opération, on établit, du côté G où le rocher devait être renversé, un radier sur pilotis composé de quatre rangs de poutres

Fig. 2

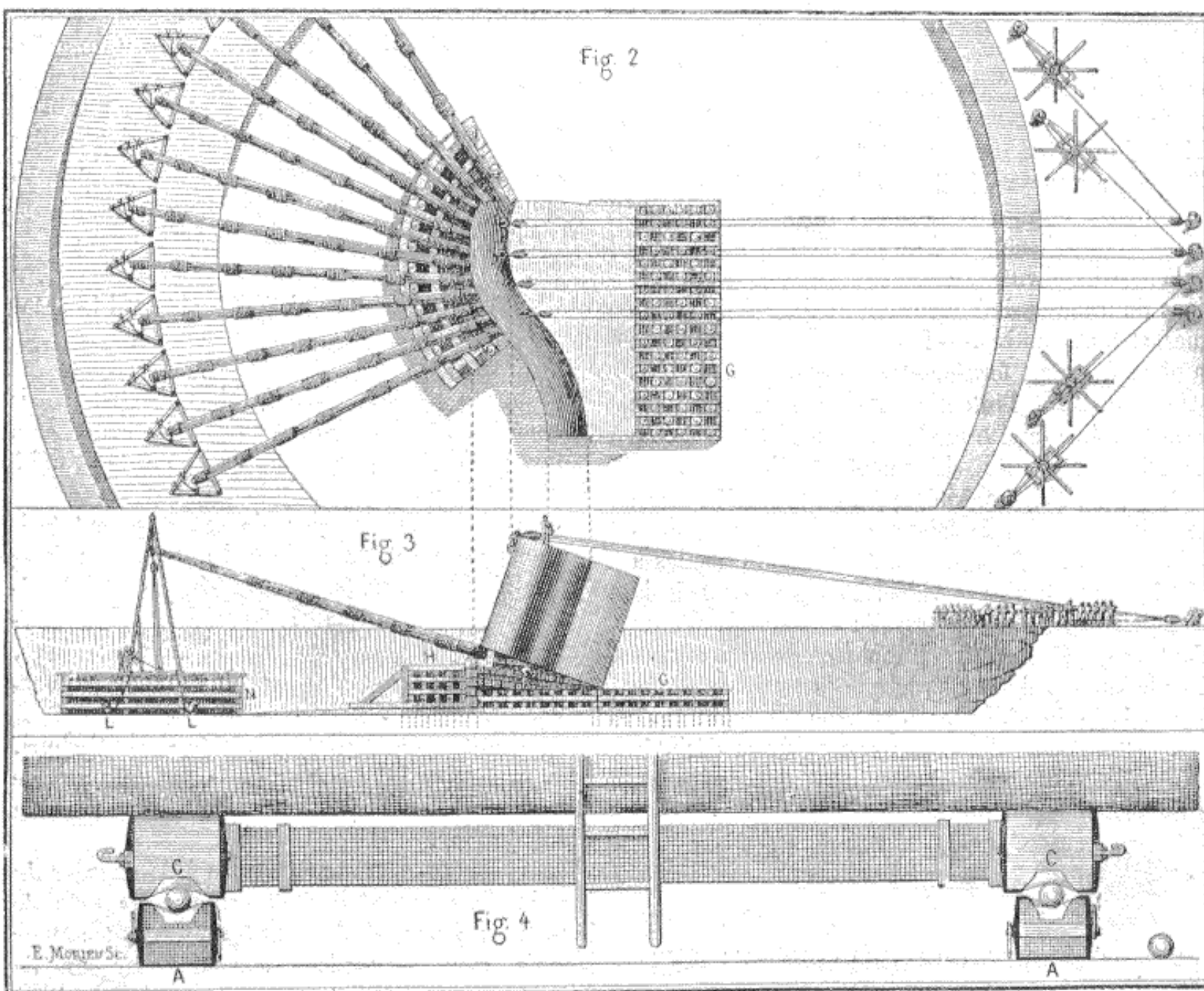


Fig. 2 et 3. Disposition des leviers et cabestans pour soulever la pierre. — Fig. 4. Détail des rainures.

horizontales entrecroisées et surmonté d'une couche |

¹ Les piquets L de la figure 3 sont destinés à empêcher les

d'environ 2 mètres de mousse et de foin mélangés afin d'amortir la chute. On planta également des pilotis du côté II afin de servir de points d'appui pour les leviers.

Pour aider à l'action de ces leviers on établit, du côté opposé, quatre cabestans qui se reliaient à quatre

anneaux de fer scellés au plomb dans le rocher à l'aide de moules et de cordages de 2 pouces (0^m,054 de diamètre). Chaque cabestan était muni de huit barres et mis en mouvement par trente-deux hommes; deux tambours placés sur le rocher servaient à transmettre les ordres du comte

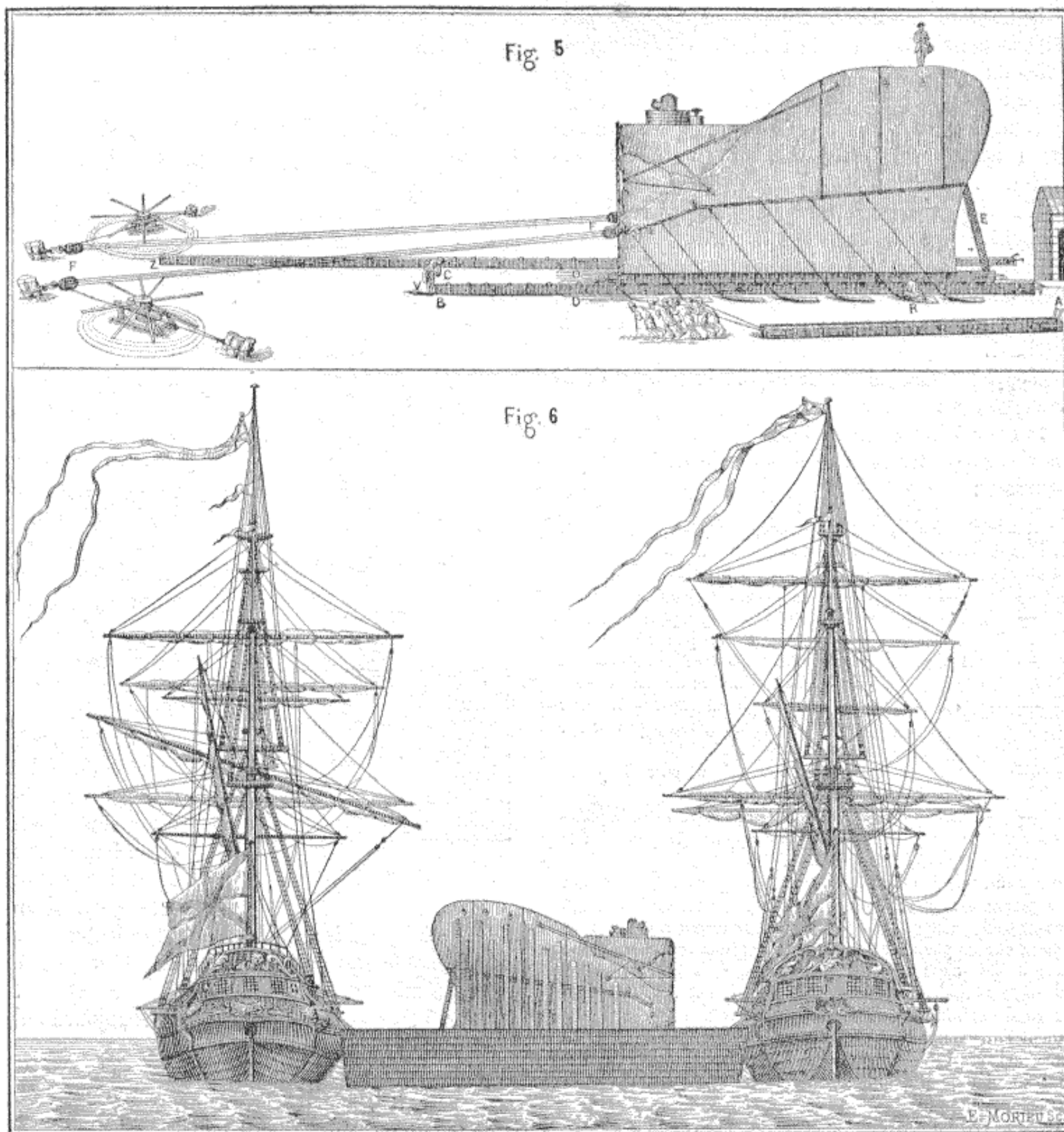


Fig. 5. Transport du rocher sur terre. — Fig. 6. Transport du rocher sur mer.

Carburi et à donner la cadence aux travailleurs.

Chaque opération des leviers élevait le rocher de 30 à 40 centimètres. On fixait alors tous les cabestans et les ouvriers employés à leur manœuvre allaient placer sous le rocher des poutres et des

pyramides d'être soulevées par suite de l'effort exercé à la tête du levier. Les plate-formes N servaient à exhausser les pyramides à mesure que le point d'appui II des leviers s'exhaus-

saissait lui-même. coins forcés à coup de masse pour le soutenir pendant qu'on retirait les leviers et qu'on préparait une nouvelle opération en relevant leurs points d'appui II et la charpente N qui soutenait les pyramides.

Quand le rocher fut à peu près amené à la position d'équilibre sur son arête inférieure, on ralentit sa chute en le soutenant par six autres cabestans qu'on établissait alors du côté des leviers.

Transport du rocher sur terre. — Le comte

Carburi avait d'abord pensé à employer des rouleaux, mais il y renonça parce que :

1° Le frottement eût été encore tellement considérable que la traction n'aurait pu s'effectuer ¹;

2° Les rouleaux eussent dû être en bronze pour ne point être écrasés et leur construction présentait des difficultés;

3° Les rouleaux n'eussent pu rester parallèles pendant la marche à cause de l'inégale répartition du poids du rocher et, si l'on avait essayé de maintenir le parallélisme en les engageant dans des traverses convenablement évidées, on aurait augmenté d'une façon notable les frottements ou fait rompre ces traverses.

Il se décida alors à remplacer les rouleaux par des sphères mobiles dans des rainures.

Se basant sur cette idée théorique que le frottement diminue avec l'étendue des surfaces en contact ², il donna aux rainures la forme qu'on voit dans la figure 4.

L'appareil destiné au transport se composait de trois parties :

1° Un châssis destiné à être glissé sous le rocher pour le supporter et contenant les gouttières supérieures G;

¹ Rondelet a établi, par expérience, que pour faire mouvoir un bloc de pierre pesant 1000 kilogrammes, il faut :

Un effort de 750 kilog. en la traînant sur un sol mal nivelé;	
— 650 —	en la traînant sur un plancher de bois;
— 600 —	en la traînant sur une plate-forme de bois glissant sur un plancher en bois;
— 180 —	en savonnant les surfaces en contact de la plate-forme et du plancher;
— 35 —	en plaçant la pierre sur des rouleaux de 0 ^m ,07 de diamètre reposant sur le sol;
— 28 —	en plaçant ces rouleaux entre la pierre et un plancher;
— 22 —	en plaçant ces rouleaux entre la plate-forme qui supporte la pierre et le plancher.

En d'autres termes, la force nécessaire pour faire marcher une pierre sur le sol inégal de la carrière est égale aux 2/3 de son poids; elle est réduite aux 3/5 de ce poids, par le glissement sur un plancher; aux 5/9 par le glissement de bois sur bois; à 1/6 quand les bois sont savonnés; à 1/32 lorsqu'on fait usage de rouleaux entre la pierre et le sol; à 1/42 lorsque ces rouleaux roulent sur un plancher; enfin à 1/50 lorsqu'ils roulent entre deux surfaces de bois.

Carburi essaya les rouleaux; il fit forger quelques cylindres de fer de 0^m,60 de long et de 0^m,27 de diamètre; ce fut à peine s'il put ébranler le rocher, quoiqu'il eût quadruplé la force motrice qui, avec le système des sphères qu'il adopta, suffit plus tard à le transporter; de plus, il cassa moules et cordages. Ce système de sphères aurait donc réduit l'effort nécessaire à peu près au 1/130 du poids de la masse à mouvoir, en supposant que Carburi ait placé ses cylindres directement entre la pierre et le sol et que les chiffres donnés par Rondelet fussent applicables aux grandes masses. Le calcul de la force qui fut employée montre que cette proportion ne fut point obtenue.

² On admet généralement aujourd'hui, d'après les expériences d'Amontons et du général Morin, que le frottement est indépendant de l'étendue des surfaces en contact et qu'il varie seulement avec la nature de ces surfaces et avec la pression. On explique cette loi en disant que, plus le nombre des points en contact est grand, moins grande est la pression en chaque point. L'expérience de Carburi sur les rouleaux que j'ai rappelée dans la note précédente semble confirmer l'opinion con-

2° Les gouttières inférieures A posées sur le sol et formant des rails creux;

3° Les sphères placées entre les deux gouttières.

Le châssis était formé de deux poutres ayant 14 mètres de long, 0^m,50 de large et 0^m,45 de haut. Elles étaient maintenues par des traverses en bois moins épaisses, afin que le rocher ne reposât pas dessus, et par des tirants en fer serrés à leurs extrémités avec des boulons; c'est dans ces poutres qu'étaient encastrées les rainures métalliques dont j'ai parlé.

Les rails destinés à être remplacés à mesure que le rocher s'avancait et, par conséquent, n'ayant point à supporter constamment le poids du rocher, ils étaient un peu moins forts que les poutres du châssis (11 mètres de long sur 0^m,38 de large et 0^m,55 de haut). Des rainures métalliques identiques à celles du

châssis y étaient encastrées. Il y en avait six paires.

Les sphères avaient 0^m,155 de diamètre; on les disposait à un pied environ les unes des autres, de telle sorte qu'il y en avait toujours une trentaine sous chacune des poutres du châssis.

Carburi avait essayé de faire d'abord les boules en fonte, puis en fer forgé; dans les deux cas elles éclatèrent. Il en

fut de même pour les gouttières. Il fit exécuter alors gouttières et boules avec un bronze formé de cuivre mélangé à un peu d'étain et de zinc, par conséquent analogue à l'alliage que nous employons aujourd'hui avec les coussinets de machines.

Pour glisser le système de châssis et de rails sous le rocher, il fit faire des vérins, c'est-à-dire des vis de fer qu'on pouvait faire tourner à l'aide d'un levier dans un écrou fixe en bronze encastré dans un bloc de bois dur reposant sur le sol (fig. 7). Ces vis n'avaient que 0^m,20 de diamètre extérieur et leur force était telle que douze suffirent pour soulever le rocher ⁴.

traire qui était soutenue par Coulomb. Tous les constructeurs de machines que j'ai consultés affirment que le frottement croît d'une façon notable avec les surfaces en contact pour les fortes pressions.

⁴ Aujourd'hui on construit pour les pressoirs des vis capables de produire une pression de 125 000 kilogrammes.

Ces vis sont en fer et n'ont que 0^m,12 de diamètre. Les constructeurs ont adopté cette dimension comme la plus

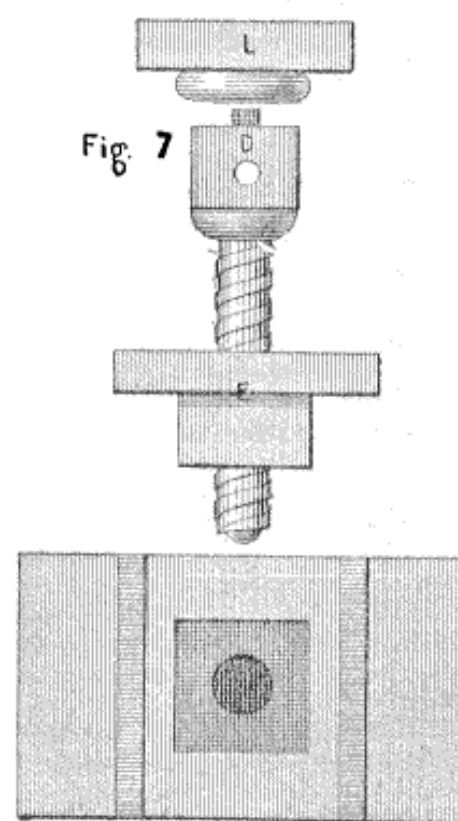


Fig. 7. — Vérins.

Pour que le rocher ne défonçât point le sol marécageux sur lequel il était obligé de passer, on attendit l'hiver afin que le terrain fût gelé et on consolida partout où cela était nécessaire le chemin avec des graviers, des pilotis et des arbres couchés.

On opéra la traction en enfonçant le long de la route, de 100 mètres en 100 mètres, de très gros pieux destinés à fixer les cordages qui retenaient les moufles et les cabestans nécessaires. Les cordages embrassaient le rocher par derrière pour l'entraîner. Des hommes suivaient le mouvement assis sur des nattes attachées aux flancs du châssis et étaient constamment occupés à maintenir l'écartement des boules. Quand on était arrivé au bout des rails déjà placés on décrochait ceux qui restaient libres en arrière et on les traînait pour les ajuster sur le devant (fig. 5).

Partout où le terrain était horizontal il suffit de deux cabestans mus chacun par trente-deux hommes; avec cela on faisait avancer le rocher de un kilomètre par semaine et par conséquent d'environ 150 mètres par jour de cinq heures (hiver).

A plusieurs reprises on fut forcé de changer la direction du rocher. Pour cela on le souleva avec les vérins et on le plaça sur des plaques tournantes à sphères dont il est facile d'imaginer la disposition. On fut aussi obligé d'embarquer le rocher et de lui faire faire une partie de sa route par eau. La figure 6 montre le rocher flottant sur une barque et remorqué par deux navires. Les arcs-boutants qu'on voit sur ses flancs étaient destinés à répartir son poids sur toute la surface de la barque et à empêcher celle-ci de se déformer par la pression de l'eau. Je n'entrerai point dans le détail de l'embarquement et du débarquement : on pourra consulter à ce sujet la relation publiée par le comte Carburî lui-même en 1777 à Paris; j'en ai assez dit pour montrer la puissance des effets qu'on peut obtenir avec des dispositifs très simples.

A. DE ROCHAS.

favorable; au-dessous, la vis n'a pas assez de force pour résister à la flexion; au-dessus, le frottement augmente en pure perte. Les constructeurs admettent en effet, par expérience, que pour les fortes pressions, le frottement croît d'une façon notable avec l'étendue des surfaces en contact. Ce frottement est tellement considérable dans la vis, machine où pour éviter le cisaillement des filets il faut en embrasser un certain nombre avec l'écrou, que les mieux construites, les mieux graissées, ne donnent en pratique, qu'un rendement égal au 1/5 du rendement théorique.

Le pas des vis susdites est de 0^m,03.

La Société des appareils Samain a un appareil très ingénieux pour constater ces énormes pressions. Il consiste essentiellement en un godet de fonte extrêmement résistant au fond duquel se trouve un disque plein en matière très peu compressible dont la gutta-percha forme la base. Sur ce disque on place un cylindre de diamètre plus petit que l'intérieur du godet et on exerce sur le cylindre des pressions déterminées avec d'énormes leviers. Le disque comprimé dans sa partie centrale et retenu sur sa circonférence par la paroi intérieure du godet, se gonfle et s'élève dans la partie annulaire laissée libre entre le godet et le cylindre. Cet exhaussement est enregistré à l'aide d'une tige mobile faisant mouvoir une aiguille sur un cadran que l'on gradue par une série d'expériences.

CHRONIQUE

Un volant de 49 000 kilogrammes. — Un volant énorme, le plus grand qui ait jamais été construit aux États-Unis et probablement dans le monde entier, vient d'être heureusement terminé par une grande usine de Newark (New-Jersey). Il est construit en sept sections dont chacune pèse 7 tonnes. Son diamètre est de 25 pieds (7^m,50) et sa largeur de 7 pieds 1/2 (2^m,50). Il a fallu quinze jours pour le tourner et enlever près de 5 tonnes de tournures pour planer sa surface. La vitesse de rotation pendant ce travail était de dix tours par heure.



ACADÉMIE DES SCIENCES

Séance du 23 octobre 1882. — Présidence de M. BLANCHARD.

Les missions de Vénus. — Plusieurs des missions envoyées par l'Académie pour observer le prochain passage de Vénus, donnent aujourd'hui de leurs nouvelles : M. de Bernardières est arrivé sans encombre à Santiago du Chili; M. le colonel Perrier a fait bon voyage jusqu'en Floride et M. Bouquet de la Grye s'installe à Vera-Cruz. Seule la mission de M. Hatt a rencontré de grandes difficultés pour parvenir à Chubut, localité qui lui était assignée. A son passage à Montevideo, M. Hatt rencontra le capitaine du port de Chubut, qui lui déclara qu'il aurait lors du débarquement à lutter contre les plus grands obstacles pour pénétrer dans les terres. Seules, deux légères voitures pourraient être mises à sa disposition et encore l'état des routes rendait-il impossible, même avec elles, le transport de l'énorme matériel nécessaire aux observations astronomiques. On résolut alors de faire remonter la rivière à un cutter d'un très faible tirant d'eau et qui mettrait à profit une barre favorable. L'opération fut très laborieuse, mais réussit à souhait et la mission argentine promet de fonctionner aussi bien que les autres.

Déjà, du reste, les missions ont commencé à porter des fruits : c'est avec une grande satisfaction que M. Alph. Milne Edwards annonce l'arrivée au Muséum de trois caisses, adressées de Montevideo par M. Lebrun et renfermant des Dauphins et des Otaries ou phoques à oreilles. On voit avec quel à-propos des naturalistes ont été cette fois adjoints aux astronomes et l'on est en droit d'espérer de plantureuses moissons.

Constructions turriciformes des vers de terre. — Depuis que M. Pasteur a signalé le rôle si imprévu des vers de terre dans la contagion de la pustule maligne et depuis que Darwin a soumis les mêmes animaux aux intéressantes études que tout le monde connaît, les naturalistes ont été naturellement conduits à accorder aux annélides dont il s'agit, une attention toute nouvelle. Par l'intermédiaire de M. Alph. Milne Edwards, M. le Dr Trouessart décrit les mœurs du *lombric agricole* des environs d'Angers. Le fait le plus saillant de cette monographie est la découverte de constructions turriciformes que l'animal élève autour des orifices de ses souterrains, — absolument comme font de leur côté les *Perichæta* des tropiques. Le lombric français ne donne d'ailleurs libre carrière à ses talents architectoniques que si les circonstances l'y invitent et c'est spécialement le cas lorsque l'inclinaison du sol est favorable à l'introduction des eaux de la surface dans la

