

# RECUEIL

## DES PIÈCES

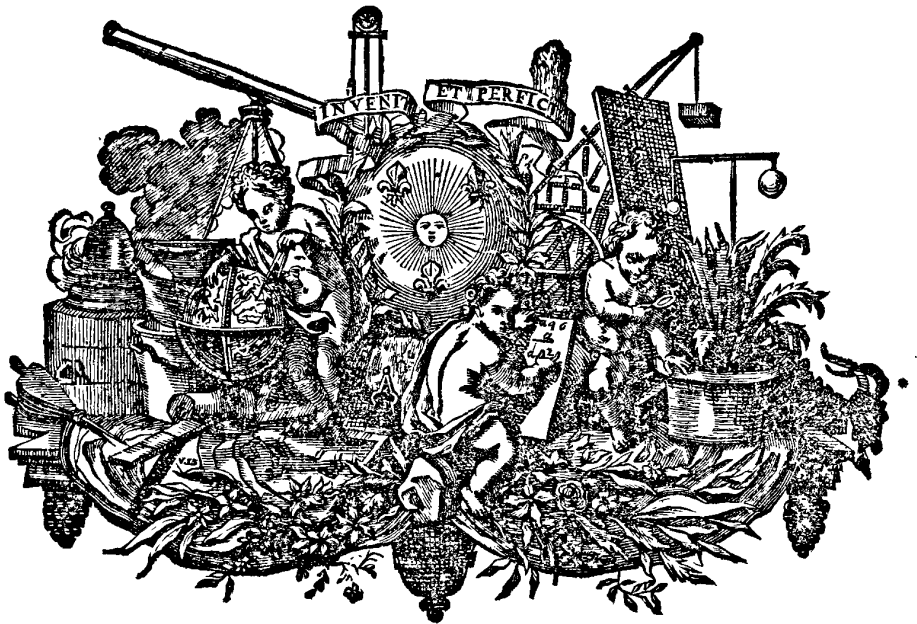
QUI ONT REMPORTÉ LES PRIX  
DE L'ACADEMIE ROYALE DES SCIENCES,

Depuis leur fondation jusqu'à présent.

*Avec les Pièces qui y ont concouru.*

### TOME CINQUIÈME.

*Contenant les Pièces depuis 1741 jusqu'en 1744.*



A P A R I S,

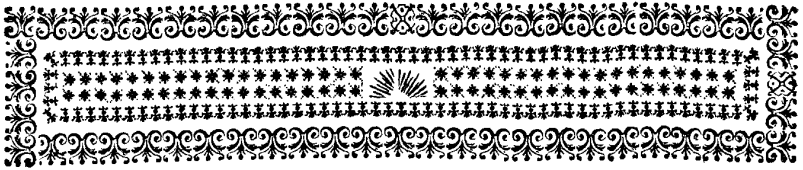
Chez { GABRIEL MARTIN, rue Saint Jacques, à l'Etoile.  
J. B. COIGNARD, Imprimeur ordinaire du Roi, rue S. Jacques, à la Bible d'Or.  
HIPPOLYTE-LOUIS GUERIN, rue S. Jacques à Saint Thomas d'Aquin.  
CHARLES-ANTOINE JOMBERT, Libraire du Roi, pour l'Artillerie & le Génie, rue Dauphine, à l'Image Notre-Dame.

M. D C C. L I I.

IRIS - LILLIAD - Université Lille 1

*Avec Approbation & Privilège du Roi.*





# P I E C E S

*contenues dans ce cinquieme Volume.*

**L'**Académie ayant remis le sujet du Prix de 1739 sur le Cabestan, à l'année 1741, Elle a partagé le Prix double de cette année à quatre Pièces qui lui ont paru mériter également d'être récompensées. En voici les titres, aussi-bien que de trois autres Pièces qui ont concouru au même Prix.

- I. Discours sur le Cabestan : par M. Jean BERNOULLI, le  
fils. page 1.
- II. Dissertation sur la meilleure construction du Cabestan :  
page 31.
- III. *De Ergatæ navalis præstabiliore facilioreque usu dissertatio : una ex quatuor quæ Præmium duplex ann. 1739 & 1741 meruerunt ;* à Joanne POLENO. page 91.
- IV. Recherche de la meilleure construction du Cabestan :  
par M. LUDOT. page 123.
- V. Mémoire sur le Cabestan : par M. DE PONTIS. page 199.
- VI. Recueil de différentes expériences, essais & raisonnemens sur la meilleure construction du Cabestan : par M. FENEL. page 219.
- VII. Cabestan à écrevices & Cabestan à bras : par M. DE LORME. page 273.

Pieces de 1743.

- VIII. Mémoire sur la maniere de construire les Bouffoles d'inclinaison ; pour faire avec plus de précision qu'il est possible les Observations de l'Inclinaison de l'Aiguille aimantée : par M. Daniel BERNOULLI. 1743. page 1.
- IX. *De observatione Inclinationis Magneticæ dissertatio :* à D. Leonardo EULER. 1743. page 63.

Pieces de 1744 & 1746.

- X. *Dissertatio de magnete* : à D. Leonardo EULER. page 1.  
XI. Discours sur l'aiman : Par M. DU TOUR. page 49.  
XII. Nouveaux principes de Méchanique & de Physique,  
tendans à expliquer la nature & les propriétés de l'ai-  
man ; par MM. Daniel & Jean BERNOULLI. page 115.
- 

Avis au Relieur pour placer les Figures de ce  
Recueil.

*Tome cinquième.*

Les Planches étant toutes cottées le Relieur aura soin de  
les placer aux pages indiquées.



PIECES

SUR LA

MEILLEURE CONSTRUCTION

DU CABESTAN.

---

---

*Prix de 1741.*



P I E C E S  
QUI ONT REMPORTE<sup>1</sup>  
L E P R I X  
DE L'ACADÉ<sup>1</sup>MIE ROYALE  
D E S S C I E N C E S,  
E N M. D C C. X L I.

*Sur la meilleure construction du Cabestan.*

Selon la fondation faite par feu M. ROUILLE' DE  
MESLAY, ancien Conseiller au Parlement.



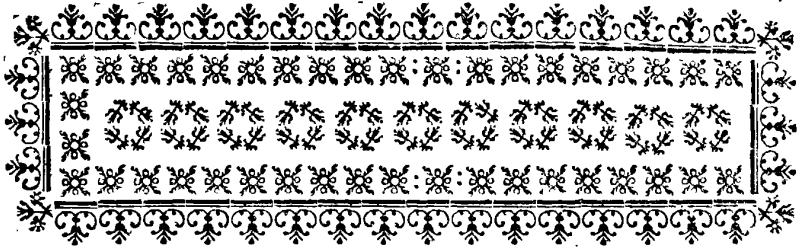
*A P A R I S, rue Saint Jacques,*  
Chez G. MARTIN, J. B. COIGNARD, & les  
Freres GUERIN, Libraires.

---

M. D C C. X L V.







## AVERTISSEMENT.

**L'**ACADÉMIE ayant souhaité de procurer à la Marine un Cabestan qui fût exempt des inconvéniens auxquels est sujet celui dont on se fert actuellement, elle proposa pour le Prix de 1739. de trouver un Cabestan qui eût les avantages de l'ancien, sans en avoir les défauts. Quoique parmi les Mémoires qu'elle reçut, il y en eut plusieurs qui étoient pleins d'idées ingénieuses, & utiles à certains égards, elle n'en trouva cependant aucun qui remplît suffisamment les conditions qu'elle avoit exigées. Elle prit donc le parti de différer son jugement, & de proposer le même sujet pour l'année 1741. avec un Prix de double valeur. Les Sçavans ont profité de ce délai, soit pour composer de nouveaux Mémoires, soit pour faire des additions & des corrections aux anciens. Mais l'Académie ne croit pas devoir dissimuler, que parmi les Cabestans qui lui ont été présentés pour sauver les inconvéniens de celui qui est en usage, elle n'en a trouvé aucun qui n'eût lui-même des inconvéniens, & tels qu'ils pourroient bien balancer ses avantages, ce que la pratique seule

peut apprendre. L'Académie a pourtant jugé que la manière dont le sujet a été traité dans quatre de ces Mémoires, méritoit d'être récompensée : car outre qu'on y a proposé des Cabestans nouveaux, ingénieusement imaginés, & utiles au moins dans certains cas, on y a donné des théories qui peuvent conduire à perfectionner les manœuvres de l'ancien Cabestan, & elle a cru devoir partager également le Prix à ces quatre Pièces, & les faire imprimer dans l'ordre des numeros de leur réception ; sçavoir,

N<sup>o</sup> 13, qui a pour devise,

*.... Tentanda via est, quâ me quoque possim*

*Tollere humo, victorque virûm volitare per ora.* Virg.  
dont l'Auteur est M. Jean Bernoulli le Fils.

N<sup>o</sup> 14, qui répond au N<sup>o</sup> 7 de 1739, qui a pour devise,

*Pressa momordit humum superas nunc gaudet ad  
auras*

*Ancora judicio tendere nostra tuo.*

& dont l'Auteur nous est inconnu.

N<sup>o</sup> 25, qui a pour devise,

*Arte citæ, veloque rates, remoque reguntur.* Ovid.

& dont l'Auteur est M. le Marquis Poleni, Professeur de Mathématiques à Padoue.

Et N<sup>o</sup> 32, ou 20 de 1739, qui a pour devise ;

*Un cordage roulé autour d'un double aissieu,*

*Peut être dévidé sans fin au même lieu,*

dont l'Auteur nous est inconnu.

L'Académie a aussi jugé à propos de faire imprimer dans l'ordre de leur réception, trois autres

*AVERTISSEMENT.*

vij

Pieces, sous le titre d'*Accessit* ; sçavoir ,

N<sup>o</sup> 16, qui a pour devise, *Deus non projicit simplicem.*

N<sup>o</sup> 27, qui a pour devise, *Quando non potest fieri id quod vis, id velis quod fieri possit.*

Et N<sup>o</sup> 29, qui a pour devise ,  
*Plus il me résiste , mieux je le saisis.*



---



---

# CATALOGUE

*Des Ouvrages contenus dans ce Recueil.*

- I. **D**ISCOURS sur le Cabestan , par M. JEAN BER-  
NOULLI le fils , Page 1
- II. Differtation sur la meilleure construction du Cabestan ,  
31
- III. *De Ergatæ navalis præstabiliore facilioreque usu* *Differ-*  
*tatio ; authore JOANNE POLENO , Mathematico Professore*  
*Patavino , Reg. Scient. Acad. Regiæque Soc. Lond. Socio,*  
91
- IV. Recherche de la meilleure construction du Cabest-  
tan , par M. LUDOT , Ecuyer , Avocat en Parlement ,  
123
- V. Mémoire sur le Cabestan , par M. DE PONTIS , Offi-  
cier des Galeres, Correspondant de l'Académie Roya-  
le des Sciences, 199
- VI. Recueil de différentes Expériences, Essais, & Rai-  
sonnemens sur la meilleure construction du Cabestan ,  
par rapport aux usages auxquels on l'applique dans un  
Vaiffeau , par M. FENEL , Chanoine de Sens , 219
- VII. Cabestan à Ecrevices , & Cabestan à bras , par  
M. DELORME , de l'Académie de Lyon. 273

DISCOURS

DISCOURS  
SUR LE  
CABESTAN.

*Cette Piece est une des quatre entre lesquelles le  
Prix double a été partagé.*

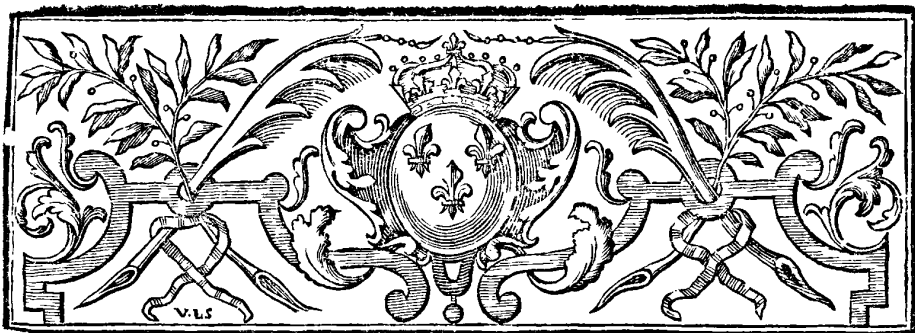
---

*. . . Tentanda via est , quà me quoque possim  
Tollere humo , victòrque virùm volitare per ora. Virgil,*

Par M. JEAN BERNOULLI, le Fils.

*Prix. 1741.*





# DISCOURS

SUR

## LE CABESTAN.

---

*... Tentanda via est, quâ me quoque possim  
Tollere humo, victorque virum volitare per ora. Virgil.*

---



N ne peut disconvenir que les Sciences ne doivent beaucoup à la fondation faite par feu M. Rouillé de Meslay, des prix que l'Académie Royale des Sciences distribue tous les ans.

Pour en être persuadé, on n'a qu'à jeter les yeux sur tant d'excellens ouvrages couronnés par cette Académie, & qui sont le fruit de cette fondation.

Mais il faut avouer aussi, que ces mêmes Sciences sont plus redevables encore aux personnes éclairées qui proposent les sujets de ces Prix, & au choix judicieux qui se remarque dans les questions qui forment ces sujets. En pro-

A ij

posant un Problème, quel qu'il soit, il faut sans doute avoir égard à la possibilité, à l'utilité & à la difficulté de sa solution. Il n'y a guères moins d'honneur à proposer un Problème, où ces trois conditions soient bien observées, qu'à le résoudre; le chemin est même tout frayé à l'invention, quand on en connoît la possibilité & l'utilité, & quand on fait ce qu'il faut proprement chercher & ce qu'il faut éviter.

Tel homme ingénieux, par exemple, auroit peut-être trouvé le mouvement perpétuel, si quelqu'un lui en avoit pu démontrer la possibilité; & tant de gens se feroient épargné la peine inutile de le chercher, s'ils en avoient reconnu l'impossibilité.

Le choix des questions proposées par l'Académie prouve bien une chose, qui véritablement n'avoit pas besoin de preuve; je veux dire, que personne ne résoudroit mieux ces questions, que les Sçavans eux-mêmes qui les proposent, si par un excès de générosité & de délicatesse, ils ne s'étoient exclus de prétendre aux Prix. Il seroit à souhaiter que Messieurs les Académiciens eussent été moins scrupuleux: ils auroient mieux répondu à l'intention du Fondateur, qui a eu pour but l'avancement des Sciences; & ils ne se verroient pas sans doute obligés, comme ils le sont quelquefois, de renvoyer la distribution des prix par le manque d'assez bons ouvrages qui leur soient présentés.

C'est surtout dans la recherche que l'Académie vient de proposer une seconde fois pour sujet du Prix, qu'une grande utilité se trouve combinée avec beaucoup de difficulté. Cette recherche consiste à sçavoir, *quelle est la meilleure construction du Cabestan, ou de telle autre machine équivalente.*

Personne n'ignore que les ancres, & par conséquent les Cabestans, sont d'un usage indispensable pour la navigation; cela étant, on n'a qu'à porter la vue sur les inconvéniens qui accompagnent l'usage du Cabestan ordinaire, & qui sont rapportés tout au long dans le premier des deux Programmes où le sujet en question est proposé, pour



se convaincre de l'avantage qu'on retireroit de l'invention que l'Académie demande.

Quant à la difficulté d'imaginer une machine qui soit délivrée des inconvéniens du Cabestan ordinaire sans être assujettie à d'autres inconvéniens aussi fâcheux que ceux-là, si on en laisse juger ceux qui ont entrepris la solution de ce Problème, ils tomberont tous d'accord que de quel côté qu'on l'entame, & de quelle manière qu'on le retourne, on y rencontre des obstacles qui rebutent: si on ne donne pas contre les écueils qu'on se propose d'éviter, on risque d'échouer contre d'autres plus dangereux encore.

Ce que je viens de dire est si vrai, que lorsque je commençai à méditer sur ce Problème, je fus quelque tems à le regarder comme n'étant pas susceptible d'une solution parfaite, & à m'imaginer qu'il ne s'y agissoit que d'une solution plus ou moins sujette à plusieurs sortes d'inconvéniens. Cependant à mesure que mes idées se sont développées, elles m'ont conduit peu à peu à satisfaire si pleinement à la demande de l'Académie, que j'ose me flatter d'avoir résolu le Problème proposé aussi parfaitement qu'on puisse résoudre un Problème de pure Géométrie; & il y a d'autant moins à excepter contre ma solution, que non-seulement elle est fondée sur des Théorèmes incontestables, & qui prouvent en même tems qu'elle est la plus simple qu'on puisse donner, mais qu'elle est encore confirmée par l'expérience, qui décide en dernier ressort des jugemens de la Théorie.

Comme il s'agit principalement des Cabestans doubles, qui servent pour les grands vaisseaux, je ne parlerai ici que de ceux-là; mais on verra sans peine, que ce que j'en dirai, pourra être appliqué à toutes sortes de Cabestans.

J'observerai dans la suite de ce Mémoire une espèce d'ordre analytique qui satisfait bien plus le Lecteur que la synthèse: je repasserai pas à pas sur la route que j'ai suivie en tâchant de résoudre la question proposée; mais il est à pro-

pos de rapporter auparavant dans une premiere Partie les Théorèmes & les expériences que je supposerai dans mes raisonnemens , pour faire voir que je n'avance rien qui ne soit suffisamment démontré & avéré.

---

## PREMIERE PARTIE.

### EXPERIENCE.

§. I. **L**A force requise pour mouvoir une surface chargée d'un poids sur une autre surface horizontale , & pour vaincre la résistance du frottement , est simplement proportionnelle audit poids , quelque grande ou petite que soit la surface qui en est chargée. Cette vérité qui est généralement reconnue , & que l'expérience nous a enseignée , fera la base de notre Théorie.

### SCHOLIE.

§. II. On suppose dans cette proposition des surfaces uniformes ; car les surfaces de différentes natures demandent toujours des forces différentes , quoique toutes les autres circonstances demeurent les mêmes. Il est vrai que les résistances causées par le frottement peuvent être différentes , lorsqu'il s'agit de mouvoir les poids avec plus ou moins de vitesse ; du moins n'a-t on pas encore fait là-dessus assez d'expériences pour rien établir : mais c'est ici une circonstance que nous pouvons nous dispenser d'examiner ; car il ne s'agira dans nos recherches , que de trouver la force qui est en équilibre avec la résistance du frottement , & laquelle étant par conséquent tant soit peu augmentée , pourra vaincre le frottement & entraîner le poids.

Après avoir fait remarquer cette propriété , nous allons donner la solution d'un Problème , que je ne sçache point avoir encore été traité , très-utile dans la Méchanique &

dans le calcul des forces, & surtout très-essentiel à notre sujet.

## P R O B L E M E.

§. III. Soit (figure 1.)  $ACD$  la section d'un Cylindre immobile dont le centre est en  $B$ , soit  $C$  le bout d'une corde affermi au Cylindre, & que la corde passe sur l'arc donné  $CA$ ; & supposons enfin, qu'à l'autre bout  $E$  de la corde soit attaché un poids  $P$ : il faut trouver la tension de la corde dans un point quelconque  $M$ .

## S O L U T I O N.

Il est clair d'abord que la tension de la corde diminue continuellement depuis  $A$  jusqu'en  $C$ . Prenant donc sur l'arc  $AC$ , deux points infiniment proches  $M, m$ , il s'agit de trouver la diminution de la tension causée par l'élément  $Mm$ . Pour trouver cette diminution, nous nommerons l'arc  $AM = x$ ;  $Mm = dx$ ; tout l'arc  $AC = a$ , le rayon  $AB = r$ ; la tension de la corde au point  $M = t$ , & la même tension au point  $m = t - dt$ . Or il est clair que la diminution de la tension est précisément égale au frottement causé par l'élément  $Mm$ , puisque le frottement de chaque arc  $AM$ , & la tension au point  $M$  pris ensemble, sont toujours égaux au poids constant  $P$ . Il n'est donc plus question que d'exprimer le frottement causé par l'élément  $Mm$ : mais comme il ne me suffit pas de l'exprimer *in abstracto* en introduisant une quantité constante sans en déterminer la valeur absolue, il faut avoir recours à une expérience fondamentale faite avec la même corde sur une surface pareille à celle de notre Cylindre. Supposons donc que la corde  $AC$  mise sur une table horizontale, dont la surface soit pareille à celle du Cylindre & chargée d'un poids  $\pi$ , souffre un frottement égal à un poids  $p$ : ce frottement  $p$  fera le même si l'on change la longueur de la corde mise sur la table, pourvu qu'elle soit toujours chargée du même

pois  $\pi$ ; (Prop. 1.) & ainsi on pourra concevoir cette longueur infiniment petite & égale à l'élément  $Mm$ : & si on conçoit la corde chargée d'un autre poids, le frottement sera proportionnel au poids dont la corde est chargée. Voyons donc à présent avec quelle force la corde est pressée contre l'élément  $Mm$ . On fait que la tension de la corde étant  $t$ , l'élément  $Mm$  souffre une pression égale à  $\frac{Mm t}{2r} = \frac{t dx}{2r}$ ; il faut donc faire cette analogie: Comme la pression  $\pi$  est au frottement  $p$ , ainsi sera la pression  $\frac{t dx}{2r}$  au frottement causé par l'élément  $Mm$ , qui deviendra  $= \frac{p t dx}{2\pi r}$ . Or nous avons vû ci-dessus, que la diminution de la tension  $dt$  est égale audit frottement  $\frac{p t dx}{2r}$ ; nous avons donc cette équation,  $-dt = \frac{p t dx}{2\pi r}$ . De cette équation nous tirons  $-\frac{dt}{t} = \frac{p dx}{2\pi r}$  dont l'intégrale est  $\log. \frac{a}{t} = \frac{p x}{2\pi r}$ , dans laquelle,  $a$ , marque une constante; pour la déterminer, considérons que  $t$  doit être  $= P$  lorsque  $x$  est  $= 0$ , cela fait voir, que  $a = P$ , & qu'il faut par conséquent mettre  $\log. \frac{P}{t} = \frac{p x}{2\pi r}$ . Soit à présent,  $c$ , le nombre dont le Logarithme est l'unité, & qu'on prenne de part & d'autre les nombres, nous aurons  $\frac{P}{t} = c^{\frac{p x}{2\pi r}}$ , ou enfin  $t = c^{-\frac{p x}{2\pi r}} \times P$ .  
*C. Q. F. T.*

## S C H O L I E.

§. IV. Dans cette solution nous avons négligé le poids de la corde pour la rendre plus simple, & pour ne point nous engager dans des calculs au-delà de ce que notre sujet demande; mais la méthode seroit la même, si on jugeoit à propos d'avoir égard au poids de la corde. Il est aussi à remarquer, qu'au lieu de concevoir une force en  $C$ , qui empêche la corde de glisser de  $C$  vers  $A$ , j'ai mieux aimé considérer la corde comme arrêtée par un clou, dont  
 l'action

L'action devient de cette manière précisément telle qu'étant diminuée tant soit peu, la corde glisseroit effectivement, au lieu que si on avoit voulu considérer à la place de l'action du clou une force réelle, qui retînt tout le système en équilibre, il est manifeste qu'une telle force peut avoir une grande variation; si le poids,  $P$ , est, par exemple, de trois livres, la force directe d'une livre en  $C$  pourra peut-être déjà empêcher la corde de glisser; mais tout le système demeurera encore en équilibre, si on applique en  $C$  une force de deux livres, ou de trois, & même jusqu'à neuf livres, qui fera le dernier terme; car si on continuoit d'augmenter la force en  $C$ , la corde glisseroit alors en sens contraire; c'est-à-dire, de  $A$  vers  $C$ . On voit donc que l'état d'équilibre a une très-grande étendue: mais il ne sera question dans nos recherches, que du premier terme de cet état d'équilibre, c'est-à-dire, de la moindre force en  $C$ , qui puisse empêcher la corde de glisser de  $C$  vers  $A$ . Nous allons tirer à présent de notre solution générale, les Corollaires qui serviront à notre sujet, & qui seront autant de nouveaux théorèmes.

## C O R O L L A I R E I.

§. V. Qu'on prenne d'abord tout l'arc,  $AC$ , & on aura  $t = c \frac{-p^a}{2\pi r} P$ : il suit de cette expression, que quand même,  $a$ , seroit infiniment grand, c'est-à-dire, que la corde fît un nombre infini de tours, la tension de la corde ne s'évanouiroit jamais tout-à-fait, & qu'il faudroit toujours un petit contrepoids pour empêcher la corde d'être entraînée par l'action du poids  $P$ ; mais ce contrepoids devient pourtant comme insensible après un petit nombre de tours.

## C O R O L L A I R E II.

§. VI. La courbe des tensions de la corde est la Logarithmique ordinaire, & par conséquent les tensions dimi-

Prix. 1741. B

nueront en progression Géométrique , lorsque les arcs augmentent en progression Arithmétique. Comme cette vérité est très-essentielle à notre sujet , j'ai jugé à propos de l'éclaircir par l'expérience qui suit.

### EXPERIENCE.

§. VII. J'ai pris un cylindre de verre , & dont , par conséquent , la surface étoit fort polie ; j'ai donné à la corde qui passoit par-dessus ce cylindre , un demi tour , & j'ai remarqué qu'en attachant à l'un des bouts un poids d'une livre , le plus petit contrepois attaché à l'autre bout , étoit fort à peu près d'une demie livre. Après cela ayant fait faire à la corde un tour & demi sur la surface du cylindre , & laissant le poids d'une livre à l'un des bouts , je n'avois plus besoin que d'un contrepois de deux onces pour empêcher le grand poids de descendre , & d'environ une demie once lorsque la corde faisoit deux tours & demi ; ce qui confirme notre théorème. Il est vrai que le succès de toutes ces fortes d'expériences n'est jamais précisément le même , parce que ni la surface du cylindre , ni celle de la corde ne sont parfaitement égales partout : cependant le résultat de nos expériences a été tel , qu'il a visiblement confirmé le théorème.

### COROLLAIRE III.

§. VIII. Les surfaces de différens cylindres étant les mêmes & se servant d'une même corde , que l'on passe sur des arcs semblables , les contrepois qui pourront empêcher des poids égaux de glisser , seront égaux , puisque de cette manière les quantités  $\frac{p}{\pi}$ ,  $\frac{x}{r}$  &  $P$  étant les mêmes , les tensions ,  $t$  , seront aussi les mêmes , quel que soit le diamètre du cylindre sur lequel on passe la corde.

## E X P E R I E N C E .

§. IX. Pour confirmer cette vérité par une expérience, je me suis servi d'un tuyau de verre, dont la surface étoit par tout également polie, & qui avoit la figure d'un cône tronqué; & j'ai vû que le même contrepoids tenoit en équilibre le même poids, soit que j'aye passé la corde par dessus le tuyau à l'endroit où il étoit le plus large, ou bien à l'endroit où il étoit le plus étroit, & pour peu que j'aye diminué ce contrepoids, il étoit toujours entraîné par le gros poids.

## C O R O L L A I R E IV.

§. X. Le reste demeurant le même, si l'on change le poids & le contrepoids, ils garderont la même proportion; par exemple, un poids double, triple, &c. du précédent sera tenu en équilibre par un contrepoids double, triple, &c. ce que j'ai encore confirmé par plusieurs expériences.

## R E M A R Q U E I.

§. XI. Tous ces Corollaires & toutes ces expériences nous font voir que les expériences qu'on fait en petit, ne sçauroient différer de celles qu'on pourroit faire en grand, & qu'ainsi nos propositions seront toujours vraies, quoiqu'on prenne de gros cables au lieu de cordes, des poids de 40000 livres ou au-delà, au lieu d'un poids de quelques livres, & qu'on passe le cable sur tel cylindre qu'on voudra; de sorte que le succès d'un petit modèle de la machine que je décrirai dans la suite, prouvera que la machine elle-même ne sçauroit manquer de réussir aussi, & de remplir entièrement l'intention de l'Académie.

## REMARQUE II.

§. XII. J'ai cité ci-dessus des expériences faites sur des surfaces de verre : pour en avoir d'autres plus propres à notre sujet, j'ai pris des cylindres d'un bois dur & dont la surface étoit beaucoup moins unie ; il m'a été facile de faire enforte, que moyennant un demi tour de la corde, le contrepoids nécessaire n'étoit plus que le quart du poids. Je crois pourtant que le cable appliqué au Cabestan ne diminuera pas tant le contrepoids, parce que les gros cables n'étant pas fort pliables, doivent être censés comme ayant une espèce d'élasticité, qui en diminuant la pression du cable contre le cylindre, diminue par-là en même tems l'effet du frottement : c'est pourquoi je supposerai dans la suite, que le frottement du cable produit par un demi tour sur le cylindre, n'ôte que les deux tiers du poids, & demande par conséquent un contrepoids égal au tiers du poids pour empêcher le cable de glisser. Je ne fais cette supposition, que pour former les calculs sur l'hypothèse qui me paroît la plus naturelle ; quelque petit que soit le frottement, il n'en résulte aucun inconvénient sur la machine que je proposerai.

## REMARQUE III.

§. XIII. Comme le calcul des frottemens demande pour toutes les cordes & pour toutes les surfaces une expérience fondamentale, nous avons supposé dans la solution de notre problème (§. 3.) avoir été trouvé par expérience, que la corde mise sur une table horizontale, & chargée d'un poids  $\pi$ , souffre un frottement égal au poids  $p$  ; mais comme cette expérience n'est pas si facile à faire que celle du plus petit contrepoids qu'on peut attacher à la corde, qui fait un demi tour sur le cylindre, pour l'empêcher de glisser, nous substituerons cette seconde expérience à la première : Supposant donc qu'on ait trouvé que pour un demi



tour de la corde le poids est au contrepoids comme  $n$  à 1, & que l'arc  $\frac{x}{r}$  soit exprimé par un nombre de degrés donné, que nous appellerons  $N$ , on voit que la formule qui est à la fin du troisième article, doit être changée en celle-ci,  $t = n \frac{N}{180} P$  ou  $t = P : n \frac{N}{180}$ .

Eclaircissons cette formule par quelques exemples.

*Exemple I.* Soit dans l'expérience fondamentale  $n = 3$ , qui me semble la supposition la plus naturelle pour les cables appliqués au Cabestan, c'est-à-dire, supposons que le cable appliqué à 180 degrés du Cabestan, demande un contrepoids égal au tiers du poids, & qu'il faille trouver le contrepoids lorsque le cable embrasse 300 degrés. Dans cet exemple il faut mettre  $n = 3$ ,  $N = 300$ , & par conséquent  $t = P : 3 \frac{3}{3} = 0.1603 P$ .

*Exemple II.* Soit  $n = 4$ , & qu'il faille trouver le contrepoids, lorsque la corde fait deux tours entiers: nous aurons  $t = P : 4^4 = \frac{P}{256}$ .

*Exemple III.* Soit d'erechef  $n = 3$ ; soit outre cela  $P = 40000$  livres; que le cable fasse trois tours entiers sur le Cabestan: on trouvera que le contrepoids nécessaire pour empêcher le cable de glisser, est  $= \frac{40000}{729} = 54 \frac{7}{9}$  livres.

P R O B L E M E.

§. XIV. Trouver le nombre de degrés que le cable doit embrasser, pour que le contrepoids soit égal à un poids donné.

S O L U T I O N.

Nous avons trouvé dans le précédent article  $t = P : n \frac{N}{180}$ ; & si l'on suppose dans cette équation  $t$  être donné, &  $N$  le nombre cherché, on trouvera  $n = \left(\frac{P}{t}\right)^{180}$ , & par conséquent  $N = (180 \log. P - 180 \log. t) : \log. n$ .

B ij

## REMARQUE.

§. XV. Comme pour la sûreté du défancrage il faut prendre toutes les quantités dans leur plus grande valeur , nous remarquerons que le poids de la maîtresse ancre sur les plus grands vaisseaux, peut aller jusqu'à 12000 livres ; cependant comme une grande partie en est de bois , & que la pesanteur spécifique du bois est bien plus petite que celle du fer , on peut compter que l'ancre perd le quart de son poids dans l'eau , & qu'elle n'y pèse plus que 9000 livres ; mais une telle ancre peut tenir si fort au fond de la mer , qu'il faut peut-être une force double pour l'en tirer , ce qui feroit 18000 livres. Outre ce grand poids il faut considérer encore celui que le cable a sous l'eau ; le poids de tout le cable peut aller jusqu'à 15000 livres ; mais l'ancre étant à pic , il n'y aura tout au plus que la moitié du cable depuis l'écubier jusqu'au fond de la mer ; nous ne mettrons donc que 8000 livres ; de ces 8000 livres il faut encore retrancher les trois quarts , à cause de la pesanteur spécifique du cable dans l'eau ; il ne reste donc que 2000 livres , qui ajoutées aux 18000 livres , font 20000 livres. Enfin il faut ajouter encore à ces 20000 livres le frottement du cable contre la surface de l'écubier , qui peut l'augmenter presque au double. Pour nous assurer donc de la plus grande résistance , mettons  $P = 40000$  livres ; supposons après cela que l'on n'emploie pour contrepoids que 80 livres , c'est-à-dire , que l'effort avec lequel on tire le cable en le dévidant , soit tout au moins égal à 80 livres , & faisons  $n = 3$  : avec ces suppositions avec lesquelles on peut sans doute être sûr de l'effet du Cabestan , on trouve  $N = 1018$  degrés , qui font deux tours & 298 degrés,

## E X P E R I E N C E

*Sur l'élevation des poids en tournant le Cylindre:*

§. XVI. Nous avons considéré jusqu'ici le cylindre comme immobile, & nous avons déterminé là-dessus le plus petit contrepoids requis pour empêcher le cable de glisser. Voyons maintenant ce qui doit arriver lorsqu'on tourne le cylindre dans le dessein d'élever le poids. Or j'ai observé, lorsque le contrepoids étoit précisément tel que nous l'avons déterminé, que pour peu qu'on tournât le cylindre, le poids entraînoit le contrepoids. La raison n'en est pas difficile à voir; car on ne sçauroit tourner le cylindre sans y exciter quelques petits chocs ou tremouffemens, qui augmentent l'effet du poids, outre cela le cable ou la corde n'est jamais parfaitement égale, & s'il se présente une partie de corde qui souffre moins de frottement, le poids ne sçauroit manquer de descendre & de faire glisser la corde. Mais dès qu'on augmente un peu le contrepoids, on pourra tourner le cylindre, faire monter par ce moyen le poids d'un côté & dévider la corde de l'autre; & j'ai remarqué qu'en augmentant le contrepoids du quart ou du tiers, l'élevation du poids en tournant se fait très-sûrement, sans que la corde courre aucun risque de glisser, ni le poids de descendre.

## R E M A R Q U E.

§. XVII. On voit par cette expérience, que pour appliquer le calcul de l'article 15. où l'on n'a cherché le plus petit contrepoids que dans la supposition que le cylindre demeurait en repos, à notre cas, où le cylindre est tourné en élevant le poids d'un côté & dévidant la corde de l'autre, il faut augmenter le contrepoids qu'on y a supposé de 80 livres, d'environ 20 livres, & supposer par conséquent que le cable soit tiré avec une force d'environ 100 livres; ou bien si on veut laisser la force de 80 livres, il faudra

augmenter le nombre de degrés que la corde embrasse sur le cylindre d'environ 36 degrés, de sorte que la corde fasse près de trois tours au lieu de deux tours & 298 degrés.

Si dans l'article 15 nous avons posé  $n = 2$ ,  $N$  deviendrait ici égal à 1674 degrés, c'est-à-dire, qu'il faudroit que la corde fit sur le cylindre environ quatre tours & deux tiers.

§. XVIII. Tant que la corde ne fait pas un tour entier sur le cylindre, & que les deux bouts sont tirés perpendiculairement à son axe & dans le plan de l'arc que la corde embrasse, il est évident qu'en tournant le cylindre, la corde qui se dévide dessus, demeurera toujours dans le même plan, sans s'approcher ni s'éloigner de l'une des extrémités du cylindre.

§. XIX. Mais si les directions suivant lesquelles on tire la corde, ne sont pas dans le plan de l'arc que la corde fait d'abord sur le cylindre, il est encore évident que la corde appliquée au cylindre, changera de place en tournant le cylindre, jusqu'à ce que les directions des forces soient dans le plan de cet arc.

§. XX. Il est pourtant aisé d'éviter ce déplacement malgré l'obliquité des forces, & voici comment : On peut faire tout autour du cylindre une entaille en forme de coulisse telle que l'on voit aux poulies, dans laquelle la corde s'enveloppe d'un côté & se développe de l'autre. Cette coulisse pourroit être si profonde, que quand même l'obliquité des forces seroit de 20 ou de 30 degrés & au delà, la corde n'en pourroit jamais sortir pendant qu'elle se dévideroit. Quoique cette vérité saute aux yeux, je n'ai pas laissé de la confirmer par plusieurs expériences, trop faciles à faire, & trop claires par elles-mêmes pour mériter d'être rapportées. Cependant l'obliquité que notre système demande entre la direction des forces & le plan de la coulisse, est à peine sensible, & peut-être rendue aussi petite qu'on le souhaite ; mais quelque petite qu'elle soit, ces coulisses circulaires seront toujours nécessaires pour la machine que nous donnerons

nerons ; & en font une partie essentielle.

La profondeur de la coulisse peut être prise égale au diamètre du cable, sa plus grande largeur égale au double de ce diamètre, & sa section perpendiculaire formée en demi-cercle. L'effet de cette coulisse fera, que le cable en occupera toujours le milieu, excepté l'endroit où il est prêt à quitter le cylindre, auquel endroit le cable se mettra tant soit peu obliquement, sans pourtant atteindre le bord de la coulisse ; il n'y aura que cette petite partie insensible qui sera obligée par la manœuvre de glisser imperceptiblement. On comprendra plus clairement cette mécanique, en décomposant la force qui tire le cable, en deux forces, dont l'une étant perpendiculaire au cylindre & dans le plan du milieu de la coulisse, ne fait aucun effort, pendant que l'autre force parallèle à l'axe du cylindre (qui est extrêmement petite à cause de l'imperceptible obliquité que notre système demande) est très-facilement contrebalancée par l'inclinaison des côtés de la coulisse vers l'axe du cylindre, pour peu que le cable s'écarte du milieu de la coulisse.

Si je me suis un peu étendu sur un article aussi clair que celui que nous venons d'établir, ce n'a été que pour faire voir avec quel scrupule j'ai examiné jusqu'aux plus petites circonstances.

## SECONDE PARTIE.

§. I. **P**our en venir à présent à notre sujet, je remarque d'abord que le Cabestan ordinaire est une machine si simple, si solide, d'un usage & d'un maniment si aisé, qui occupe si peu de place, si commode en un mot, que si en le conservant, on peut remédier aux inconvéniens auxquels il est assujetti, on ne doit pas se flatter de pouvoir imaginer aucune autre machine qui lui soit préférable.

§. II. Plutôt donc que de chercher une autre espèce de Cabestan, tâchons, s'il se peut, de perfectionner celui dont

*Prix.* 1741.

C

on s'est fervi jusqu'ici ; mais comme on ne doit jamais compter d'obtenir quelque avantage tout-à-fait gratuitement, je prévois qu'il faudra se résoudre à relâcher quelque chose de la simplicité du Cabestan ordinaire, & à le rendre un peu plus composé.

§. III. Voyons d'abord quel est l'usage de cette machine, & quelles sont les incommodités auxquelles nous devons apporter du remède, afin de marcher plus sûrement dans la route que nous tiendrons.

Le *Cabestan* est, comme on sçait, un cylindre de bois dressé à plomb sur le pont du vaisseau, que l'on peut tourner sur une plaque de fer appelée *Ecuelle*, par le moyen des leviers qui y sont appliqués, & il sert à lever des ancrs ou d'autres fardeaux auxquels sont amarrés les cables, que l'on fait passer par-dessus ce cylindre, & que l'on dévide en même tems qu'on vire au Cabestan ; le *grand Cabestan*, ou le *Cabestan double* que nous avons particulièrement en vue, est posé sur le premier pont, & s'élève jusqu'à quatre ou cinq pieds de hauteur au-dessus du deuxième.

§. IV. On n'arrête point le garant du cable sur la surface du cylindre, parce qu'à mesure que le cylindre est tourné, des hommes destinés à recueillir le cable le dévident de dessus cette surface en le tirant de toutes leurs forces, & pour empêcher qu'il ne glisse, on en entortille un bout sur le tour du Cabestan avant que d'en commencer la manœuvre ; car de cette manière quoique le poids du fardeau à lever surpasse de beaucoup la force des hommes qui dévident le cable, il ne sçauroit cependant la surmonter & faire glisser la partie du cable roulée autour du cylindre à cause du frottement de cette partie du cable contre la surface du Cabestan.

§. V. Ce frottement, que l'on peut nommer *virtuel*, parce qu'il ne se fait pas actuellement, sera plus grand sans doute si le cable fait plus de tours autour du cylindre (*voy. ci-dessus Part. I. §. 3.*) ; & nous avons vû (*Part. I. §. 17.*) que pour être bien assuré que le cable ne glissera pas, il faut lui

donner près de trois tours autour du Cabestan.

§. VI. Pour ce qui est des inconvéniens qui accompagnent l'usage du Cabestan ordinaire, & dont le programme pour l'année 1739. fait mention, ils consistent en ce qu'il faut choquer plusieurs fois ou rehausser le cordage qui se dévide sur l'essieu de cette machine, pour éviter qu'il ne s'embarasse; qu'à chaque fois qu'on choque il faut arrêter le mouvement de la machine, prendre des bossés sur le cordage, déviter le Cabestan pour mollir la partie du cordage qui est sur l'essieu; relever le cordage, le roidir de nouveau, & enfin ôter les bossés pour remettre le Cabestan en état.

§. VII. J'observerai ici que tous ces inconvéniens ont leur source dans le premier, & qu'il suffit d'éviter celui-ci pour prévenir tous les autres; de sorte que pour satisfaire à la demande de l'Académie, je n'ai qu'à me proposer la solution de ce problème : *Élever ou trainer un poids quelconque, moyennant un contrepoids aussi petit que l'on voudra par un espace quelconque, avec une force & d'un mouvement constamment égaux & uniformes.*

§. VIII. Ce problème renferme deux conditions; la première est, *que le cordage se dévide sur le cylindre* (puisque nous nous proposons d'employer le cylindre,) c'est-à-dire, que de l'application du cordage sur l'essieu de la machine, il résulte un frottement assez grand pour que le cable ne puisse pas glisser pendant qu'on tourne le cylindre, sans quoi on ne pourroit pas élever ou trainer le fardeau. La seconde condition est, *que la manœuvre se fasse d'un mouvement continu*, afin qu'on ne soit pas obligé de choquer; & c'est dans la combinaison de ces deux conditions que consiste la difficulté du problème; car quoiqu'il soit très-aisé de satisfaire à la première en entortillant le cable plusieurs tours sur le cylindre, il est en même tems manifeste que le cordage faisant plusieurs tours, & par conséquent n'étant pas dans un même plan, si on vire le cylindre, à chaque tour qu'il fait, le cable est obligé de

C ij

descendre de toute sa grosseur , & qu'il sera bientôt parvenu au bout du cylindre d'où il faudra le rehausser , ce qui est contraire à la seconde condition.

§. IX. Il s'agit cependant de satisfaire à ces deux conditions à la fois , & suivant qu'on part de l'une ou de l'autre , il se présente deux voies à prendre pour y parvenir ; car on peut se proposer , ou de trouver le moyen de plier de la quantité de plusieurs tours le cordage qui passe sur le cylindre , sans qu'il puisse descendre pendant que le cylindre est viré , & par conséquent sans qu'on soit obligé de le rehausser ; ou bien d'empêcher que le cordage ne glisse quoiqu'il ne fasse pas plusieurs tours sur le cylindre.

§. X. Il ne seroit point impossible d'obtenir ce dernier but ; j'imagine même plusieurs expédiens pour cela , qui consisteroient à produire dans le cable qui passe sur l'essieu du Cabestan , un frottement assez grand par le moyen de quelque pression extérieure , pour empêcher qu'il ne pût glisser , quoiqu'il n'embrasât , par exemple , qu'un demi tour du cylindre. Je me dispense néanmoins de proposer ici mes idées là-dessus pour les mêmes considérations qui ont empêché il y a deux ans l'Académie de donner le prix à quelques Pièces , qui lui avoient paru utiles & ingénieuses , c'est-à-dire , *à cause de la multiplicité des vues qu'il faut remplir , tant par rapport aux différentes circonstances où on se trouve sur un vaisseau , qu'aux hommes qui en exécutent la manœuvre , & dans une machine , qui , avec cela , doit être simple , solide , expéditive , & d'une pratique tout autrement dégagée d'embaras & à l'abri de tout accident , qu'elle ne devroit être sur terre , où l'on a le loisir , l'espace & les commodités nécessaires pour y remédier.*

§. XI. Il ne me reste donc qu'à m'attacher à chercher quelque moyen de plier le cable de la valeur de plusieurs tours , sans que pour cela il descende à mesure qu'on tourne le cylindre sur lequel il se dévide. Ce moyen sera trouvé , si on peut faire en sorte que le cordage demeure toujours dans le même plan , quelque nombre de tours qu'il



Fig. 2.

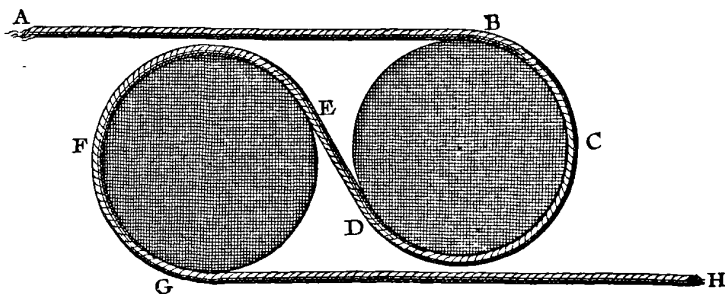


Fig. 1

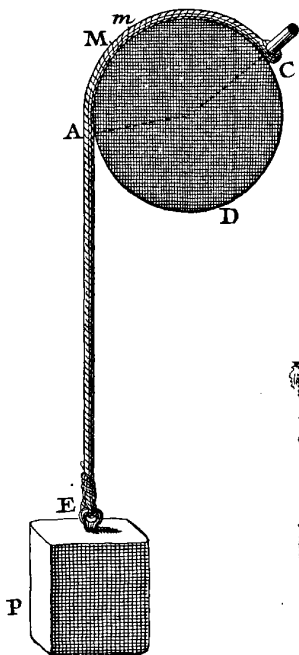
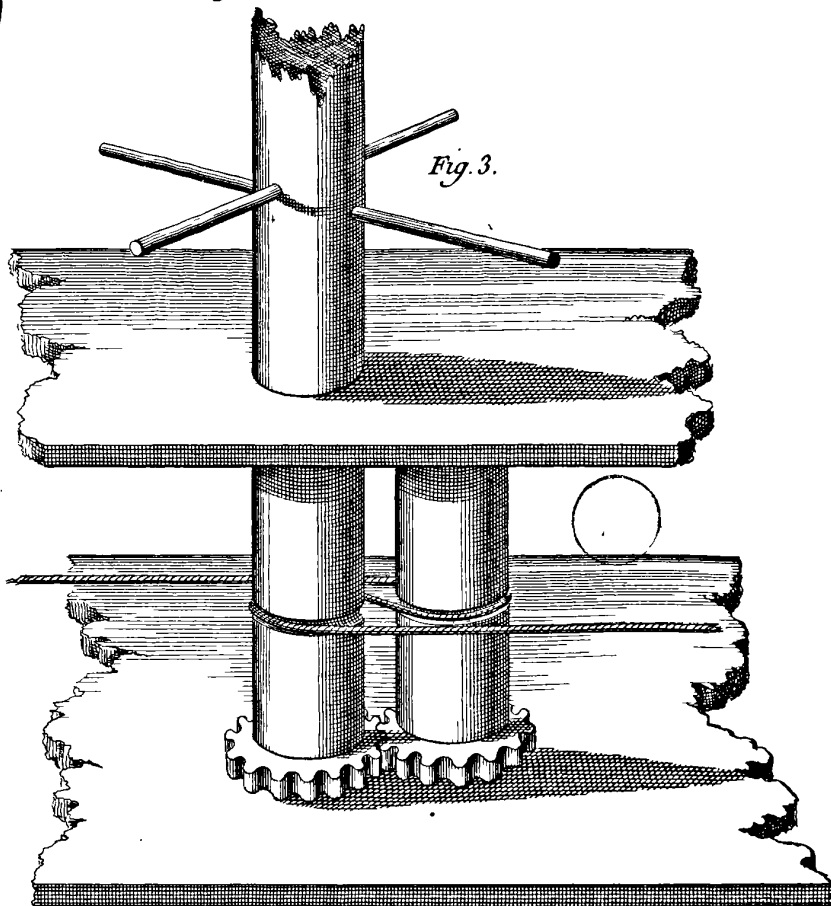


Fig. 3.





fasse. Or il est visible que la chose ne peut s'exécuter qu'en deux manières ; il faut pour cela que le cable se plie , ou en spirale , comme , par exemple , le ressort d'une montre , ou bien en serpentant ; & chacun voit encore que la première de ces deux façons ne peut pas servir pour notre dessein , c'est pourquoi il faudra nous arrêter à la seconde.

§. XII. Mais comme il est impossible de replier un cordage en serpentant sur un même cylindre , il s'en suit que nous serons obligés d'en employer pour le moins deux ; cependant nous verrons qu'il n'en faudra pas davantage non plus , & de la façon que nous arrangerons ces deux cylindres , ils ne rendront pas la machine trop composée.

§. XIII. Soient donc (*Fig. 2.*) les cercles *BCDEFG* , *Fig. 2.* les sections horizontales ou perpendiculaires à l'axe de deux cylindres posés verticalement l'un à côté de l'autre ; soit de plus *ABCDEFGH* le cordage à dévider , qui passant sur le grand arc *BCD* du premier cercle , se replie ensuite en sens contraire sur un arc semblable *EFG* du second cercle. Il est clair que si les deux cercles se touchoient , & que la ligne qui joint leurs centres fût parallèle aux tangentes *AB* , *GH* , ces deux arcs *BCD* , *EFG* que le cable embrasse , vaudroient ensemble un tour & demi ; mais comme les cercles ne se touchent pas tout-à-fait , & que la ligne qui joint leurs centres n'est pas tout-à-fait parallèle non plus aux tangentes *AB* , *GH* , ces deux arcs *BCD* , *EFG* , vaudront ensemble véritablement un peu moins d'un tour & demi , mais toujours plus d'un tour ; par conséquent (supposant pour un peu de tems que le fardeau qui doit être élevé ne soit , par exemple , que dix fois plus que son contrepoids ) si les cercles , ou bien les cylindres dont ils sont les sections , sont tournés par le moyen des leviers , l'un de *B* en *C* , & l'autre en sens contraire de *E* en *F* , le frottement qu'ils souffriront , sera suffisant pour empêcher le cable de glisser ; ce cable se dévidera donc dessus , & le bout *GH* s'allongera d'un côté , pendant que de l'autre côté le bout *AB* se raccourcira ; de cette façon le far-

C ij

deau attaché à l'extrémité *A* s'approchera continuellement & l'on obtiendra ce que l'on demande.

§. XIV. Avant que de passer outre, je dois prévenir ici une objection qu'on pourroit me faire, & qui se présente même assez naturellement. On pourroit me demander comment j'appliquerai les leviers, ou plutôt comment je ferai tourner par leur moyen deux cylindres qui sont si proches l'un de l'autre, & si chacun de ces cylindres n'empêchera pas que l'autre ne puisse être viré.

§. XV. Pour lever cette difficulté, je fais attention que l'un de ces cylindres ne servant qu'à plier le cable, il n'est pas nécessaire qu'il s'éleve aussi haut que l'autre, & que pourvu qu'il s'éleve un peu plus qu'à la hauteur du cable, cela suffit. Les deux cylindres étant donc posés sur le premier pont, & dévidant le cable un peu au-dessous du deuxième, on pourra ne faire passer que le grand cylindre par-dessus ce second pont, & y appliquer là des leviers, au moyen desquels on le fera tourner, comme on fait le Cabestan ordinaire.

§. XVI. Quoique de cette maniere la difficulté ne subsiste plus, la machine ne sera pas en état de servir encore; car l'objection à laquelle nous venons de répondre, nous conduit à une autre qui mérite qu'on y fasse attention; elle consiste en ce que les leviers n'étant appliqués qu'au grand cylindre, le petit ne pourra tourner qu'autant que le cable se dévide; or le grand cylindre étant viré, ne souffre d'autre frottement que celui qu'il reçoit de la partie du cable qui l'embrasse; & comme le cable ne fait pas seulement un tour entier, ce frottement ne sera pas suffisant pour l'empêcher de glisser; d'où il arrivera que le grand cylindre tournera seul; le petit demeurera immobile, & par conséquent ne souffrira aucun frottement, le cable glissera & ne se dévidera point.

§. XVII. Cette objection est très-fondée; car quoique nous ayons dit que le cable se pliant sur les deux cylindres de la valeur de plus d'un tour, il a assez de frottement

pour ne point glisser , ( en supposant que le fardeau ne soit que dix fois plus grand que son contrepoids ) cela n'est vrai que dans la supposition que les deux cylindres tournent à la fois ; cependant , comme nous l'avons remarqué , le mouvement du grand cylindre , ou le frottement qui en résulte , n'est pas capable de faire tourner le petit ; donc en effet celui ci demeurera immobile , il n'aura point de frottement , c'est comme s'il n'y étoit pas , & l'objection que nous venons de faire subsistera.

§. XVIII. On voit bien que pour prévenir cet inconvénient , il faut faire enforte que les deux cylindres soient obligés de se mouvoir ensemble indépendamment du frottement , & cela ne fera pas fort difficile ; l'exemple des rouages des montres nous en fournit le moyen ; nous y voyons le mouvement d'une seule piece , produire celui de toutes les autres.

§. XIX. En effet , si on garnit les deux cylindres par le bas , d'une roue de bois , horizontale , dentée & bien forte , de façon qu'en tournant , les dents de l'une s'engrenent dans celles de l'autre ; il est évident que la première ne sçauroit tourner sans obliger l'autre à tourner en même tems & en sens contraire , comme on le demande. *Voy. la fig. 3.*

*Fig. 3.*

§. XX. On trouvera peut-être à redire encore , que de cette manière le cable se dévide entre les deux ponts. Quoi qu'il en soit , si on aime mieux qu'il se dévide au-dessus du deuxième , on pourra poser le petit cylindre sur ce pont-là , & appliquer les leviers au grand cylindre entre les deux ponts , auquel cas il faudra que les roues des cylindres se trouvent au-dessus du second pont. *Voy. la fig. 4.*

*Fig. 4.*

§. XXI. Pour éviter la confusion d'idées , & pour n'être pas obligés de dire trop de choses à la fois , nous avons supposé jusques ici que le fardeau qui doit être élevé , ne soit que dix fois plus grand que son contrepoids. La machine que nous venons de trouver seroit très-bonne , si cette supposition étoit juste , mais il s'en faut bien qu'elle ne le soit , puisque nous voulons qu'au moyen d'un contrepoids

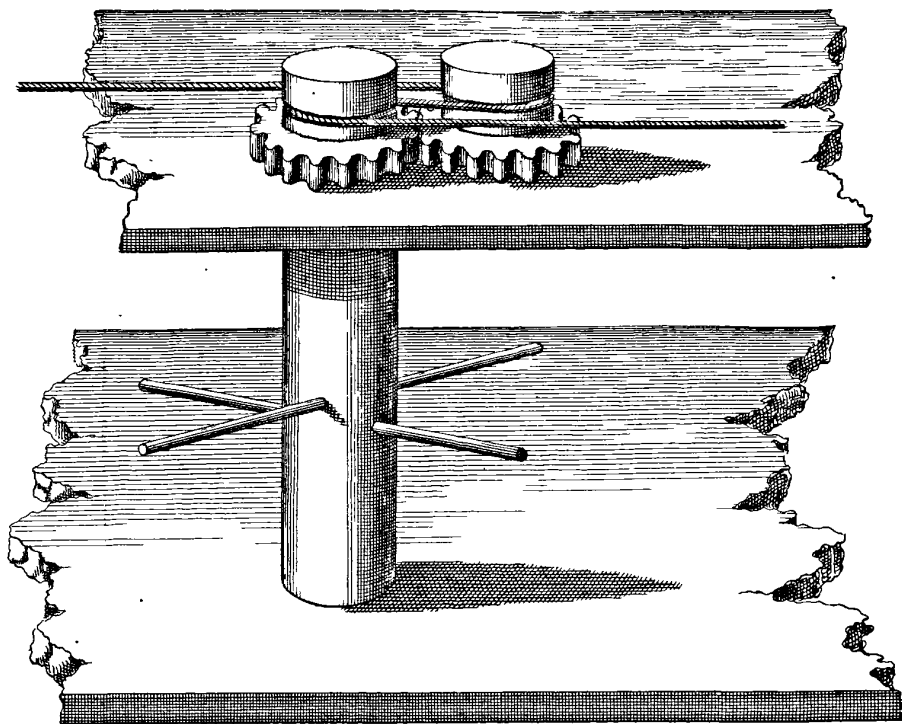
de 80 livres ; on puisse élever un fardeau de 40000 livres , c'est-à-dire , que le fardeau soit cinq cens fois aussi grand que son contrepoids.

§. XXII. On voit bien à la vérité , qu'on pourroit obtenir cela en multipliant suffisamment le nombre des cylindres , sur lesquels le cable se plieroit & replieroit en serpentant ; & je remarquerai ici en passant , que si au lieu de deux cylindres on en prenoit , par exemple , trois , qu'on *Fig. 5.* les rangeât comme le marque la figure 5. où *A* , *B* , *C* , représentent les trois roues de ces cylindres , il ne faudroit pas que les dents de la première roue s'engrénassent dans celles de la troisième , parce que les directions de leur mouvement étant contraires l'une à l'autre , ces deux roues s'entreprêcheroient mutuellement de tourner ; il faudroit donc laisser une petite distance entre la première roue & la troisième , ou bien faire les dents de la seconde plus longues que celles des deux autres , afin que quoique la première ne touchât pas la troisième , elles ne laissassent pas de s'engrener l'une & l'autre dans la seconde,

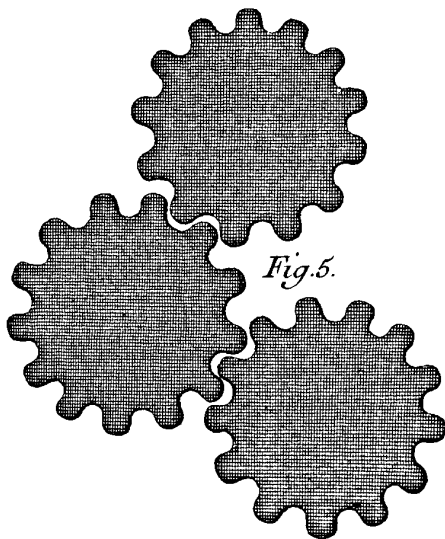
§. XXIII. Cependant comme il faudroit pour le moins cinq ou six de ces cylindres pour produire dans le cable un assez grand frottement , notre machine deviendroit trop composée & trop embarrassante. Pour mettre donc la dernière main à notre invention , nous allons indiquer un moyen d'obtenir le même effet de deux cylindres seuls , qu'on obtiendrait sans cela de tel nombre de cylindres qu'on voudroit.

§. XXIV. Que l'on se rappelle ici ce que nous avons dit dans le dernier article de notre première partie , sçavoir , qu'une corde ne faisant pas tout-à-fait un tour sur un cylindre , quoique les directions suivant lesquelles elle est tirée , ne soient pas tout-à-fait dans le plan de l'arc qu'elle fait d'abord sur le cylindre , on peut pourtant facilement éviter que la corde ne se déplace pendant qu'on tourne le cylindre , en faisant autour du cylindre une coulisse circulaire d'une certaine profondeur & largeur , dans laquelle

*Fig. 4.*



*Fig. 5.*







la corde se dévide. Cela étant, voici ce que j'ai imaginé.

§. XXV. C'est de faire autour de chacun de ces deux cylindres un nombre suffisant de ces coulisses, telles que je les ai décrites dans l'article que je viens de citer; elles feront toutes horizontales, & par conséquent parallèles entre elles & aussi proches qu'il se pourra les unes des autres. Mais afin que l'obliquité du cable qui passe d'un cylindre à l'autre soit partagée & par tout la même, il ne faut pas que les coulisses qui se répondent dans les deux cylindres, soient de niveau, mais que la première coulisse du second cylindre se trouve entre les deux premières de l'autre. Alors faisant passer le cable dans la première coulisse du premier cylindre, puis en le repliant avant qu'il ait fait un tour entier dans la première coulisse de l'autre, de-là dans la seconde coulisse du premier, & ainsi de suite, il est manifeste qu'on pourra augmenter le frottement autant qu'on voudra, puisque chaque coulisse vaudra un cylindre & même davantage, car le cable embrasse un plus grand arc sur une coulisse, que sur un de ces cylindres rangés comme dans la figure 5.

Fig. 5.

§. XXVI. Nous voilà parvenus enfin à une machine qui ne sçauroit manquer d'avoir toutes les qualités requises, & contre laquelle je ne vois pas qu'il y ait plus rien à objecter.

Cette machine (*voy. la fig. 6.*) consiste dans deux cylindres de bois, mobiles chacun dans son écuelle, posés tous deux verticalement sur le premier pont l'un à côté de l'autre, ou bien l'un derrière l'autre, selon que la commodité l'exigera, & garnis chacun par le bas, d'une roue de bois horizontale & dentée, dont les dents de l'une s'engrènent dans celles de l'autre; dans la surface de chacun de ces deux cylindres, sont entaillées plusieurs coulisses circulaires & horizontales, autour desquelles le cable est enveloppé d'abord en serpentant d'un cylindre à l'autre; de ces deux cylindres il n'y en a qu'un qui s'éleve par-dessus le deuxième pont; à ce grand cylindre doivent être appliqués.

Fig. 6.

Prix. 1741.

D

au-dessus du second pont des leviers , par le moyen desquels on pourra le virer ; alors les deux cylindres tourneront à la fois à cause de leurs roues , & en tournant ils dévideront le cable entre les deux ponts.

§. XXVII. Ce Cabestan a tous les avantages du Cabestan ordinaire , sans en avoir les inconvéniens ; il satisfait d'abord non-seulement à la condition principale , mais encore à toutes les autres vues qu'il faut remplir tant par rapport aux différentes circonstances où l'on peut se trouver sur un vaisseau , qu'aux hommes qui en exécutent la manœuvre : avec cela cette machine est simple , solide , expéditive , & d'une pratique entièrement dégagée d'embaras ; elle n'est guères plus composée que le Cabestan ordinaire , & elle n'est aucunement embarrassante , puisque des deux cylindres qui la composent il n'en paroît qu'un au-dessus du deuxième pont , & que la manœuvre en est tout-à-fait la même , si ce n'est qu'elle se fait sans aucune interruption. D'ailleurs il me paroît démontré qu'il est impossible de construire une machine plus simple qui satisfasse aux conditions proposées ; car nous avons vû qu'il faut que le cable fasse d'abord plusieurs tours pour souffrir le frottement nécessaire ; or je ne vois pas qu'on puisse employer pour cet effet moins de deux cylindres , si on ne veut tomber dans les mêmes inconvéniens qu'il s'agit d'éviter.

§. XXVIII. J'ose rapporter encore parmi les avantages de notre Cabestan , qu'il ne diffère que très-peu de celui dont on s'est servi jusques ici , & que j'ai tâché de conserver le plus qu'il m'a été possible. Nous avons , & avec raison , une certaine affection pour tout ce qui nous a servi utilement pendant long-tems , & nous ne nous résolvons qu'avec peine à le quitter , même pour de plus grands avantages qu'on nous promet , parce que ces avantages sont presque toujours fort incertains ; quelque sûre & quelque inmanquable qu'une invention paroisse à l'Inventeur , il se rencontre dans son exécution des obstacles auxquels il n'avoit pas songé.

§. XXIX. Mais, ce qui est l'essentiel, l'invention que nous venons de proposer est confirmée & approuvée par l'expérience. J'ai fait faire un petit modèle de mon Cabestan, que l'on voit assez bien représenté dans la figure 6. qui a été dessinée d'après lui; & les expériences que j'ai faites avec ce modèle, ont eu un succès auquel, malgré toute ma confiance, je m'attendois à peine. Pour être plus sûr de l'effet de la machine, j'avois ordonné expressément au Tourneur de faire les coulisses de mon modèle fort polies; aussi l'étoient-elles autant que du verre, car la corde faisant un demi tour sur une de ces coulisses, il falloit un contre-poids égal, pour le moins, à la moitié du poids pour le tenir en équilibre; le petit cylindre, y compris la roue, étoit long d'un peu plus de huit pouces, & l'autre à proportion; le diamètre des coulisses étoit d'un peu plus de deux pouces, & égaloit à peu près la distance d'un cylindre à l'autre; la corde embrassoit par conséquent sur chaque coulisse les deux tiers de la circonférence; la plus grande largeur des coulisses étoit de trois lignes, & triple de leur profondeur, de même que de l'épaisseur de la corde; enfin il y avoit toujours entre deux coulisses voisines dans chaque cylindre un intervalle de plus de deux lignes. On auroit pû faire les coulisses moins larges, plus profondes & plus ferrées, pour s'assurer davantage de leur effet; mais je voulois mettre les choses au pis. Après avoir donc enveloppé la corde sur sept à huit coulisses, de sorte qu'elle touchoit environ 1800 ou 1900 degrés; je levois avec cette machine sans aucune difficulté ni embarras, par un mouvement & une manœuvre uniforme, & constamment les mêmes, un poids de trente livres moyennant un contre-poids d'une once; ce qui prouve non-seulement le succès infailible de la machine, mais s'accorde encore très-bien avec ce que nous avons dit ci-dessus. (*Partie I. §. 17.*) Je souhaite seulement que Messieurs les Commissaires fassent assez d'attention à ce que je viens de leur proposer pour vouloir en faire eux-mêmes l'épreuve, & j'ose me flatter

Dij

qu'ils n'en seront pas moins satisfaits que je l'ai été ; j'aurois eu l'honneur de leur présenter mon modèle, si j'avois été à portée de le faire.

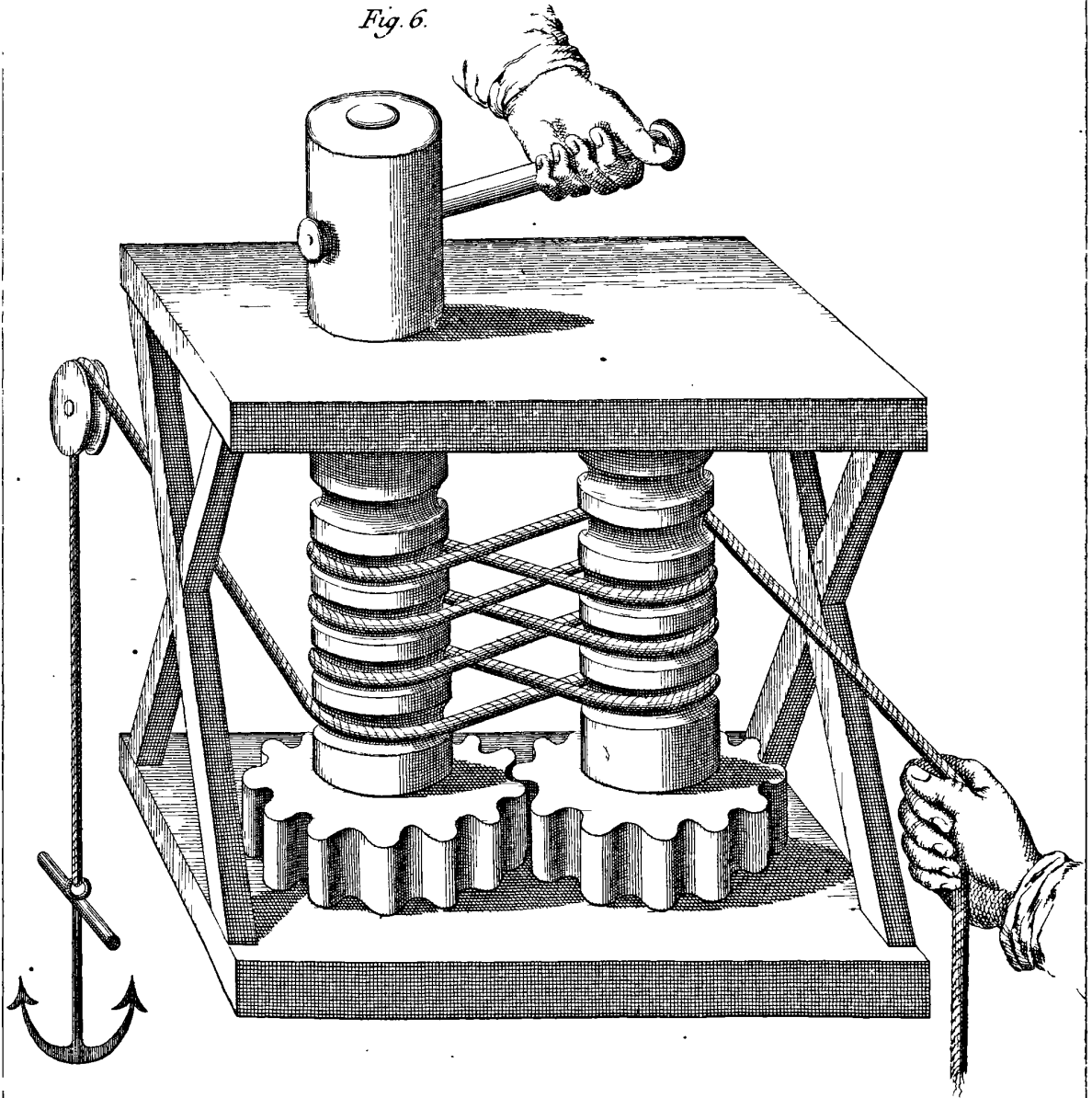
§. XXX. Je n'ai considéré jusques ici que le Cabestan double ; mais j'ai averti à l'avance que ce que j'en dirois pourroit être appliqué aussi au simple. Cependant je ne dois pas celer une chose, sçavoir, que le Cabestan simple étant dressé sur le second pont, on sera obligé de faire une espede d'échaffaudage qui couvre son petit cylindre, & sur lequel les conducteurs des leviers puissent marcher autour du grand cylindre. Cela paroît embarrassant, je l'avoue ; c'est aussi pourquoi je conseillerois en ce cas-là, qu'au lieu de ce Cabestan, on se servît plutôt d'un virevaut composé de deux cylindres horizontaux, car rien n'empêche qu'on ne puisse employer deux cylindres au virevaut aussi bien qu'au Cabestan ; & c'est aussi en guise de virevaut que je me suis servi du petit modèle avec lequel j'ai fait les expériences de l'article précédent.

§. XXXI. Il y auroit encore un autre moyen d'éviter cet embarras de l'échaffaudage, en se servant de deux cylindres de même hauteur, au lieu d'un grand & d'un petit, mais qui seroient placés à une telle distance l'un de l'autre, qu'on pût appliquer à tous deux des leviers, dont la longueur n'empêchât pas que les cylindres ne pussent être tournés ; alors on pourroit se passer en même tems des roues qui sont au bas des cylindres, & les conducteurs des leviers pourroient marcher sur le même pont sur lequel ces cylindres sont posés.

§. XXXII. Je me dispense au reste d'ajouter ici plusieurs autres petits avertissemens qu'il y auroit à donner sur la machine que je viens de proposer, parce qu'ils sont tous d'une nature à ne pouvoir échapper à ceux qui devroient l'exécuter, supposé qu'elle eût le bonheur d'être goûtée,

*F I N,*

Fig. 6.





DISSERTATION  
SUR LA  
MEILLEURE CONSTRUCTION  
DU  
C A B E S T A N.

*Cette Piece est une des quatre entre lesquelles le  
Prix double a été partagé.*

---

*Pressa momordit humum , superas nunc gaudet ad auras  
Anchora iudicio tendere nostra tuo.*

pour satisfaire d'une maniere claire & distincte à cette question, il est à propos de la diviser en deux parties, dont la premiere roulera sur les inconveniens qu'on vient de marquer, & laquelle par conséquent exige une telle solution, où l'on indique des moyens de les éviter entièrement, ou au moins de les diminuer le plus qu'il sera possible. Mais à l'autre partie de la question proposée, on satisfera par la construction d'une machine, au moyen de laquelle on puisse lever l'ancre ou autre fardeau, le plus promptement qu'il se peut, en employant la même force.

§. II. D'abord il paroît que cette question est uniquement du ressort d'un Machiniste, & que ni l'Analyse, ni la Géométrie ne peuvent être d'aucun secours pour la résoudre : & peut-être on ne s'attendra qu'à une solution purement mécanique, & destituée de principes Mathématiques, & qui ne seroit due qu'à un heureux hazard : car c'est effectivement au hazard & à l'expérience que sont dues jusqu'à présent ces sortes de machines, sans que la science y ait contribué presque en rien. Mais si on réfléchit qu'une Compagnie, aussi éclairée que l'Académie Royale, a jugé ce sujet digne d'être proposé publiquement, on le doit regarder comme d'une plus grande conséquence, & présumer que la solution qu'on exige, peut non-seulement influer sur la mécanique vulgaire, mais, de plus, contribuer à étendre considérablement nos connoissances. Les Arts & les Sciences sont si étroitement unis & alliés ensemble, que ceux-là ne s'enrichissent qu'à mesure que celles-ci se perfectionnent.

§. III. C'est-là en effet ce que je pense au sujet de la question proposée, & je me flatte de faire voir évidemment, que pour en donner une solution valable & telle que l'Académie Royale la souhaite, il faut non-seulement appeler la Géométrie & l'Analyse au secours, mais aussi étendre considérablement les bornes de la Mécanique sublime. C'est-à-dire, que je prouverai l'insuffisance des principes de Mécanique jusqu'ici connus pour la résolution  
des



des questions de cette nature, & le besoin où l'on est d'aller plus loin, & d'en découvrir de nouveaux qui, fortifiés de l'Analyse, puissent nous conduire à une solution complète. C'est pourquoi c'est à établir ces nouveaux principes, que je m'attacherai d'abord dans cette Dissertation. Par leur moyen on pourra non-seulement déterminer la Machine dont il s'agit, mais aussi les porter généralement toutes au plus haut point de perfection. C'est pourquoi outre l'espoir de satisfaire pleinement à la question proposée par l'Académie, que me fait naître la découverte de ces principes, je me flatte d'avoir ouvert un vaste champ à une infinité de nouvelles inventions très-utiles au sujet des Machines.

§. IV. Toute recherche où l'on se propose de connoître & d'expliquer quelle Machine que ce soit, doit être divisée en deux parties. Dans la première on s'attache uniquement à connoître l'équilibre des Machines, ou à déterminer la raison entre la puissance & la résistance du poids ou du fardeau qui produit l'état de l'équilibre. Mais dans la seconde on doit envisager le mouvement des Machines mêmes, qui fait avancer le fardeau, & déterminer la vitesse actuelle & le tems dans lequel le fardeau est tiré par un espace donné. La première partie a été si souvent traitée, & est si connue, qu'elle ne laisse plus rien à désirer. La seconde, au contraire, est si peu cultivée jusqu'ici, qu'à peine peut-on établir quelque chose de sûr touchant le mouvement même des Machines: ce qui est cependant l'essentiel dont il s'agit. Cette faute ne doit point être imputée au calcul ou à l'Analyse, mais plutôt au manque des principes de Mécanique, absolument nécessaires pour développer ces mouvemens composés. Ainsi il ne faut pas s'étonner si, ignorés comme ils le sont pour la plûpart, on n'a presque rien découvert jusqu'ici touchant le mouvement actuel des Machines.

§. V. Cependant il est fort aisé de sentir la nécessité de cette théorie du mouvement des Machines, soit pour en

*Prix. 1741.*

E

juger , soit pour les perfectionner. Qu'on veuille faire avancer un certain fardeau avec une force donnée , il y a toujours plusieurs Machines , & même une infinité de la même forte ou espèce , qu'on peut employer pour produire cet effet : mais pour déterminer celle qui le produira le plus vite , il faut nécessairement avoir recours à cette théorie , jusqu'à présent si peu connue. Si , par exemple , il falloit élever un poids de 1000 livres avec une force égale à 100 livres par le moyen d'un Treuil ou Cabestan , il faut que la longueur des barres soit plus de dix fois plus grande que le rayon de l'essieu , de sorte qu'on se pourra servir de toutes les raisons qui surpassent la décuple. Mais qui ne s'aperçoit d'abord que si on prenoit la raison trop grande , il en résulteroit autant d'inconvéniens que si elle étoit trop proche de celle de 10 à 1 ? D'où il suit qu'il doit y avoir une certaine & déterminée raison entre la longueur des barres & l'épaisseur de l'essieu , moyennant laquelle le poids puisse être élevé le plus promptement. Dans l'exemple qu'on vient d'alléguer , cette raison se trouve environ de 20 à 1 au jugement des Experts ; c'est-à-dire , que pour élever un poids de 1000 livres par un poids de 100 livres dans le moindre tems par le moyen d'un Treuil , il faut que le grand rayon auquel est appliquée la force , soit environ vingt fois plus grand que le petit auquel le fardeau est attaché ; en sorte qu'une raison plus grande n'apporterait pas moins de retard dans l'opération , qu'une raison plus petite.

§. VI. Tout cela , & bien d'autres choses encore touchant l'effet des Machines , & dont il est absolument nécessaire de porter un jugement solide , ne peuvent nullement être déduites de la théorie où l'on s'est borné jusqu'à présent , & qui ne va qu'à déterminer la raison requise pour produire l'équilibre entre le poids & la puissance. Ce qui fait d'autant mieux sentir l'utilité & la nécessité d'une autre théorie touchant les Machines , par le secours de laquelle on puisse déterminer leur mouvement , de même que la vitesse avec laquelle elles peuvent mouvoir le poids

par une force donnée. Par le moyen de cette théorie non-seulement il sera aisé de connoître quelle Machine mouvra un poids plus vite ou plus lentement, ( en quoi consiste la connoissance des Machines ; ) mais de plus, en employant la méthode *de maximis & minimis*, on pourra assigner entre toutes les Machines possibles, précisément celle par le moyen de laquelle un corps donné fera mû par une puissance donnée le plus promptement. Or puisque plus une Machine accélère son effet, plus elle doit être censée parfaite, il suit que cette nouvelle théorie sera propre à donner à toutes fortes de Machines la dernière perfection, dont elles sont susceptibles. Si donc on vient à déterminer entre toutes les Machines celle qui fera avancer le plus vite un certain poids par une force donnée, je dis que c'est celle qu'on doit tenir pour la plus parfaite ; & en vain en cherchera-t-on une qui le soit plus.

§. VII. J'espère donc d'avoir mis dans tout son jour ce que j'ai avancé plus haut ; je veux dire, que bien loin que la question proposée par l'Académie Royale des Sciences, ne donne aucune prise à la Géométrie & à l'Analyse, il est impossible de la résoudre convenablement sans recourir au calcul & à une nouvelle théorie des Machines, à quelques petits secours près, qu'on doit de la pratique. Car lorsqu'on demande une Machine qui serve dans un vaisseau à élever une ancre, ou un autre grand fardeau avec le plus de facilité, c'est principalement à ménager le tems, qu'on doit s'attacher, & à faire en sorte qu'une opération en prenne le moins qu'il est possible. Dans cette vue donc on demande une Machine qui soit premièrement exempte des inconvéniens qui résultent de la nécessité où l'on est de choquer plusieurs fois, & d'interrompre l'opération ; & en second lieu, qui produise son effet dans le plus court espace de tems. Pour satisfaire à la première de ces deux conditions, on donnera pour cette partie du Cabestan, autour de laquelle se roule la Tournevire, une structure plus commode & plus avantageuse, & une manière de

E ij

rouler aussi plus commodément ce cordage ; ce que je ferai en dernier lieu de cette piece , après avoir développé l'autre partie de cette question ; parce que c'est ici où il faut le plus consulter la pratique , & surquoi cependant la théorie donne beaucoup de lumieres. Quant à l'autre condition , qui fera ici la premiere , il n'est pas possible d'y satisfaire sans l'Analyse , & sans la nouvelle théorie des Machines , qui en explique & détermine le mouvement.

§. VIII. Mais afin de faire mieux connoître de quels nouveaux principes de Méchanique on a besoin pour déterminer le mouvement des Machines & la vitesse du poids , il est nécessaire de commencer par la premiere théorie , qui ne roule uniquement que sur l'équilibre entre la puissance & le poids. On emploie dans cette théorie les principes de Statique , en conséquence desquels on indique la quantité de force sollicitante qu'il faut pour tenir en équilibre ou en repos , un certain poids qu'on veut mouvoir par une certaine Machine. C'est en quoi consiste la multiplication de la puissance sollicitante , qui fait qu'une petite force appliquée à une Machine , devient capable de soutenir un grand poids ; & c'est ce que cette théorie dès long-tems épuisée , fait suffisamment connoître. Or quoiqu'on n'y fasse attention qu'à l'équilibre , & point du tout au mouvement même , il n'y a pourtant personne qui ne voye d'abord que si on applique à une Machine une plus grande force qu'il ne faut pour l'équilibre , le poids sera mis en mouvement. On peut encore en tirer cette conséquence , que plus on augmentera la force sollicitante , plus le corps sera mû vite. Mais on ne peut rien conclure de cette théorie par rapport à la vitesse & au mouvement même , qu'une puissance imprime dans ces cas à un corps à l'aide d'une Machine quelconque.

§. IX. Pour déterminer donc ce mouvement des Machines , qui se fait lorsqu'on applique plus de force que n'en demande l'équilibre , il faut établir des principes Méchaniques , tels qu'on puisse par leur moyen assigner à chaque

infant , tant l'accélération momentanée , que la vitesse même , si un corps quelconque , & comme on voudra mobile , est sollicité par une ou par plusieurs puissances. Il est vrai que lorsque les corps à qui des puissances impriment du mouvement , sont tels , qu'on peut les regarder comme des points , ( ce qui arrive si on n'a égard dans le calcul qu'au mouvement total , & qu'on néglige le mouvement des parties relatives entr'elles ; ) alors je conviens que les principes de Méchanique assez connus , suffisent pour déterminer l'accélération & le mouvement lui-même. C'est de ces principes qu'on a pû effectivement déterminer le mouvement des corps graves , soit dans leur chute , soit qu'ils ayent été projectés obliquement ; & aussi ceux des corps célestes , de même que ceux d'oscillation. Mais si un corps auquel sont appliquées des puissances , est composé de plusieurs parties dont les mouvemens dépendent l'un de l'autre , comme cela arrive dans presque toutes les Machines , alors ces principes sont d'un foible secours pour développer ce mouvement , & il faut nécessairement recourir à d'autres nouveaux principes propres à cette fin.

§. X. Je vais donc expliquer ces principes , à la faveur desquels on peut déterminer exactement le mouvement des Machines. Je les appuyerai sur des démonstrations évidentes & Géométriques , autant que mon dessein le permettra. Ensuite j'envifagerai les Machines en général , & je ferai le détail de tous les moments relatifs , tant à la structure de la Machine , qu'à la puissance & au fardeau , ausquels il faut nécessairement faire attention , si on veut juger de l'action & du mouvement des Machines. Après avoir mis ce fondement je considérerai le Cabestan même , & en ayant déterminé le mouvement par les principes établis ci-devant , je chercherai par la méthode de *maximis & minimis* , entre toutes les Machines de cette espèce , celle par le moyen de laquelle on pourra élever l'ancre , ou mouvoir d'autres fardeaux en moins de tems qu'il est possible. Enfin je détaillerai la structure de la Machine déjà trouvée ,

E iij

qui la garantit le plus qu'il est possible des inconvéniens que le roulement du cordage occasionne, & qui permette de pouvoir achever l'opération sans interruption. Je me flatte qu'en exécutant le plan que je viens de tracer, j'aurai satisfait à la question suivant les vûes de la célèbre Académie qui l'a proposée, & de plus découvert une méthode universelle, sûre & unique pour pouvoir juger sagement de toutes les Machines en général, & pour les porter au plus haut degré de perfection.

## II°. PRINCIPES DE MECHANIQUE.

§. XI. Avant que d'entrer dans l'explication de ces principes de Méchanique propres à répandre de la lumière sur le sujet dont il s'agit, il est à propos de toucher légèrement les premiers principes du mouvement, quoiqu'ils soient assez connus, & servent de base à la théorie du mouvement telle qu'elle a été traitée jusqu'ici, afin de faire mieux sentir la connexion des nouveaux principes, avec ceux qu'on connoît déjà, mais sur-tout leur nature & leur usage. Les principes connus du mouvement, regardent particulièrement les corps infiniment petits, qui ne sont capables que d'un mouvement progressif. Néanmoins ils sont d'une utilité importante pour déterminer le mouvement total des corps d'une grandeur finie, en négligeant le mouvement relatif des parties entre elles. Ces principes, dis-je, servent à déterminer le mouvement que des forces quelconques impriment aux corps qu'elles sollicitent, lorsque toutes les parties des corps reçoivent un même mouvement, ou que, supposé qu'il y ait un mouvement de rotation, on peut le négliger. C'est ainsi que Newton & d'autres, ont fort bien déterminé par le moyen de ces principes, le mouvement des corps pesants, qui tombent librement, ou qui sont obliquement projetés, quoique ces corps soient d'une grandeur finie; & outre cela on a résolu quantité d'autres questions sur le mouvement des corps d'u-

ne grandeur finie , tant dans le vuide que dans des milieux résistans , auxquels ces principes étoient suffisans.

§. XII. Il ne fera pas inutile , je pense , de réduire à des notions distinctes les termes de masses des corps , de puissances & de vitesse , afin de mettre plus clairement devant les yeux la force & l'étendue des principes du mouvement , tant de ceux qui sont connus , que des nouveaux que je vais établir. La *Masse* donc est la quantité de matiere dont un corps est composé , & qu'on doit prendre en considération dans la génération ou altération du mouvement , à cause de la force d'inertie propre à toute matiere. Car plus il y a de matiere dans un corps , moins la puissance appliquée à ce corps y produit d'effet. Or parce que les poids de tous les corps situés autour de notre terre sont proportionnels à la quantité de matiere dont ils sont composés , on pourra employer le poids que chaque corps a sur la surface de la terre , ou qu'il y auroit s'il y étoit placé , pour exprimer la masse de ce corps. Ainsi si par la lettre *M* je désigne la masse d'un corps quelconque , cette lettre *M* marquera en même tems le poids que ce corps auroit , s'il étoit sur la surface de la terre.

§. XIII. Par *Puissance* on entend une force quelconque capable de mouvoir un corps , ou de changer son mouvement. Une telle puissance est la gravité , en vertu de laquelle tous les corps terrestres tendent en bas ; & dans tous ces corps la force de la gravité est égale à leur poids. De là résulte une maniere assez commode d'exprimer toutes les puissances par des poids , lorsqu'on prend à la place d'une puissance quelconque , un poids qui tend en bas avec une force égale à celle avec laquelle cette puissance sollicite le corps auquel elle est appliquée dans sa direction. Ainsi si une puissance *P* sollicite un corps , la lettre *P* désignera le poids qui tend en bas avec autant de force , que la puissance pousse le corps dans sa direction. On peut donc en se servant de cette maniere de désigner , regarder les masses des corps & les puissances sollicitantes , comme des quantités homo-

genes entr'elles, puisque les unes & les autres s'expriment par des poids : ce qui procure bien des avantages dans la théorie du mouvement. N'auroit-on pas, par exemple, une idée bien claire de la masse de la Lune, si on sçavoit combien elle péseroit, placée sur la terre ? Et la force avec laquelle elle est attirée vers la terre, ne seroit-elle pas distinctement connue, si on sçavoit assigner un poids sur la terre dont l'effort pour descendre fût égal à celui avec lequel la Lune est sollicitée vers la terre ?

§. XIV. Quant à la vitesse, on peut se servir de plusieurs moyens pour la mesurer ; mais celui-ci qui se prend de la chute des Graves dans la Verticale, paroît être le plus commode pour notre dessein ; parce que nous avons une idée assez claire tant d'une hauteur déterminée, que de la vitesse qu'un corps tombant de cette hauteur acquiert. On sçait que les vitesses tiennent la raison soudoublée des hauteurs, & que la vitesse qu'un corps a acquise à la fin de chaque descente, est égale à celle qu'il faudroit à un corps qui se mouveroit uniformément pour parcourir un espace double dans le même tems que l'autre a employé dans sa chute. C'est pourquoi pour mesurer une vitesse quelconque, je me servirai de la hauteur d'où un corps tombant acquiert la même vitesse ; & j'appellerai cette hauteur dans la suite *la Hauteur due à la vitesse*. Ainsi si je dis que la hauteur due à la vitesse d'un certain corps, est  $v$ , j'entends que ce corps se meut avec autant de vitesse, qu'un autre en acquiert lorsqu'il tombe de la hauteur  $v$  sur la surface de la terre. Or il est clair que ces hauteurs n'expriment pas tant les vitesses mêmes que leurs quarrés, puisque les vitesses acquises par la chute sont en raison soudoublée des hauteurs. Ainsi dans l'exemple allégué, ce n'est pas la hauteur  $v$  qu'il faut employer pour désigner la vitesse même ; mais plutôt  $\sqrt{v}$ .

§. XV. Après avoir réduit à des expressions déterminées les masses, les puissances & les vitesses, on sera mieux en état d'expliquer la nature & l'usage des principes de Méchanique. Je suppose qu'un corps dont la masse est  $M$  se meuve



meuve avec autant de vitesse qu'il auroit s'il étoit tombé de la hauteur  $v$ , ou bien que la hauteur  $v$  soit la hauteur due à la vitesse. Que ce corps soit maintenant sollicité par une puissance  $P$ , dont la direction soit la même que celle du mouvement : ce corps donc sera accéléré (sa direction demeurant la même) de façon que pendant qu'il parcourt l'élément de l'espace  $dx$ , il devient  $dv = \frac{P dx}{M}$ . C'est-à-dire, lorsque le corps a parcouru le petit espace  $dx$ , sa vitesse s'augmentera, & ce ne sera plus  $v$ , mais  $v + dv$  ou  $v + \frac{P dx}{M}$ , qui exprimera la hauteur due. Dans cette expression il est à remarquer que la fraction  $\frac{P}{M}$  ne désigne qu'un nombre absolu à cause de  $P$  &  $M$  exprimés par des poids, & partant  $v + \frac{P dx}{M}$  ne dénote qu'une longueur simple. Voilà le premier principe, d'où l'on peut connoître l'action des puissances dans la génération ou l'altération du mouvement des corps.

§. XVI. Si la direction de la puissance est directement opposée à la direction dans laquelle le corps se meut, alors la direction ne changera pas non plus qu'auparavant, mais la vitesse sera diminuée dans la même proportion, en sorte que l'élément de l'espace  $dx$  étant parcouru, il sera  $dv = -\frac{P dx}{M}$ , & la hauteur due alors à la vitesse  $= v - \frac{P dx}{M}$ . Mais si la direction de la puissance est oblique par rapport à la direction du mouvement du corps, il faut alors décomposer la puissance en deux latérales, dont la direction de l'une tombe sur celle du corps, & la direction de l'autre soit perpendiculaire à celle-ci. Cela étant fait, la première puissance latérale agira comme si elle étoit seule, je veux dire qu'elle augmentera ou diminuera la vitesse suivant le principe précédent, sans altérer la direction. Mais l'autre, dont la direction est perpendiculaire à celle du mouvement du corps, n'altérera en rien la vitesse; mais toute son action n'ira qu'à changer la direction du corps. Ainsi une telle puissance normale  $P$  fera perdre à un corps son mouvement

*Prix.* 1741.

E.

rectiligne ; qu'il tâche de conferver en vertu de la premiere loi du mouvement, & le forcera à décrire un petit arc de cercle, dont le rayon de courbure fera  $= \frac{2Mv}{P}$ . C'est-là le fecond principe de Méchanique déjà connu, d'où l'on a dérivé les mouvemens curvilignes des corps follicités par des puiffances quelconques.

§ XVII. Or ces principes ne font d'aucun ufage dans la recherche du mouvement, à moins que les corps ne foient effectivement infiniment petits, comme des points, ou qu'on ne puiffe les regarder comme tels fans aucune erreur : ce qu'on peut faire lorsque la direction de la puiffance follicitante paffe par le centre de gravité du corps. Dans ce cas en effet, il eft permis d'envisager le corps comme tout ramaffé dans fon centre de gravité, & alors on pourra déterminer le mouvement par les principes dont on vient de parler. Mais lorsque la direction de la puiffance ne paffe pas par le centre de gravité du corps, on ne pourra pas affigner tout l'effet de la puiffance par le moyen de ces principes, & cela d'autant moins que le corps qui doit être mît ne fera pas libre, ou qu'il fera retenu par quelque obftacle felon fa ftructure; comme cela arrive dans toutes les Machines, & furtout dans celles de la nature du Cabeftan, lesquelles ne font fufceptibles que d'un mouvement circulaire autour d'un ou de plusieurs axes fixes, par le moyen duquel on fait avancer le fardeau. Par-là on voit manifeftement que pour connoître & déterminer par le calcul ces mouvemens que des puiffances quelconques impriment à des corps de cette nature, les principes qu'on vient de donner ne font d'aucune reffource : mais qu'il en faut d'autres, fi l'on veut connoître au juftte ces mouvemens compofés & variés.

§ XVIII. Je commencerai donc par les corps inflexibles, dont les parties confervent entr'elles une fituation immuable ; je les fuppoferai premièrement libres & nulle part arrêtés, afin qu'ils puiffent fe mouvoir librement en

tous sens & en toute maniere, suivant que les puissances l'exigent. Un tel corps abandonné à lui-même, qu'aucune puissance ne sollicite, ou demeurera perpétuellement en repos, ou s'il est en mouvement, continuera à se mouvoir, en sorte que son centre de gravité se mouvra uniformément en ligne droite. Cependant, soit qu'il reste en repos, ou qu'il se meuve comme on vient de dire, il peut avoir un mouvement autour d'un axe, qui passe par son centre de gravité. Si donc un corps vient à prendre un tel mouvement de rotation, il le conservera toujours uniforme, tout comme l'autre mouvement progressif. Tout corps de cette nature par conséquent est susceptible de deux mouvemens indépendans l'un de l'autre; dont l'un est progressif, qui fait que le centre de gravité d'un corps se meut uniformément en ligne droite; l'autre est un mouvement de rotation, par lequel un corps tourne uniformément autour d'un axe qui passe par son centre de gravité. Je pourrois établir sur des démonstrations Géométriques ces principes touchant le mouvement des corps roides, libres, & sur qui n'agit aucune puissance; mais comme ils ne servent pas principalement à mon dessein, je n'en ajouterai pas la démonstration, d'autant plus que les Phénomènes & les principes reçûs ne laissent pas douter de leur vérité.

§. XIX. Qu'il survienne maintenant des puissances qui sollicitent un tel corps, soit qu'il soit en repos ou en mouvement, les puissances produiront pareillement deux effets dans ce corps, tant par rapport au mouvement progressif, en tant qu'elles le feront naître ou changer, que par rapport au mouvement de rotation autour d'un axe qui passe par le centre de gravité, entant qu'elles le produisent ou altèrent. Ces deux effets sont outre cela tels, qu'ils n'ont aucune liaison entr'eux, & que l'un n'influe point sur l'autre; ce qui procure l'avantage de pouvoir déterminer chacun d'eux séparément, sans faire attention à l'autre. Je veux dire, que la formation & le changement du mouvement progressif, où on ne considère que le mouvement du cen-

tre de gravité se fait toujours de la même manière, soit que le corps tourne sur lui-même ou non ; ainsi que pour déterminer le mouvement progressif, on n'a pas besoin d'avoir égard au mouvement de rotation. Il en est de même de celui-ci. Qu'il y ait un mouvement progressif ou non, le mouvement de rotation se forme & se modifie tout de même. Ainsi lorsqu'il en est question, il est permis de faire entièrement abstraction du mouvement progressif, & d'envisager hardiment le centre de gravité, comme s'il étoit en repos. Il me seroit pareillement aisé de démontrer Géométriquement tout ce que je viens d'avancer, si cela me conduisoit directement à mon but, & si je ne craignois d'être trop long.

§. XX. Quant à ce qui concerne donc l'effet qu'une puissance quelconque produit dans un corps par rapport à son mouvement progressif, on pourra toujours le déterminer avec justesse par le moyen d'un seul principe, qui est celui-ci : Que pour déterminer le mouvement progressif d'un corps sollicité par des puissances quelconques, il faut concevoir que tout le corps est concentré dans son centre de gravité, & que toutes les puissances sont appliquées à ce point dans les mêmes directions, c'est-à-dire, dans des directions parallèles à celles qu'elles ont en effet. Cela fait, toute la question se réduit au cas dans lequel on recherche le mouvement d'un point sollicité par des puissances, à quoi les principes connus dont on a fait mention ci-dessus, suffisent. De-là on voit clairement ce que j'ai avancé plus haut, sçavoir, que ces principes ne se bornent pas aux corps infiniment petits, mais qu'ils servent aussi à faire connoître le mouvement progressif de tous les corps. Mais il n'en est pas de même du mouvement de rotation ; car il demande d'autres principes que je vais expliquer.

§. XXI. C'est d'abord à l'axe autour duquel ce mouvement se fait, qu'il faut faire attention, & ensuite à la vitesse avec laquelle il se fait, que l'on connoît par la vitesse avec laquelle une particule à une distance donnée de l'axe, se meut. Or dans les corps libres, tels que ceux que j'ai

maintenant en vue , le mouvement de rotation ne se peut faire qu'autour d'un axe qui passe par le centre de gravité du corps. Car pour que ce mouvement autour d'un tel axe déterminé & en repos puisse durer , il faut que toutes les forces centrifuges autour de cet axe se tiennent mutuellement en équilibre. D'où il suit nécessairement que cet axe passe par le centre de gravité du corps. Mais au contraire , toute droite qui passe par ce centre , ne peut pas faire la fonction d'un axe de rotation ; parce que toutes ces droites ne produisent pas toujours l'équilibre entre les forces centrifuges. C'est pourquoi lorsqu'un corps commence à tourner autour d'un tel axe qui n'a pas cette propriété , alors le mouvement de rotation se dérangera d'abord , bien qu'il ne survienne aucune force étrangère ; & l'axe se changera en passant pourtant toujours par le centre de gravité , jusqu'à ce qu'il soit parvenu dans une telle situation , où les forces centrifuges se tiennent parfaitement en équilibre.

§. XXXII. C'est-là aussi la raison pour laquelle il est bien souvent fort difficile de déterminer ce mouvement de rotation dans des corps libres , sur qui des forces quelconques font impression ; lorsque l'axe autour duquel elles commencent à le faire tourner , n'a pas la propriété mentionnée. Mais cette difficulté ne m'arrêtera pas , puisqu'il n'y a dans les Machines , qui font présentement mon objet , aucun de ces mouvemens de rotation libres , dont l'axe se forme de lui-même : car bien loin de là les axes autour desquels ces mouvemens se font , y sont fixes , & par la structure immobiles. Or soit que l'axe soit libre , soit qu'il soit déterminé & fixé , il faut également les mêmes principes pour connoître comment les puissances produisent ou changent ce mouvement de rotation. Le dernier de ces cas , qui a lieu dans les Machines , est plus aisé à manier que le premier ; parce que dans celui-ci , avant que d'être en état de développer le mouvement de rotation , il faut déterminer l'axe par la direction des puissances sollicitantes , & par la nature du corps même , au lieu que dans l'autre cas les axes

font déjà donnés & connus par la structure des Machines.

§. XXIII. C'est pourquoi j'envisagerai l'axe de rotation comme fixe ; car quoique dans les corps libres il n'y en ait point de tel , cependant quand on l'aura une fois déterminé , le mouvement se fera dans ces corps , tout comme autour d'un axe fixe. Il faut donc donner des principes , par le moyen desquels on puisse expliquer & déterminer exactement , comment se produit le mouvement de rotation autour d'un axe fixe & connu , & comment les forces sollicitantes peuvent le changer. Je supposerai donc qu'un axe ferme & immobile traverse le corps , que je considère de façon pourtant qu'il puisse être librement mû autour de cet axe. Ensuite je rechercherai l'effet de chaque puissance appliquée au corps par rapport à la formation & à l'altération du mouvement autour de l'axe ; car c'est par là que je me frayerai le chemin à la connoissance du mouvement des Machines , de quelque espèce & structure que ce puisse être , & en conséquence de celui par lequel une puissance donnée fait avancer un poids par le moyen d'une certaine Machine. Enfin , après avoir établi & démontré ces principes , je me verrai en état d'entreprendre la résolution du sujet proposé.

Fig. 1.

§. XXIV. Soit donc premièrement le petit corps *A* mobile autour du pôle *O* , qu'il se meuve effectivement dans la circonférence du cercle *TA V* , avec une vitesse due à la hauteur *v*. Puisque donc la vitesse même est comme  $\sqrt{v}$  , la vitesse angulaire , ou l'angle décrit dans un tems donné , sera comme  $\frac{\sqrt{v}}{AO}$ . A présent que ce petit corps , pendant qu'il parcourt le petit arc *Aa* , soit sollicité par la puissance  $AP = P$  , dont la direction soit dans le plan *AO V* , & perpendiculaire au rayon *AO* ; car si la direction de la puissance n'est pas telle , il faudra la résoudre en ses latérales , dont il n'y aura que celle qui est perpendiculaire à *AO* & dans le plan *AO V* , qui affecte le mouvement de rotation. L'increment donc de la vitesse du corps *A* , tandis

qu'il parcourt l'élément  $Aa$ , se déterminera par cette équation,  $dv = \frac{P.Aa}{A}$ ;  $A$  marquant la masse du corps  $A$ . Par conséquent la vitesse angulaire, qui étoit auparavant comme  $\frac{v}{AO}$ , fera maintenant comme  $v \frac{\left(v + \frac{P.Aa}{A}\right)}{AO} = \frac{v}{AO} + \frac{P.Aa}{2A.AO.v}$ ; donc l'accroissement de la vitesse angulaire fera  $\frac{P.Aa}{2A.AO.v}$ . Or  $\frac{Aa}{v}$  étant comme le tems, dans lequel cet accroissement se produit, cet accroissement fera comme  $\frac{P dt}{A.AO}$ ;  $dt$  désignant cet élément du tems. Mais parce que la force actuelle avec laquelle le mouvement de rotation est altéré, doit être estimée par l'increment de la vitesse angulaire dans un tems donné; cette force de rotation dans notre cas fera  $= \frac{P}{A.AO}$ . D'où il est clair que si on multiplie la force de rotation exprimée de cette façon par  $Aa.AO$ , on obtiendra l'increment de la hauteur due à la vitesse du corps  $A$ , pendant qu'il parcourt le petit arc  $Aa$ ; & par là on comprendra suffisamment ce terme de *force de rotation* dont je me servirai dans la suite.

Fig. 2.

§. XXV. Ayant donné cette idée de la force de rotation, je vais chercher de quelle grandeur doit être un autre corps  $M$  placé à une distance donnée  $MO$  du pôle  $O$ , & par quelle puissance  $Mm$  il doit être sollicité afin qu'il en résulte, quant au mouvement de rotation, la même chose que dans le premier corps  $A$  sollicité par la puissance  $Aa$  à la distance  $AO$  du pôle. Si cela est une fois déterminé, il sera facile d'assigner tant la force que le mouvement de rotation pour plusieurs de ces petits corps unis, ou ce qui revient au même, pour un corps roide quelconque, mobile autour d'un axe fixe & sollicité par des puissances quelconques; ce que je ferai voir bien-tôt. Or il est manifeste premièrement que dans le cas proposé où on doit substituer la puissance  $Mm$  à la place de celle  $Aa$ , il faut nécessaire-

ment que les moments de l'une & de l'autre soient égaux entr'eux, ce qui donne  $Mm \cdot MO = Aa \cdot AO$ . Mais outre cela la force de rotation doit aussi être la même de part & d'autre. C'est pourquoi appellant  $A$  &  $M$  les masses des corpuscules  $A$  &  $M$ , on aura  $\frac{Aa}{A \cdot AO} = \frac{Mm}{M \cdot MO}$ . Or comme on a par la première condition  $Mm = \frac{Aa \cdot AO}{MO}$ , si on substitue cette valeur à la place de  $Mm$  dans l'autre équation, on aura  $\frac{Aa}{A \cdot AO} = \frac{Aa \cdot AO}{M \cdot MO^2}$ ; & partant  $M = \frac{A \cdot AO^2}{MO^2}$ . Pour trouver donc le mouvement de rotation d'une particule quelconque  $A$  éloignée de l'axe de rotation  $O$  de l'intervalle  $AO$ , & sollicitée par la puissance  $Aa$ , on peut substituer hardiment dans une distance donnée  $OM$  du même axe  $O$ , le petit corps  $M = \frac{A \cdot AO^2}{MO^2}$  qui soit sollicité par la puissance  $Mm = \frac{Aa \cdot AO}{MO}$ .

Fig. 3.

§. XXVI. Soit présentement un système de plusieurs petits corps  $A, B, C, D, E$  fortement alliés entr'eux, de même qu'à l'axe de rotation  $O$ , autour duquel ce système soit mobile. Qu'à chacun de ces petits corps soient respectivement appliquées les puissances  $Aa, Bb, Cc, Dd, Ee$ , toutes d'un même sens. S'il y en avoit qui agissent en sens contraire, cela n'apporteroit aucune difficulté dans le cas même, mais seulement dans les signes  $+$  &  $-$ . Pour déterminer donc le mouvement de rotation de ce système de corps, je prends une distance fixe comme celle de  $OM$  de l'axe  $O$ ; & je place au point  $M$  à la place du corps  $A$ , le corps  $= \frac{A \cdot AO^2}{MO^2}$  sollicité par la puissance  $\frac{Aa \cdot AO}{MO}$ . Pareillement je substitue dans le même point  $M$  au lieu du corps  $B$ , un corps  $= \frac{B \cdot BO^2}{MO^2}$  sollicité par la puissance  $\frac{Bb \cdot BO}{MO}$ , & en continuant de pareilles substitutions pour chaque corps du système, j'aurai à substituer au lieu de tous au point  $M$  la masse  $M = \frac{A \cdot AO^2 + B \cdot BO^2 + C \cdot CO^2 + D \cdot DO^2 + E \cdot EO^2}{MO^2}$  qui solli-  
cit



licitée par la seule puissance  $Mm = \frac{Aa. AO + Bb. BO + Cc. CO}{MO}$

$+ \frac{Dd. DO + Ee. EO}{MO}$  subira les mêmes Phénomènes du mou-

vement de rotation, que le système de tous les corpuscules lui-même. C'est pourquoi puisque la force de rotation dans

le cas qu'on vient de trouver,  $= \frac{Mm}{MMO}$ , la force de ro-

tation du système proposé produite par toutes les puissances

sollicitantes, sera  $= \frac{Aa. AO + Bb. BO + Cc. CO + Dd. DO + Ee. EO}{A. AO^2 + B. BO^2 + C. CO^2 + D. DO^2 + E. EO^2}$ ,

laquelle étant multipliée par  $M\mu. MO$  exprimera l'incré-

ment de la hauteur due à la vitesse, que le point  $M$  acquiert lorsqu'il parcourt autour du pôle  $O$  le petit arc  $Mm$ .

§. XXVII. Maintenant si nous examinons l'expression qui indique la force de rotation, nous remarquerons que c'est une fraction dont le numérateur est la somme de tous les moments que toutes les puissances ont, étant rapportées à l'axe de rotation, & dont le dénominateur est la somme de tous les produits qui proviennent de la multiplication de chaque particule par le carré de sa distance à l'axe de rotation. J'appellerai cette dernière somme, qui forme le dénominateur de la fraction trouvée pour la force de rotation, le Moment de la Matière du corps par rapport à l'axe autour duquel se fait la rotation. Ainsi pour trouver le moment de la matière d'un corps quelconque roide, & mobile autour d'un certain axe, on n'a qu'à multiplier chaque particule du corps par le carré de sa distance de cet axe, & à rassembler en une somme tous ces produits. C'est pourquoi on aura la force de rotation de chaque corps mobile autour d'un axe fixe, & sollicité par des puissances quelconques, si on divise le moment des puissances sollicitantes par le moment de la matière du corps, tous deux par rapport à l'axe de rotation.

§. XXVIII. On peut donc déterminer tant l'accélération que la vitesse même, qu'un corps mobile autour d'un axe fixe, acquiert, par ces deux momens des puissances sol-

licitantes & de la matiere par rapport à l'axe de rotation. Au dernier de ces momens je donne le nom de Moment de la matiere , parce que dans celui-là entre la considération de la matiere & de l'inertie. Le premier de ces momens donc , qui est celui des puissances sollicitantes , divisé par le moment de la matiere , donnera la force de rotation , de la même maniere que dans les mouvemens progressifs la puissance même divisée par la matiere même du corps , exprime la force accélératrice. Cette grande analogie mérite bien d'être remarquée. Enfin l'usage de ces principes que je viens d'établir , autant que mon dessein le requiert , sur des démonstrations solides , est d'une très-grande étendue dans la Méchanique pour la solution de quantité de problèmes , qu'on n'oseroit pas même entreprendre sans cela ; ce qu'on reconnoîtra bien-tôt mieux quand je parviendrai aux Machines. Mais outre cela on peut déduire d'une maniere très-aisée de ces principes , tout ce qu'on fait touchant les centres d'oscillation & de percussion , & bien d'autres choses encore : & quoique ce soient des choses assez connues , cette maniere de les déduire , paroît cependant plus naturelle ; puisqu'elle est immédiatement fondée sur des premiers principes de Méchanique , non-seulement très-certains , mais aussi nécessairement vrais.

### III°. *De l'action des Machines en général.*

§. XXIX. Dans toutes sortes de Machines , outre la raison de la multiplication de la force sollicitante , qui est presque la seule chose qu'on a coutume de considérer , il faut sur-tout faire attention à la structure de la Machine , & ensuite à la nature des puissances & du fardeau , si on veut porter un jugement solide du mouvement & de l'effet des Machines. Dans celles qui demandent maintenant nos réflexions , il faut examiner non-seulement la connéxité des parties & leur mobilité respectives , mais de plus la masse de chaque partie & leur figure , tant extérieure qu'intérieure.

Or soit que les parties de la Machine ayent un mouvement progressif tandis que la Machine se meut, ou un mouvement de rotation autour d'un certain axe, la masse de chaque partie entrera dans le calcul. Mais parce que dans ce dernier cas il faut déterminer le moment de la matiere ; il faut, outre la quantité de la masse même, connoître la structure intérieure, & sur-tout la figure du corps dont il s'agit. Mais comme le sujet nous borne à ces fortes de Machines, qui ne sont composées que de cylindres mobiles sur des axes qui passent par leur milieu, comme sont le Treuil, le Vindas, & sur-tout le Cabestan, il suffira de sçavoir que le moment de matiere du cylindre mobile autour de son axe, est égal à la masse ou au poids du cylindre multiplié par la moitié du quarré du rayon de la base. Ainsi si le poids du cylindre est  $= A$  & le demi diamètre de sa baze  $= a$ , le moment de la matiere sera  $= \frac{A a^2}{2}$ , pourvû que le cylindre soit d'une matiere homogene.

§. XXX. En second lieu, dans l'examen des Machines il faut tenir compte de la force qui leur imprime du mouvement, & par-là aux fardeaux. Ordinairement on ne considère que la quantité & la direction de cette force ; parce que ces deux choses suffisent pour juger de l'équilibre. Mais quand il s'agit du mouvement même, & de déterminer la vitesse avec laquelle le fardeau est mû, alors outre la quantité & la direction de la force sollicitante, il faut considérer sa nature intrinseque ; c'est-à-dire, la matiere unie à la force, & qui doit être mise en mouvement en même tems que la force meut la Machine. Or il est manifeste par la génération du mouvement, que si à la force sollicitante est jointe une masse, qui doit être mue conjointement avec la Machine & le fardeau, plus cette masse est grande, plus le mouvement sera retardé. D'où il suit que dans toutes les forces qu'on applique pour faire mouvoir une machine outre leur quantité & leur direction, il faut considérer la matiere dans laquelle la force subsiste.

G ij

En recherchant donc le mouvement des Machines, je dois au sujet des puissances, prendre en considération trois différentes choses ; dont la première est la direction suivant laquelle la puissance agit sur la Machine ; la seconde est sa quantité, qu'on estimera par un poids qui fait autant d'effort pour descendre : & la troisième enfin sera la matière étroitement jointe à la force, & que j'appellerai l'Inertie de la force sollicitante. Elle doit donc être également exprimée par un poids, de la même manière que j'y ai réduit ci-dessus la quantité des masses.

§. XXXI. Cela fait voir qu'il y a une grande différence à mettre entre les forces qui animent des Machines, laquelle peut être négligée si on ne fait d'attention qu'à l'équilibre ; cette différence regardant proprement l'inertie de la force sollicitante. Ainsi si une Machine se met en mouvement par un poids qui descend perpendiculairement, le poids exprimera tant la quantité de la force même, que son inertie. Mais si le poids descend sur un plan incliné, la quantité de la force sera moindre que le poids même, & cela en raison du sinus de l'angle d'inclinaison du plan au sinus total ; mais l'inertie restera comme auparavant exprimée par le poids entier, en sorte qu'en ce cas la force sollicitante sera moindre que son inertie. De-là vient que ces fortes de forces où il y a beaucoup d'inertie, impriment aux Machines un mouvement plus lent. Une autre espèce de forces sont les ressorts, qui sont capables d'imprimer à une Machine un mouvement plus vite, parce qu'il n'y a d'ordinaire qu'une petite masse, c'est-à-dire, une petite quantité d'inertie unie à une assez grande force élastique. Il en est à peu près de même des forces des hommes & des animaux, qu'on emploie pour faire jouer quelque Machine. Ces forces avantageusement appliquées font un effet considérable, parce qu'il n'y a que peu de matière à proportion de la quantité de la force, qui se meuve en même tems. Or rien ne paroît plus commode en fait de forces, que celles que le vent ou l'eau fournissent, principalement

si leur impulsion se fait directement contre des aîles, comme dans un moulin à-vent, sur qui le vent exerce continuellement la même force, soit que la Machine soit en repos ou non. Dans ce cas il n'y a outre cela absolument aucune inertie jointe à ces forces, parce que le mouvement que produit l'action de la force dans l'eau ou dans l'air, ne ralentit point du tout le mouvement de la Machine. C'est donc du vent ou d'une eau courante, qu'il faut emprunter des forces pour rendre le mouvement des Machines le plus vîte. Après ces forces viennent celles que l'on tire des ressorts très-bandés, & les puissances des hommes & des bêtes appliquées avantageusement, parce qu'à ces forces se joint peu d'inertie, à proportion de leur quantité. Enfin on doit s'attendre à l'effet le plus lent, si les forces qu'on emploie sont prises de la descente des poids, sur tout si elle se fait obliquement; car c'est dans ce cas qu'à une petite force sollicitante se joint une grande inertie. Or il est à remarquer qu'en faisant cette comparaison des forces de différentes espèces, je les suppose toutes égales quant à leur quantité & leur direction.

§. XXXII. Je viens maintenant au fardeau qui doit être mû à l'aide de la Machine. Il y faut pareillement considérer trois choses, 1°. son inertie, ou la masse qui doit être mue; 2°. sa résistance, ou la force qui est contraire à la force sollicitante; & 3°. la direction de cette force de résistance, s'il y en a. C'est de-là que provient une différence très-considérable dans les fardeaux. Les uns ne font aucune résistance, ou n'ont point de force contraire à celle qui sollicite: ce qui arrive lorsqu'il n'y a qu'à mettre la seule masse du fardeau en mouvement; comme s'il faut faire avancer un poids d'un mouvement horizontal; car sa pesanteur en ce cas ne s'oppose à l'action de la Machine, qu'entant qu'elle augmente le frottement; & il n'y a que l'inertie de la matière, & le frottement à surmonter. La même chose a lieu dans les horloges & dans plusieurs sortes de moulins, où il n'y a aucune force contraire à la

G iij

puissance sollicitante ; mais toute la force sollicitante s'emploie à produire du mouvement , sans trouver d'autre obstacle que l'inertie de la matiere dont la Machine est composée , & le frottement. Ces sortes de Machines ne sont donc point du ressort de la Statique ordinaire , où l'on ne considère que l'état d'équilibre , & où l'on ne recherche que la raison entre la puissance sollicitante & la force de la résistance d'où se forme l'équilibre. Or dans ces cas il n'y a point du tout de force de résistance ; car il faut bien distinguer la force de la résistance , qui est une force contraire à la puissance sollicitante , d'avec l'inertie. Celle-ci est propre par sa nature à toute matiere ; mais celle-là vient de dehors comme de la gravité , & d'autres forces qui existent dans le monde.

§. XXXIII. Or un corps sollicité au-dehors par une force , en a une de résistance , par laquelle il s'oppose au mouvement de la Machine. Cela arrive sur-tout lorsqu'il faut élever des poids de bas en-haut : car dans ce cas il faut non-seulement vaincre l'inertie du poids , & imprimer à celui-ci du mouvement ; mais aussi , & c'est à quoi il faut principalement faire attention , il faut surmonter la force de la résistance avec laquelle le poids tend en bas. Je veux dire , que la force sollicitante doit être à cette résistance du poids en raison plus grande qu'il ne faut pour l'équilibre ; & c'est-là le cas principal & presque unique qu'on a coutume de traiter dans la Statique , où il ne s'agit que de l'équilibre. Il en va de même à peu près s'il faut bander un ressort par le moyen d'une Machine , & comprimer ou extraire l'air par des pompes pneumatiques ; car dans ces opérations la force de la résistance forme un très-grand obstacle à l'action des Machines ; mais l'inertie de la matiere qui doit être mise en mouvement , est assez petite. Or c'est de l'inertie tant du poids que de la puissance , & de la Machine elle-même , que dépend principalement le mouvement de la Machine & du poids ; car plus la masse que la puissance doit mouvoir est grande , plus le mouvement sera lent ,

comme cela suit de tous les principes que j'ai établis.

§. XXXIV. En dernier lieu, lorsqu'il est question de déterminer le mouvement des Machines, il faut tenir compte du frottement qui diminue considérablement la vitesse. Pour donner la plus grande perfection aux Machines, on doit donc s'attacher sur-tout à faire qu'il y ait le moins de frottement qu'il est possible; on a trouvé à cet effet d'excellens expédiens. Or s'il n'est pas possible d'éviter tout-à-fait le frottement, il faut faire en sorte qu'il soit entièrement, en vertu de la construction de la Machine, dans l'endroit où le mouvement est le plus lent; ce qui d'ordinaire se pratique en diminuant les essieux autour desquels le mouvement se fait, ou en les faisant mouvoir sur d'autres essieux plus petits. Mais s'il n'y a pas moyen d'éviter le frottement, il faut de nécessité le faire entrer dans le calcul. Et bien que cela paroisse d'abord très-difficile, cependant en y faisant mûrement attention, & en l'examinant de près, la difficulté s'applanit, & le calcul n'en devient ni plus long, ni plus embarrassé. En effet, comme le frottement doit être mis au nombre de ces résistances qui sont constantes, ou pour parler comme Newton, proportionnelles au moment du tems; il faudra également la même force pour surmonter le frottement, soit que le mouvement soit lent ou rapide. C'est pour cette raison que dans toute Machine déterminée, on doit toujours destiner au frottement une partie de la force sollicitante; & du reste on en déterminera le mouvement total. Cette partie de la force sollicitante étant donc une fois trouvée, ce qu'il n'est pas même mal-aisé de faire par la pratique: sçavoir en augmentant, dès qu'on est parvenu à l'équilibre, la puissance peu à peu par degrés, jusqu'à ce que la Machine commence à se mouvoir: cela étant fait, on aura la force qu'il faut pour surmonter le frottement, & on n'aura plus de peine dans le calcul.

IV°. *Du Cabestan le plus avantageux par rapport à la vitesse avec laquelle il agit.*

§ XXXV. Après avoir établi les principes, & fait les observations nécessaires sur les Machines en général, je puis enfin passer à la question même que l'Académie Royale des Sciences a proposée. La construction du Cabestan fera donc d'abord l'objet de mes recherches; & elle doit être telle, que le fardeau soit mû avec la plus grande vitesse par une puissance donnée. Mais avant toutes choses il faut déterminer le genre de Machines d'où on doit prendre le Cabestan ou autre Machine équivalente; ce qui est sans doute le Treuil ou l'*Axis in peritrochio*. Car les poulies & les mouffles sont sujets à trop d'inconvéniens sur la mer, & la seule longueur excessive des cordes qu'elles exigeroient pour élever les ancres, suffit pour les faire rejeter, quoique d'ailleurs cette espèce de Machines soit très-propre à accélérer l'effet. Les vis agissent avec trop de lenteur, & par cela même ne sont d'aucun usage pour notre dessein. C'est pourquoi je m'attacherai uniquement aux Cabestans mêmes, tant simples que composés; & je chercherai premièrement la vitesse avec laquelle ils feront mouvoir le fardeau: après quoi je déterminerai par la méthode de *maximis & minimis*, d'entre toutes ces Machines celle par laquelle la même puissance produira le plus prompt effet.

Fig. 4. §. XXXVI. Soit donc  $CD$  un Cabestan simple, ou un cylindre mobile autour de son axe; & que ce soit autour de ce cylindre que se roule le cordage  $FE$  qui tire ou qui élève un fardeau. Soit de plus la puissance appliquée aux Barres  $A$  qu'on fait entrer jusqu'au fond des trous  $B$ , qui sont à la tête du Cabestan; ou aussi en deux endroits, lorsque le Cabestan est fait pour virer sur deux ponts, ce qui est la même chose pour le calcul. Appelons la longueur des barres  $f$ , & soit la masse ou le poids du



du cylindre  $= A$ , & son rayon de la base  $= a$ ; d'où le moment de la matière de tout le cylindre sera  $= \frac{Aa^2}{2}$ . Soit encore la force de la puissance sollicitante pour faire tourner la machine  $= p$ ; & sa matière ou son inertie  $= P$ ; & que la force de la résistance du fardeau, qui est contraire à l'action de la puissance, s'il y en a, soit  $= q$ ; & l'inertie ou la masse du fardeau  $= Q$ . Enfin supposons qu'il faille appliquer en  $A$  outre la force, qui est requise pour l'équilibre, une force  $\phi$ , pour surmonter le frottement, & pour faire mouvoir la Machine, laquelle étant soustraite de la puissance sollicitante  $p$ , le reste  $p - \phi$  fera la force actuelle, qui s'emploie pour faire avancer le fardeau.

§. XXXVII. Cela fait, voyons maintenant quelle sera la force de rotation avec laquelle tournera le cylindre; parce que c'est par son moyen, qu'on pourra déterminer le mouvement du cylindre, & la vitesse avec laquelle le fardeau  $Q$  fera mû. Or comme la force de rotation s'exprime par une fraction dont le numérateur est le moment des puissances sollicitantes, & le dénominateur est le moment de la matière qui doit être mûe, je chercherai ces deux momens pour le cas en question. La puissance sollicitante étant donc  $= p - \phi$ , soit qu'elle soit appliquée à une seule barre, ou distribuée sur plusieurs, son moment pour tourner le cylindre sera  $= (p - \phi) f$ , d'où on doit soustraire le moment qui provient de la force de la résistance du fardeau, laquelle est  $= q$ ; ce moment-ci sera donc  $= a q$ ; en sorte que le vrai moment des forces sera  $= f(p - \phi) - a q$ . Maintenant le moment de la matière du cylindre est  $= \frac{Aa^2}{2}$ , auquel il faut encore ajouter les momens de la matière, lesquels résultent des inerties tant de la puissance  $P$ , que du fardeau  $Q$ . Or comme la matière unie à la puissance se meut avec la même vitesse que le point  $A$  auquel elle est appliquée, on pourra la concevoir comme ramassée dans ce même point  $A$ ; & ainsi on doit la multiplier par le

Prix. 1741.

H

quarré de la distance de l'axe de rotation, pour avoir son moment par rapport au mouvement de rotation; & ce moment sera par conséquent  $= Pf^2$ . Pareillement comme le fardeau se meut avec la même vitesse que la superficie extérieure du cylindre, son moment sera  $= Qa^2$ . C'est pourquoi le moment total de toute la matiere qui doit être mise en mouvement, sera  $= \frac{1}{2} Aa^2 + Pf^2 + Qa^2$ .

§. XXXVIII. Ayant donc trouvé ces deux momens, la force de rotation sera  $= \frac{f(p-\varphi) - aq}{\frac{1}{2} Aa^2 + Pf^2 + Qa^2}$  à laquelle l'accélération momentanée du mouvement de rotation est proportionnelle. Si on la multiplie donc par le rayon du cylindre, elle exprimera l'accélération que la surface du cylindre, & par conséquent le fardeau lui-même recevront; & ainsi l'accélération du fardeau sera  $= \frac{af(p-\varphi) - a^2q}{\frac{1}{2} Aa^2 + Pf^2 + Qa^2}$ . Si donc le fardeau avoit déjà parcouru l'espace  $x$ , & acquis une vitesse due à la hauteur  $v$ , alors on auroit  $dv = \frac{af(p-\varphi) - a^2q}{\frac{1}{2} Aa^2 + Pf^2 + Qa^2} dx$ , & en intégrant  $v = \frac{af(p-\varphi) - a^2q}{\frac{1}{2} Aa^2 + Pf^2 + Qa^2} x$ . D'où il est clair, que la vitesse du fardeau même sera proportionnelle à la racine quarrée de cette expression, & elle sera par conséquent en raison soudoublée des espaces parcourus. Cela devoit être effectivement ainsi, si la puissance agissoit sans relâche, & qu'il n'y eût aucun obstacle. Mais comme les puissances des hommes qu'on emploie pour cette opération n'agissent pas continuellement; & que le milieu même dans lequel se fait le mouvement, oppose de la résistance; on donnera bien tôt une vitesse constante au fardeau, que l'on pourroit aussi déterminer si l'on faisoit entrer dans le calcul cette résistance, & si mon sujet le demandoit. Or il n'exige principalement de moi, que de rechercher une Machine qui enlève le plus promptement le fardeau. C'est pourquoi il me suffira d'examiner cette expression  $\frac{af(p-\varphi) - a^2q}{\frac{1}{2} Aa^2 + Pf^2 + Qa^2}$ ; puisqu'il est hors de doute que plus cette expression sera grande, plus aussi sera grande la vitesse avec laquelle le fardeau sera enlevé.

§. XXXIX. Or si on fait attention à cette expression  $\frac{af(p-\phi) - a^2q}{\frac{1}{2}Aa^2 + Pf^2 + Qa^2}$ , on trouvera que pour mouvoir le fardeau il faut que soit  $af(p-\phi) - a^2q > 0$ , ou  $f > \frac{aq}{p-\phi}$ . Mais il est évident qu'il ne s'agit pas que plus  $f$  surpasse cette expression  $\frac{aq}{p-\phi}$ , plus aussi la vitesse doit être grande. Car si on prenoit  $f = \infty$ , l'accélération s'évanouiroit de rechef, à cause de  $Pf^2$  infiniment grand dans le dénominateur. Il n'y a donc que deux cas, où l'accélération du fardeau devienne  $= 0$ , qui sont  $f = \frac{aq}{p-\phi}$ , &  $f = \infty$ ; & c'est dans ces deux limites de  $f$ , que sont contenus tous les cas auxquels le fardeau peut être actuellement mû; & parmi lesquels il y en aura nécessairement un, qui produira la plus grande vitesse. Voici donc le problème qu'il faudra résoudre par la méthode de *maximis & minimis*: *Etant donné le Cylindre CD de même que les forces & les inerties de la puissance & du fardeau, déterminer la longueur des Barres AB ou f, afin que le fardeau soit mû avec la plus grande vitesse.* La résolution de ce problème fournira par conséquent la construction la plus avantageuse d'un Cabestan simple, qui n'est composé que d'un seul cylindre mobile autour de son axe.

§. XL. Dans ce problème les quantités données ou constantes sont  $A, a, P, p, Q$  &  $q$ , & l'inconnue variable est  $f$ . Or quant à ce qui concerne le frottement  $\phi$ , comme il regarde le point encore inconnu  $A$ , il n'est pas à propos de le concevoir appliqué à cet endroit. Soit donc  $\phi$  une force capable de vaincre le frottement, si elle est appliquée à une distance donnée  $= a$  de l'axe de rotation. Cela fait, la formule dont il faut faire un *maximum*, se changera en celle-ci  $\frac{afp - a^2(q+\phi)}{\frac{1}{2}Aa^2 + Pf^2 + Qa^2}$ . Pour déterminer donc  $f$ , en vertu de laquelle la formule deviendra un *maximum*, il faut la différencier en faisant  $f$  variable, & la différentielle  $= 0$ ;

H ij

par-là on obtiendra cette équation  $0 = \frac{1}{2} A a^3 p - P a f^2 p + Q a^3 p + 2 P a^2 f (q + \phi)$  ou  $f f = \frac{2 P a f (q + \phi) + a^2 p (\frac{1}{2} A + Q)}{P p}$  qui donne  $f = a \left( \frac{q + \phi}{p} + \sqrt{\left( \frac{q + \phi}{p} \right)^2 + \frac{\frac{1}{2} A + Q}{P}} \right)$ . Cette équation donne donc à connoître la raison la plus avantageuse, entre la longueur des barres  $f$ , & le rayon du cylindre  $a$ .

§. XLI. Faisons maintenant servir tout ceci à lever l'ancre, & déterminons le Cabestan le plus propre à cet effet;  $q$  sera donc le poids de l'ancre dans l'eau, &  $Q$  exprimera la masse de l'ancre & du cordage conjointement, parce que le cordage perd presque toute sa pesanteur dans l'eau, mais non pas son inertie. Ainsi  $Q$  sera  $> q$ ; & on pourra assez sûrement mettre  $Q + \frac{1}{2} A = 2 (q + \phi)$ . Outre cela, comme la force que déploie un homme en virant, est à peu près égale à son poids, on peut faire hardiment  $P = p$ . Ces substitutions étant faites, on aura  $f = \left( \frac{q + \phi}{p} + \sqrt{\left( \frac{q + \phi}{p} \right)^2 + \frac{2 (q + \phi)}{p}} \right) a$ , ou à peu près  $f = a \left( 1 + \frac{2 (q + \phi)}{p} \right)$ . Au moins on voit clairement que  $f$  doit être plus grand que  $\frac{2 (q + \phi)}{p} a$ , & pourtant plus petit que  $a \left( 1 + \frac{2 (q + \phi)}{p} \right)$ , ce qui ne cause presque aucune différence dans la pratique. De-là il est donc clair que la raison de la barre  $f$  au rayon du cylindre  $a$ , doit être un peu plus que deux fois plus grande que celle qui est requise pour produire l'équilibre, & outre cela pour surmonter le frottement.

§. XLII. Or lorsque la puissance sollicitante est si petite en comparaison du poids de l'ancre, qu'il faudroit en suivant la règle trouvée, ou que le cylindre fût trop menu, ou que les barres fussent trop longues; alternative, où les inconvéniens seroient également grands; alors pour opérer avec le plus d'avantage, il fera à propos de se servir d'un Cabestan composé de deux cylindres; c'est pourquoi il

convient d'appliquer le même calcul à ces sortes de Cabestans, qu'on nomme Cabestans à lanterne. Soit donc *D G* Fig. 5. un cylindre, autour duquel se roule la Tourneville, dont la masse ou le poids soit = *A*, son rayon = *a*; soit en outre la force de la résistance du fardeau tiré par le cordage *E F*, = *q*, & son inertie = *Q*. Supposons que ce cylindre soit garni en *D* d'une roue à dent que la lanterne *B* qui se trouve au Cabestan *C B*, fait mouvoir, & que ce Cabestan tourne par le moyen de la puissance *p* appliquée en *A* aux barres *A C*, dont la longueur est = *f*, & à laquelle soit unie une matiere ou inertie = *P*. Soit la masse ou le poids du cylindre *C B* = *B*, & son rayon = *b*; enforte que son moment d'inertie par rapport au mouvement autour de son axe, soit =  $\frac{1}{2} B b^2$ . Que le nombre des dents de la roue *D* soit à celui des rais ou des fuseaux de la lanterne *B* comme *m* à *n*, enforte que la vitesse angulaire du cylindre *D G*, soit à la vitesse angulaire du cylindre *C B* comme *n* à *m*. Et qu'enfin on conçoive que le frottement est tel, qu'à sa place la résistance du fardeau peut être augmentée de la force  $\phi$ .

§. XLIII. Voilà donc dans cette Machine deux mouvemens de rotation, l'un du cylindre *D G*, & l'autre du cylindre *C B*. Le premier est celui qu'il nous importe le plus d'examiner, parce que de son mouvement dépend celui du fardeau, qui est ce qu'on cherche. Ce mouvement donc de rotation du cylindre *D G*, se fera connoître par le moment des forces divisé par celui de l'inertie. Or le moment de la puissance *p* pour faire tourner le cylindre *C B*, est = *f p*; & par conséquent le moment de cette même puissance pour faire tourner le cylindre *D G* est =  $\frac{m}{n} f p$ . Outre cela le moment qui provient de la résistance *q* du fardeau & du frottement  $\phi$  sera =  $a (q + \phi)$ ; qui soustrait du précédent, donne le véritable moment des forces =  $\frac{m}{n} f p - a (q + \phi)$ , qui fera tourner le cylindre *D G*. Mais le moment d'inertie de ce cylindre est  $\frac{A a^2}{2}$  & le mo-

ment d'inertie du fardeau est comme ci-dessus  $= Q a^2$ . Afin donc de déterminer le moment des inerties de l'autre cylindre & de la puissance, je considérerai premièrement le mouvement de rotation du seul cylindre  $CB$ , par rapport auquel le moment des inerties sera  $= P f^2 + \frac{1}{2} B b^2$ , qui serviroit aussi pour le mouvement de rotation du cylindre  $DG$ , s'ils se mouvoient l'un & l'autre également vite. Mais puisque le mouvement de rotation du cylindre  $CB$  surpasse celui du cylindre  $DG$  en raison de  $m$  à  $n$ ; il faudra augmenter ce moment en raison doublée de celle de  $m$  à  $n$ . D'où il suit que par rapport au mouvement de rotation du cylindre  $DG$ , le moment de l'axe  $CB$  & de l'inertie de la puissance, sera  $= \frac{m^2}{n^2} (P f^2 + \frac{1}{2} B b^2)$ . Donc le moment total des inerties par rapport au mouvement de rotation du cylindre  $DG$  sera  $= \frac{1}{2} A a^2 + Q a^2 + \frac{m^2}{2 n^2} B b^2 + \frac{m^2}{n^2} P f^2$ .

§. XLIV. Ayant ainsi déterminé les momens tant des forces sollicitantes que des inerties, la force de rotation qui fait tourner le cylindre  $DG$  sera  $= \frac{m n f p - n^2 a (q + \varphi)}{\frac{1}{2} n^2 A a^2 + \frac{1}{2} m^2 B b^2 + n^2 Q a^2 + m^2 P f^2}$ . De-là résultera donc la force avec laquelle le fardeau s'accélère  $= \frac{m n a f p - n^2 a^2 (q + \varphi)}{\frac{1}{2} n^2 A a^2 + \frac{1}{2} m^2 B b^2 + n^2 Q a^2 + m^2 P f^2}$ ; plus cette force par conséquent sera grande, plus le fardeau se mouvra vite. Or il y a trois cas où cette expression s'évanouit, si on regarde  $f$  & la raison  $\frac{m}{n}$  comme variables. Le premier est si  $\frac{m}{n} f = \frac{q + \varphi}{p}$ , le second si  $f = \infty$ , & le troisième si  $\frac{m}{n} = \infty$ . Ces trois cas sont comme les limites entre lesquelles sont compris tous ceux auxquels le fardeau se meut actuellement. On pourra donc assigner de telles valeurs pour  $f$  &  $\frac{m}{n}$ , qui étant substituées, donneront le plus prompt mouvement du fardeau. Il faut donc déterminer ces valeurs pour donner à cette machine la plus grande perfection,

& pour sçavoir de quelle maniere un Cabestan double ou à lanterne, doit être construit pour enlever un fardeau avec le plus de promptitude.

§. XLV. A cet effet il faut regarder  $A, a, B, b, P, p, Q, q,$  &  $\varphi$ , comme des quantités constantes, &  $f$  &  $\frac{m}{n}$  comme variables, dont on doit chercher la valeur par la méthode de *maximis & minimis*. Faisant donc dans l'expression trouvée  $\frac{m}{n} = z$  &  $fz = y$ , on aura cette formule,

$\frac{ap y - a^2 (q + \varphi)}{\frac{1}{2} Aa^2 + \frac{1}{2} Bb^2 z^2 + Qa^2 + Py^2}$ , dont il faut faire un *maximum*; d'où il paroît que si on assigne à la quantité  $y$  sa valeur, on ne pourra déterminer par la méthode de *maximis & minimis* l'autre variable  $z$ , qu'en la faisant aussi petite que les circonstances le permettent. C'est pourquoi il suffira de ne chercher que la seule changeante  $y$ , laquelle sera déterminée par cette équation,  $P p y^2 = 2 P a (q + \varphi) y + \frac{1}{2} A a^2 p + \frac{1}{2} B b^2 p z^2 + Q a^2 p$ , qui donne  $y = \frac{a(q + \varphi)}{p} + \sqrt{\left(\frac{a^2(q + \varphi)^2}{p^2} + \frac{\frac{1}{2} A a^2 + \frac{1}{2} B b^2 z^2 + Q a^2}{P}\right)}$ . Et en ne con-

sidérant que l'opération de lever les ancres, comme on l'a fait dans le premier cas, on aura par les mêmes suppositions & approximations,  $y = \frac{2 a (q + \varphi)}{p} + a = \frac{m}{n} f$ . C'est donc de cette équation, qu'on pourra déduire la construction la plus avantageuse des Cabestans composés à lanterne.

§. XLVI. Or il suit de cette équation, que la longueur des barres  $AC$ , multipliée par la raison du nombre des dents de la roue  $D$  à celui des fuseaux de la lanterne  $B$ , doit être au demi diamètre de la baze de l'essieu  $DG$ , comme le double du poids de l'ancre, & du frottement avec la puissance sollicitante, à la puissance sollicitante elle-même. Étant donc donnés le poids de l'ancre, la force mouvante & l'épaisseur de l'essieu  $DG$ , autour duquel se roule la tournevire, on déterminera le produit de la longueur des barres par la fraction  $\frac{m}{n}$ ; puisqu'on a  $\frac{m}{n} f = \frac{2 a (q + \varphi)}{p} + a$ . Or pour détermi-

ner séparément la longueur des barres  $f$  & la fraction  $\frac{m}{n}$ , il faut avoir égard aux circonstances de la part du vaisseau, sur la grandeur duquel il faut régler la longueur des barres. Ayant donc déterminé cette longueur des barres  $f$  par la capacité du vaisseau, on n'aura qu'à proportionner la roue  $D$  avec la lanterne  $B$ , enforte que  $\frac{m}{n} = \frac{2a(q+\phi) + ap}{fp}$ . Lors donc que quelques circonstances empêchent qu'un Cabestan simple ne puisse recevoir la plus grande perfection, il n'y a qu'à se servir d'un Cabestan composé, tel que celui dont nous venons de donner la description, & qui pourra être employé dans tous les vaisseaux, n'y ayant aucune circonstance qui empêche son usage. Outre cela ce Cabestan composé peut aussi servir au lieu d'un simple lorsque l'opération l'exige: on n'aura pour cet effet qu'à ôter l'essieu  $DG$  de sa place, ou seulement la roue  $D$ . Mais ces avantages se présentent d'eux-mêmes si naturellement, qu'il seroit superflu de m'y arrêter davantage,

*V<sup>o</sup>. Des inconvéniens qui résultent du choquement de la Tournevire, & de la maniere de les éviter,*

§. XLVII. Je viens enfin à la difficulté principale; qui consiste en ce que la Tournevire venant à être roulée sur le Cabestan & à le remplir, on est obligé de suspendre l'ouvrage jusqu'à ce qu'on ait développé le cordage, & qu'on l'ait relevé; c'est ce qu'on appelle choquer la Tournevire, ce qui rend la manœuvre de lever l'ancre si pénible & si lente. Quelque parfait donc qu'on puisse rendre un Cabestan, par le moyen des règles que nous avons données dans la section précédente, & quelque propre qu'il fût à accélérer considérablement l'opération, on ne gagneroit cependant pas beaucoup, si on ne remedioit à l'inconvénient causé par le choquement de la Tournevire. Or de quelque maniere qu'on s'y prenne à cet effet, on n'a rien à changer à la construction du Cabestan çï-dessus trouvée;

car



car il ne faut chercher du remede à cet inconvénient que dans une structure particuliere du Treuil autour duquel la Tournevire se roule , & dans la maniere de la rouler. Ainsi la construction la plus avantageuse du Cabestan , demeure toujours la même , & la question dont il s'agit à présent , est absolument détachée de la précédente. Il ne pourra donc pas y avoir de contradictions entre les deux solutions. C'est pourquoi la premiere étant donnée , il ne me reste qu'à trouver la seconde pour satisfaire pleinement à la question proposée par l'illustre Académie Royale des Sciences.

§. XLVIII. Quoique ces deux questions que je me suis formées , ne dépendent point l'une de l'autre , cependant la solution de la premiere est d'un grand avantage pour résoudre la seconde. Car comme le manque d'espace sur lequel le cordage se roule , oblige principalement à choquer , on éviteroit ou au moins on diminueroit très-considérablement cet inconvénient , si on faisoit le Treuil assez long & assez gros pour que tout le cordage , ou au moins une plus grande partie pût se dévider dessus. Or la solution précédente , où j'ai déterminé la meilleure structure du Cabestan composé à lanterne , fait voir clairement , ce qui d'ailleurs pouvoit paroître paradoxé , que l'accélération du fardeau ni la perfection du Cabestan , ne dépendent point de l'épaisseur du Treuil *DG*. C'est pourquoi puisque la quantité du Treuil *DG* est encore indéterminée , il sera très-avantageux de le faire aussi grand qu'il se pourra , & de l'allonger de façon qu'il passe d'un pont à l'autre. En lui donnant donc le plus d'épaisseur & de longueur que les autres circonstances , auxquelles il faut réfléchir , le permettront , on gagnera l'avantage de n'être plus obligé à choquer , ou du moins de choquer beaucoup moins souvent. Et tout cela se pourra pratiquer sans faire le moindre tort aux avantages de notre Cabestan , mentionnés ci-dessus.

§. XLIX. Quoiqu'il me semble avoir déjà satisfait pleinement à la question , ayant fait voir très-clairement par le calcul appuyé sur des principes géométriquement dé-

*Prix. 1741.*

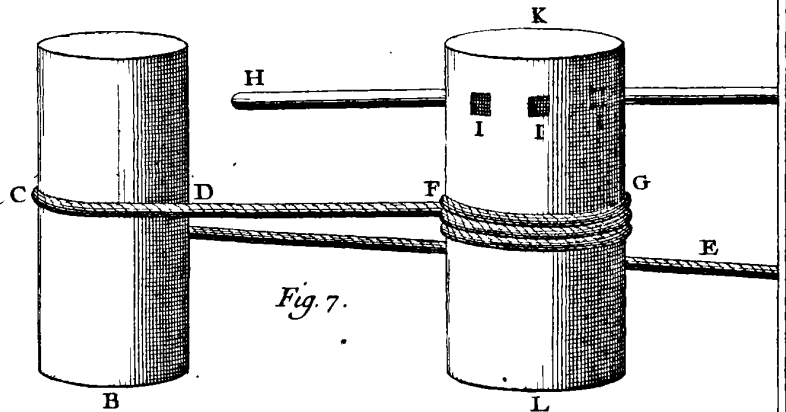
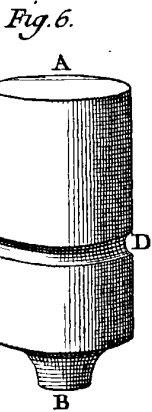
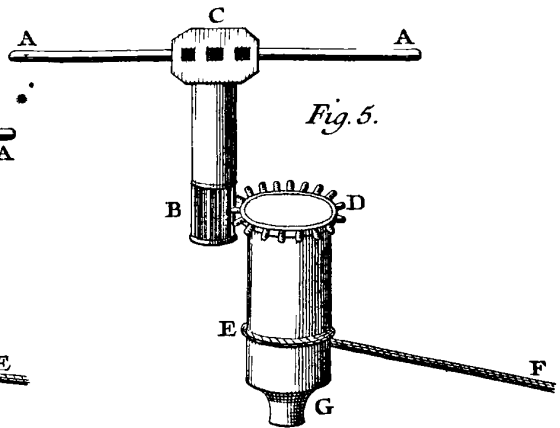
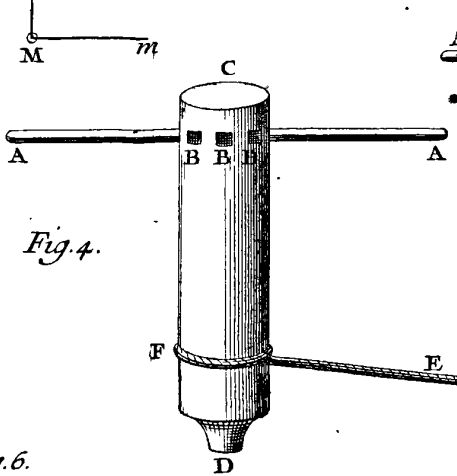
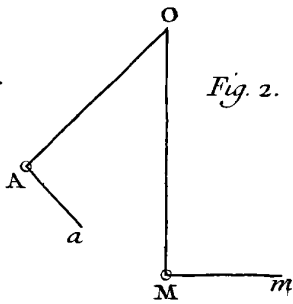
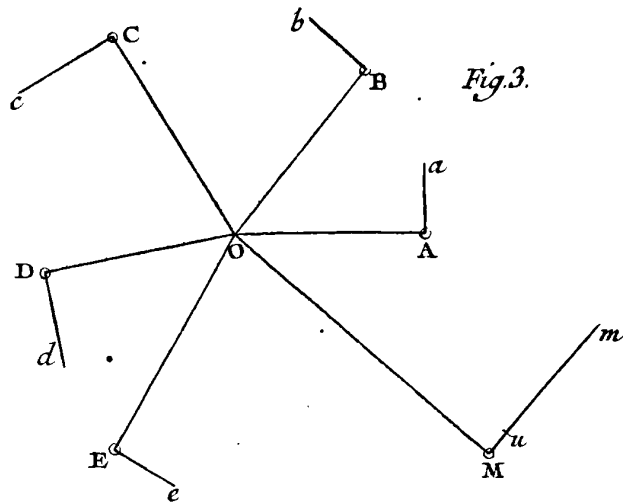
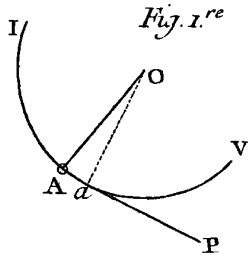
I

montrés , qu'on peut grossir le Treuil très-considérablement sans rien diminuer à la vitesse & à la promptitude de la Machine ; cependant je proposerai encore un autre expédient pour n'être pas obligé de choquer la Tournevire , afin que si quelques circonstances empêchoient le grossissement du Treuil , on pût avoir recours à celui-ci. Ma pensée est de faire en sorte qu'il ne soit pas nécessaire que le cordage fasse plusieurs tours sur le Treuil quand on le vire , & qu'il reste toujours au même endroit de l'essieu. Sans contredit si cela réussit , on évitera non-seulement tous les inconvéniens que le fréquent choquement occasionne , mais même la Machine en deviendra par-là plus parfaite & plus commode à manier. Car alors on pourra se servir d'un Treuil beaucoup plus court & moins embarrassant ; ce qui rendra le Cabestan beaucoup plus léger & plus facile à manier , sans parler de quantité d'autres avantages.

§. L. Lorsque le cable fait plus d'un tour sur le Treuil , il faut de nécessité que lorsqu'on vire au Cabestan , les tours du cable montent ou descendent , & cela à chaque tour de toute la grosseur du cordage. Il n'y a donc d'autre remède à cela , sinon de faire en sorte que le cordage ne fasse jamais un tour entier ; voici comme on pourroit y parvenir. Il faut faire autour de l'arbre *AB* une cannelure *CB* à permettre au cable de s'y enfoncer à moitié ; il faut ensuite que cette cannelure soit extrêmement rude , afin que le cordage venant à être tendu , ne puisse pas glisser à cause du grand frottement ; ce qui sera encore moins à craindre si l'essieu est fort gros. Après cela on manœuvrera de cette sorte. On fera entrer dans la cannelure *CD* le cable *E* , au bout duquel est attaché l'ancre ou le fardeau qu'on veut enlever , de façon pourtant qu'il ne fasse pas un tour entier ; & on l'étendra de *D* en *F* , ou on le roulera en *GF* autour d'un autre Treuil *KL*. La Machine étant en cet état , pour peu qu'on emploie de force pour tourner le Treuil *KL* , on tiendra le cable *FD* tendu , & cette force quoique très-petite , avec le frottement de la cannelure suffira pour

*Fig. 6.*

*Fig. 7.*





empêcher que le cable ne glisse sur le Treuil *CD*. De cette maniere donc on pourra continuer l'opération sans aucune interruption, quelque longueur qu'ait le cable. Car quant à celui qu'on vire sur l'arbre *KL*, on n'aura pas besoin de choquer, parce que la force qu'on y employe n'est pas grande, & que le redoublement du cordage ne causera pas de difficultés.

## SUPPLEMENT.

§. I. **Q**uelles que soient les raisons que l'illustre Académie a eues de différer encore deux années à prononcer sur la question touchant la meilleure maniere de construire le Cabestan, je dois convenir que ce délai est arrivé très-heureusement pour moi; car effectivement dans ma Dissertation précédente, après avoir examiné la construction des Machines en général, & déterminé la disposition la plus avantageuse des parties d'une Machine quelconque, il ne me resta plus assez de tems pour m'attacher plus particulièrement au nœud de la question, & pour développer tous les avantages qui découlent de ma théorie, touchant la perfection du Cabestan; mais ces deux années sont venues très-favorablement me donner tout le loisir nécessaire pour mieux approfondir cette matiere, & pour penser à une Machine qui satisfît pleinement à la question. A dire le vrai, il ne me paroïssoit pas alors à moi-même que je l'eusse parfaitement résolue & levé toutes les difficultés, qui sont très-grandes; mais content de la solution qu'en donnoit ma théorie, je me voyois obligé de laisser à d'autres le soin d'appliquer celle-ci à la pratique. Quoique ma théorie n'ait plus besoin d'être perfectionnée, elle ne peut pourtant servir qu'à pouvoir juger sagement d'une Machine déjà inventée, & à lui donner le dernier degré de perfection; mais elle ne donne aucune ouverture à qui veut

I ij

inventer. On ne doit en attendre du secours, que lorsqu'on s'est déjà formé l'idée d'une Machine; alors on sentira combien cette théorie est utile pour déterminer la proportion que les parties doivent avoir entr'elles, & leur arrangement, afin que l'effet qu'on attend de certaines forces données, soit produit le plus promptement.

§. II. De cette façon la solution doit avoir deux parties: la première doit rouler en général sur la forme de la Machine qu'on a inventée; c'est-à-dire, dans le cas présent, qu'il faut premièrement fixer les puissances, aussi-bien que les instrumens pour lever les ancres, & pour exécuter les autres manœuvres auxquelles on emploie le Cabestan. Dans la seconde, étant données la structure de la Machine en général, la puissance & le fardeau, il s'agit de déterminer par des règles infaillibles chaque partie de la Machine, pour que l'effet en soit le plus prompt. Quant à cette seconde partie, il me semble que je l'ai presque tout-à-fait épuisée dans ma première Dissertation; car par la théorie que j'y ai établie, on est en état de déterminer le plus haut point de perfection dont chaque Machine est susceptible, & de l'y porter. Soit donc qu'on conserve les Cabestans ordinaires, soit qu'on en invente de nouveaux, ma théorie rendra toujours les mêmes services, en leur donnant le plus haut degré de perfection.

§. III. Si pour traiter cette seconde Partie, il faut nécessairement avoir recours à la pure Géométrie & aux Règles que j'ai établies avec évidence dans ma première Dissertation, la première Partie au contraire, ne dépend que du génie de l'Inventeur, qui doit porter son attention sur toutes les circonstances & sur tous les inconvéniens attachés à l'opération qu'il a en vue. Cette Partie donc ne demande d'autres règles que celles que la pratique fournit, & qui vont à rendre la manœuvre plus aisée. Pour cet effet il faut choisir entre toutes les Machines simples, celles qui paroissent les plus propres à faire l'effet qu'on souhaite, & réfléchir sur tous les obstacles & toutes les difficultés qui peu-

vent arrêter ou retarder la manœuvre ; après quoi il ne reste qu'à imaginer une Machine exempte , le plus qu'il est possible , de tous ces inconvéniens. Nous avons une obligation très-particulière à l'illustre Académie Royale , de ce qu'elle a bien voulu faire le détail de tous les inconvéniens auxquels les Cabestans ordinaires sont sujets , & indiquer ceux auxquels elle souhaite qu'on remédie. Matière effectivement capable d'exercer l'esprit , & digne de ses recherches.

§. IV. De toutes les espèces de Machines simples qu'on peut employer pour lever une ancre , le Treuil , sans contredit , est la plus convenable. Non-seulement toutes celles dont on se sert actuellement , ou qu'on a proposées , sont prises de cette classe ; mais de plus , toutes les autres , comme les vis & les poulies , feroient ou trop incommodes , ou feroient perdre trop de tems , si l'on vouloit en faire usage. C'est pourquoi il faut s'en tenir au Treuil , & partant à la forme des Cabestans ordinaires , soit simples , soit doubles. Mais nous verrons dans la suite , après avoir expliqué la manière dont on lève l'ancre , s'il vaut mieux se servir d'un Cabestan simple , ou d'un composé.

§. V. Comme il est impossible que le cable qui soutient l'ancre , tourne sur le Cabestan & l'enveloppe à cause de sa trop grande épaisseur , on se sert communément sur les grands vaisseaux d'une autre corde , nommée Tournevire , assez forte pour tirer le cable avec l'ancre , mais cependant assez souple pour être roulée sur le Cabestan. Il faut donc amarrer continuellement , par le moyen des bossés , le cable à la Tournevire ; & dès que chaque partie du cable amarrée est parvenue au Cabestan , il faut la délier , & cette opération se répète jusqu'à ce que l'ancre soit levée.

§. VI. Les inconvéniens attachés à cette manœuvre , sont de deux sortes. Premièrement , cette nécessité où l'on est d'amarrer & de délier la Tournevire au cable , rend cette manœuvre très-lente & bien pénible , & qui devient très-difficile s'il survient une tempête. En second lieu , quoique

la Tournevire se développe à mesure qu'on la vire sur le Cabestan , cependant comme elle fait plusieurs tours sur le Cabestan , ces tours doivent nécessairement monter ou descendre ; ce qui fait que lorsqu'ils sont parvenus à une extrémité du Cabestan , il faut interrompre l'opération pour remettre la Tournevire à sa première place. Outre cela il faut prendre garde qu'elle ne se replie sur elle-même ; & quand cela arrive , ce n'est pas sans peine & sans perdre beaucoup de tems , souvent si précieux , qu'on la remet en état. Tout cela , comme on voit , rend cette manœuvre pesante & embarrassée.

§. VII. Pour se débarrasser donc de tant de difficultés qui accompagnent la méthode ordinaire de lever l'ancre , le moyen le plus sûr & peut-être l'unique , à mon avis , seroit d'abolir l'usage de la Tournevire , & de faire travailler la Machine immédiatement sur le cable. Si cela se pouvoit faire , on se délivreroit de l'inconvénient de lier & de délier continuellement la Tournevire : & le second qui résulte du fréquent choquement de la Tournevire , disparaît en même tems ; car comme la roideur du cable empêche qu'il ne se puisse rouler sur le Cabestan , ce second inconvénient ne peut avoir lieu ici. C'étoit-là l'idée que je m'étois formée dans ma Dissertation précédente , où je voulois qu'on appliquât le cable sur un cylindre assez ample , de façon qu'il ne fît pas un tour entier. Par-là je croyois gagner cet avantage , que le cable resteroit toujours à la même place sur le Cabestan ; mais cependant je compris aisément que de la manière que j'avois proposée , le frottement seul ne pourroit pas contrebalancer le poids de l'ancre : ce qui m'oblige d'abandonner tout-à-fait cette idée.

§. VIII. Malgré cela je persiste cependant à croire qu'on peut appliquer sur une portion de la circonférence du Cabestan le cable , en sorte que le mouvement du Cabestan le fasse avancer , & que l'ancre se lève sans que le poids & la résistance de l'ancre oblige le cable de céder ou de glisser sur la surface du Cabestan , quoiqu'il n'en touche qu'une



petite partie. Si je fais voir que cela est possible, il me semble que j'aurai levé toutes les difficultés auxquelles la manière ordinaire est sujette. Car premièrement le Cabestan agira d'un mouvement continu & sans interruption, par conséquent le cable fera tiré d'un mouvement égal & uniforme, & toute la manœuvre s'achèvera tout de suite & sans perdre inutilement du tems.

§. IX. Comme c'est dans cette application immédiate du cable sur le Cabestan, que consiste ce qu'il y a de particulier dans mon idée, il sera à propos de l'expliquer d'abord. Que *BCEO* représente une section horizontale du Cabestan faite à l'endroit sur lequel le cable s'applique : que le Cabestan lui-même soit mobile autour de l'axe vertical qui passe par le centre *O* de la section, comme ils le sont ordinairement. Soit de plus *AbcD* un cable attaché à son ancre du côté *A*, qui ne touche le Cabestan qu'en *BC*; mais qui y soit pour ainsi-dire tellement comme colé, qu'aucune force si grande qu'elle soit, ne puisse le faire glisser. Le Cabestan donc étant en repos, le cable tiendra de cette manière l'ancre suspendue, laquelle ne pourra descendre malgré tout son poids. Si l'on vient à virer le Cabestan dans le sens *BCE*, on amènera nécessairement le cable, & l'ancre s'enlèvera, & cela jusqu'à ce qu'elle soit hors de l'eau. Ainsi rien n'arrêtera ni n'interrompra cette manœuvre, pourvu que le cable tienne si fort au Cabestan, qu'il ne lui soit pas possible de glisser.

*Fig. 1.*

§. X. Cette forte adhésion du cable au Cabestan, fera donc l'objet principal de mes recherches. Si c'est avec succès, & que j'indique une manière commode & sûre de produire cette adhésion, il faudra tomber d'accord non-seulement que ma Méthode de lever l'ancre est préférable à la Méthode où l'on se sert de la Tournevire, mais outre cela qu'elle est si parfaite qu'il n'est pas possible d'en souhaiter une qui le soit plus, pas même de l'imaginer. La première chose cependant à laquelle il faut penser, c'est de faire que cette portion du Cabestan où le cable s'ajuste, soit assez

ample pour qu'il en puisse prendre la courbure aisément, au moins celle de l'arc *BC*. Je montrerai ci-après comment cela se peut faire, sans préjudice de l'effet des forces mouvantes.

§. XI. Pour mieux comprendre cela, on peut concevoir que le Cabestan a dans cet endroit une canelure proportionnée à la grosseur du cable, & garnie de pointes assez fortes, qui s'insinuant dans le cable l'empêchent de glisser, & le font obéir au mouvement du Cabestan. Du reste je ne propose cette idée que pour faire voir d'abord qu'il est possible que le cable soit tiré immédiatement par le Cabestan; car je suis bien éloigné de croire que cela soit praticable. Combien d'inconvéniens n'auroit point l'usage de ces pointes? Elles auroient bien-tôt déchiré le cable, dont la conservation est trop de conséquence; mais surtout il seroit à craindre qu'à cause de sa roideur il ne se dégageât de ces pointes, ou qu'il ne les arrachât, auquel cas l'ancre retomberoit aussi-tôt.

§. XII. Ces raisons m'obligent donc à recourir à d'autres expédiens pour faire suivre au cable le mouvement du Cabestan, pour empêcher qu'il ne glisse, qu'outre cela il ne se détériore, & enfin pour que toute la manœuvre s'exécute sans danger, & sans craindre que le glissement du cable ne la rende vaine. J'ai imaginé suivant ces vues, deux Machines; c'est à l'illustre Académie à décider laquelle des deux mérite la préférence. Pour moi il me semble que l'une & l'autre satisfont à la question, & que leur manœuvre sera assez prompte, sans obstacle, & à l'abri de tout accident.

§. XIII. Tout le monde sçait qu'il y a une très-grande force dans le frottement. On le peut augmenter, soit par la pression, soit en rendant les surfaces rudes & raboteuses, au point de pouvoir résister à une très-grande puissance. C'est non-seulement ce que l'expérience confirme; mais de plus on peut augmenter le frottement autant qu'on le veut, ce qui peut servir utilement à mon dessein; car la  
Machine

Machine que je viens d'ébaucher, requiert un frottement capable d'empêcher que la pésanteur de l'ancre, ou même un poids beaucoup plus grand ne puisse faire glisser le cable sur le Cabestan, quoiqu'il ne le touche que dans une portion de sa circonférence. J'ai imaginé deux moyens de produire & de multiplier tant qu'on voudra ce frottement, d'où résulteront deux espèces de Cabestans qui pourront s'ils trouvent de l'approbation, servir à toutes les manœuvres auxquelles ces Machines sont ordinairement destinées. Toute la différence qu'il y aura entre les Cabestans ordinaires & les miens, c'est que par le moyen de ceux-ci, la manœuvre quelle qu'elle puisse être, s'exécutera sans Tournevire & sans tant d'embarras, d'un mouvement égal & non interrompu.

§. XIV. Dans la première de ces deux Machines, je multiplie le frottement autant qu'il est nécessaire, par la pression du cable sur le Cabestan dont la surface peut être raboteuse, quoique cependant il suffise simplement qu'elle ne soit pas polie. Tout cela me semble très-praticable; car il y a beaucoup plus de difficulté à diminuer le frottement dans les Machines, qu'à le multiplier. Il s'y produit souvent beaucoup plus qu'on ne le voudroit. Il me paroît donc que c'est une chose très-aisée à introduire dans toutes sortes de Machines, sans avoir besoin d'appuyer mon sentiment sur plusieurs expériences.

§. XV. Soit donc derechef le cercle  $BCE$  une section *Fig. 2;* horizontale du Cabestan faite à l'endroit où il reçoit le cable. Qu'il y ait là une canelure dont la surface soit très-inegale & raboteuse, sans pourtant que ces aspérités puissent endommager le cable, mais aussi assez fortes pour n'être pas fitôt applanies. Que le cable  $ABCD$  soit appliqué au Cabestan, de façon qu'il n'y ait que la portion  $BFC$  qui le touche & s'engage dans la canelure. Pour ferrer cette portion contre le Cabestan, soient trois ou plusieurs poulies  $F, G, H$ , très-mobiles autour de leurs axes  $f, g, h$ , & qu'on puisse approcher du cable, & ensuite arrêter par le moyen des clous

*Prix.* 1741.

K

ou des vis *p*, *q*. Comme cet artifice est simple & sans difficulté, l'adresse de l'ouvrier peut aisément suppléer au reste.

§. XVI. Ces poulies donc pourront serrer très-fortement le cable contre le Cabestan, & par conséquent augmenter de telle sorte le frottement, que le cable ne pourra pas échapper. De plus, ces poulies pourront aussi avoir tout autour une canelure fort raboteuse; & pour empêcher le cable de reculer, il faudra qu'elles ne puissent tourner que d'un côté, suivant la direction *ABC*, c'est à-dire, en même sens que le Cabestan. C'est pourquoi on garnira ces poulies de roues à dents, comme il est représenté en *G*, de manière que le crochet d'arrêt empêchera la poulie de tourner en sens contraire. Or non-seulement il faut que toutes les poulies soient faites de cette sorte, mais aussi le Cabestan lui-même doit être garni comme à l'ordinaire de ses clinquets & taquets, afin qu'il se trouve arrêté dès que la force mouvante cesse d'agir.

§. XVII. Maintenant on conçoit sans peine quel sera l'effet d'un Cabestan construit de cette façon. Premièrement, si l'action des forces motrices vient à cesser tout à coup, non-seulement toute la Machine demeurera en repos, mais de plus l'ancre restera suspendue sans pouvoir retomber. Or comme ni le Cabestan ni les poulies qui compriment le cable, ne peuvent tourner dans le sens auquel les sollicite le poids de l'ancre, celle-ci ne pourra pas descendre, à moins que l'effort qu'elle fait pour cet effet, ne soit tel qu'il surmonte le frottement & fasse glisser le cable entre le Cabestan & les poulies. Mais on peut si aisément augmenter le frottement, soit en faisant, comme je l'ai dit, les canelures des poulies & du Cabestan très-raboteuses, ou en redoublant la compression, qu'il sera capable de résister à une force dix fois plus grande que n'est celle avec laquelle l'ancre tend à descendre. On pourroit alléguer à ce sujet quantité d'expériences sur la force du frottement, si la chose n'étoit par elle-même assez claire, & si l'on ne pouvoit pas augmenter tant que l'on veut le frottement, ou

par la pression, ou par le nombre des poulies. Je suis d'opinion que trois, ou tout au plus quatre, peuvent suffire pour l'ancre la plus pésante.

§. XVIII. La Machine soutiendra donc de cette maniere l'ancre, quelque pésante qu'elle soit, nonobstant que les forces n'agissent plus. Or il est manifeste que si on vient à en employer assez pour tourner le Cabestan, alors l'ancre s'élèvera; car si le Cabestan tourne du sens *BCE*, il faut nécessairement que le cable qui suit ce mouvement, lève l'ancre. Les poulies qui serrent le cable n'y apporteront aucun obstacle, puisqu'elles se meuvent très librement autour de leurs axes, j'entends du côté que le cable doit se mouvoir pour lever l'ancre: opération qui, comme on voit, se fera d'un mouvement égal & continu, sans qu'il puisse naître d'empêchemens qui la puissent retarder ou interrompre, à quelque profondeur que l'ancre se trouve. C'est pourquoi je ne doute nullement que ma Méthode ne mérite d'être préférée à la maniere vulgaire, vû qu'elle est non-seulement exemte de tous les inconvéniens qu'a celle-ci, mais qu'outre cela elle est aussi simple & aussi expéditive qu'il est possible de l'imaginer.

§. XIX. On pourroit objecter que cette compression du cable, rend le virement au Cabestan plus difficile. Je l'avoue. Mais cette difficulté me semble si peu de chose, qu'elle doit disparoître en comparaison de tous les avantages qu'on a d'ailleurs. Pour la lever, il n'y a qu'à augmenter tant soit peu les forces. Cependant je vais donner une autre maniere de Cabestan exemte de ce défaut, supposé que c'en soit un. Le fondement de cette Machine est pris de ce qu'on voit faire tous les jours aux Matelots qui tirent de très-grands fardeaux avec une corde. On ne s'étonne point que la corde ne leur échappe pas des mains; la raison en est qu'en la prenant & la ferrant un peu, la résistance du fardeau ne peut pas la faire glisser. C'est pourquoi si l'ancre n'étoit pas trop pésante & le cable trop épais, il est évident qu'on pourroit lever l'ancre en empoignant le

K ij

cable , & en le tirant avec une force fuffifante.

§. XX. Mais fi le poids énorme de l'ancre & la roideur du cable rendent cet ouvrage impossible aux hommes , il ne le feroit pas cependant à des Géans d'une certaine taille. On peut les concevoir fi grands qu'ils pourroient manier auffi aifément un cable que nous manions une ficelle , ainfi ils pourroient fans doute lever l'ancre avec leurs mains. Il s'agit donc de faire enforte que le cable foit faifi , retenu & comprimé avec affez de force , pour qu'il puiſſe être tiré de la même maniere. C'est pourquoi fi j'indique une Machine qui imite l'action de ces Géans , en prenant pour ainſi dire le cable avec les mains & en le tirant , je me flate qu'une pareille Machine ſatisfera parfaitement à la queſtion que l'illuſtre Académie a propoſée. Je ne vois pas qu'il foit difficile d'exécuter par le moyen des Machines , ce que des Géans pourroient faire avec leurs bras , & d'en inventer une propre à cet effet.

*Fig. 3.*

§. XXI. Pour faire la fonction de mains , il faudra adapter tout autour du Cabefſtan , à l'endroit où paſſe le cable , des bras armés de tenailles , telles qu'on en voit deux représentées aux lettres *G* & *H*. Mais on en peut concevoir un plus grand nombre , à proportion de la groſſeur du Cabefſtan. Les unes , comme *FH* , retiendront toujours le cable ; car on pourra les ajuster de telle ſorte , comme je le ferai voir bien-tôt , qu'à meſure qu'elles faiſſent le cable , elles le ferment affez fortement , tandis que les autres comme *GE* , demeurent ouvertes & ſont faites de façon que le mouvement du Cabefſtan les faiſant avancer en *M* , elles reçoivent le cable & ſe referment d'abord. Outre cela chacune de ces tenailles , dès qu'elle a pincé le cable , le tient ferré par l'eſpace d'un arc d'environ cent-vingt degrés , après quoi elle le lâche en ſe rouvrant , de façon que la troiſième partie de ces tenailles tient toujours le cable & le tire. De ſorte que ſi le Cabefſtan a douze de ces bras , il y en aura continuellement quatre en action , & ſ'il étoit néceſſaire , on en pourroit encore augmenter le nombre.

§. XXII. Voilà en général quelle est la Machine que je propose, par où l'on voit comment on peut tirer un cable & élever une ancre, ou quelque autre fardeau, par le moyen de ces tenailles. Mais je n'ai pas encore fait voir par quel mécanisme elles pincet le cable, quand elles en approchent, & le lâchent ensuite. On comprend cependant qu'un pareil mécanisme rendroit une Machine propre à servir utilement. Au reste il faut observer ici qu'on doit empêcher le Cabestan de déviter, de même que dans la précédente Machine, ce qui se fera par les moyens ordinaires. Il convient outre cela de faire les branches de ces tenailles assez larges pour tenir plus fortement le cable, & afin qu'elles ne puissent pas l'endommager, de les garnir de bon cuir.

§. XXIII. Toute la difficulté se réduit donc à inventer un moyen pour faire en sorte que les tenailles qui se trouvent du côté *G* restent ouvertes, & que celles qui viennent vers *H*, comme par exemple en *M*, pincet le cable, se referment aussi-tôt, & le tiennent ferré en le tirant le long d'un arc d'environ cent-vingt degrés; qu'ensuite elles se rouvrent & abandonnent le cable pour être mis en son lieu. Pour cela, il n'y a qu'à garnir ces tenailles de ressorts qui les tiennent continuellement ouvertes, ce qu'on peut faire très-aisément en appliquant des lames élastiques & fortes, comme *g* qui repoussent la branche supérieure *mG* des tenailles, qui doit avoir une charniere en *m*. La construction de ces tenailles me paroît assez éclaircie, pour qu'un Ouvrier n'ait pas de peine à les faire.

§. XXIV. Mais pour faire que ces tenailles pincet le cable à propos, il faudra placer autour du Cabestan *ABC*, le corps *EFGH* fait en forme de couronne, comme la figure le représente, & l'assurer très-fortement. C'est par-dessous ce corps que les tenailles se meuvent quand on vire au Cabestan. Cette espèce de couronne doit avoir plus d'épaisseur du côté *FHf*, que du côté *EGe*, afin que les tenailles qui se trouvent sous la partie mince *Ge*, puissent rester ouvertes, leurs branches fort écartées, tandis que les

K iij

autres qui viennent sous la partie épaisse  $fH$ , sont obligées de ferrer le cable, puisque la branche supérieure qui est mobile, est forcée à se baisser. Mais pour que le mouvement de ces tenailles lorsqu'elles passent sous ce corps circulaire, se fasse sans frottement sensible, on voit assez, sans que je le dise, qu'il n'y a qu'à garnir de roulettes le dessus des branches supérieures des tenailles.

§. XXV. La Machine étant donc toute préparée comme on vient de le dire, & jouant, les tenailles parviendront de  $G$  en  $e$  ouvertes, là chacune recevra le cable qu'on aura conduit & dirigé vers  $e$  par le moyen des poulies  $p$  &  $q$ . Ensuite dès que la tenaille parcourt l'espace  $ef$ , & est parvenue à l'endroit le plus abaissé de la couronne, la branche supérieure sera comprimée, ainsi la tenaille se fermera, tiendra le cable très-ferme, & le tirera jusqu'à ce que parvenue en  $k$  où la couronne perd de son épaisseur, elle se rouvre & lâche prise.

§. XXVI. Si l'on veut que cette Machine ne manque jamais de produire son effet, il faut faire en sorte qu'on puisse baisser plus ou moins cette couronne par le moyen des vis; ce qui est d'une nécessité indispensable, vû la différente grosseur des cables dont les uns demandent d'être ferrés plus fortement que les autres. L'on pourra donc agencer cette couronne, de sorte que les tenailles ferreront autant qu'il faudra. Effectivement toute la difficulté que cette opération peut avoir, consiste à ne pas ferrer trop ni trop peu les tenailles; car si elles étoient trop ferrées, cela arrêteroit de beaucoup le mouvement, ou du moins le rendroit trop pénible: & si elles l'étoient trop peu, il seroit à craindre que le cable n'échappât aux tenailles, & ne fût emporté par le fardeau. On peut aisément parer ces deux inconvéniens par l'expédient que j'ai indiqué, c'est-à-dire, en faisant qu'on puisse abaisser la couronne à son gré par le moyen des vis.

§. XXVII. Voilà donc la description de la seconde Machine, qui, de même que la première, me paroît pro-



pre à lever l'ancre sûrement , d'un mouvement suivi & sans tous les embarras qui accompagnent les méthodes jusqu'à présent usitées. L'une & l'autre peut être employée non-seulement à lever l'ancre , mais aussi à tous les autres usages auxquels les Cabestans sont ordinairement destinés. Je me flatte que ces deux Machines satisfont à la question que l'illustre Académie Royale a proposée , puisque non-seulement j'ai remédié aux inconvéniens qui naissent de la Tournevire & des fréquentes interruptions , mais de plus que j'ai donné deux Machines dont on peut faire usage en mer , & même dans le fort d'une tempête , avec autant de commodité & de sûreté que sur terre. Comme on ne pourroit pas exiger sur terre plus de perfection dans ces Machines , à plus forte raison n'en peut-on pas souhaiter de plus commodes sur mer.

§. XXVIII. Maintenant après avoir donné deux manières de construire cette partie du Cabestan qui agit immédiatement sur le cable , il nous reste à décrire l'autre partie de cette Machine , c'est-à-dire , celle à laquelle s'appliquent les forces motrices , & qui va aboutir à celle dont nous avons fait la description. Dans ces deux manières le reste du Cabestan peut être le même , puisque la force que le Cabestan a dans l'un & l'autre cas à surmonter de la part du fardeau , est presque la même. Car outre que le cable dans ces deux Machines se trouve également éloigné de l'axe de mouvement du Cabestan , c'est-à-dire , autant qu'il le faut pour que le cable se puisse courber ; la résistance aussi que produit le frottement , est presque égale de part & d'autre : d'où il suit que dans les deux cas , on n'a pas besoin de varier la construction de la partie supérieure du Cabestan.

§. XXIX. Puis donc que le cable se trouve à une aussi grande distance de l'axe du Cabestan , & que le rayon du cercle que le cable décrit autour du Cabestan , est beaucoup plus grand que celui que décrit ordinairement la Tournevire , il n'y a plus moyen de se servir du Cabestan

simple: car je n'ai d'autres forces pour faire agir mes Machines, que celles qu'on employe aux Cabestans simples. Or il faudroit, pour toutes les deux, des barres qui fussent d'autant plus longues que les ordinaires, que le cable, suivant mon idée, se doit trouver plus éloigné de l'axe de mouvement, que ne l'est ordinairement la Tournevire. Mais il résulteroit de-là que les barres seroient si excessivement longues, qu'on ne pourroit pas même s'en servir sur les plus grands vaisseaux.

§. XXX. Pour remédier donc à cette prodigieuse longueur des barres, & pour compenser l'effet qu'elles auroient produit sur les Cabestans simples, il n'y a point d'autre parti à prendre que de faire un Cabestan composé, qui consiste en deux cylindres, une roue à dents, & une lanterne par où ils se communiquent. L'Equipage manœuvrera à l'un de ces cylindres, tandis que l'autre amènera l'ancre ou tel autre fardeau qu'on voudra. Celui-ci pourra être construit d'une de ces deux manieres que j'ai expliquées, en sorte que le cable soit ou comprimé par les poulies, ou pincé par les tenailles. C'est pourquoi il faut faire voir maintenant quelle longueur on doit donner aux barres qui doivent agir sur le cylindre supérieur, & quelle doit être la raison entre la roue à dents, & les barreaux de la lanterne, ou entre les vitesses des deux cylindres, afin que l'opération s'achève le plus promptement qu'il est possible. Pour faire cette recherche, j'aurai recours aux règles contenues dans la Dissertation que j'envoyai il y a deux ans.

Fig. 5.

§. XXXI. Concevons donc un Cabestan composé, comme il est représenté dans la figure. Qu'il consiste en deux cylindres  $AB$  &  $CD$ , dont l'inférieur  $CD$  est placé entre le premier pont  $RS$ , & le second  $PQ$ ; & que le cylindre supérieur  $AB$  s'élève au-dessus du second pont  $PQ$ : qu'ils soient joints l'un à l'autre par le moyen de la lanterne  $B$  attachée au cylindre supérieur, & de la roue à dents dont l'inférieur est bordé: que celui-ci agisse sur le  
cable

Fig. 1.

Fig. 2.

Fig. 3.

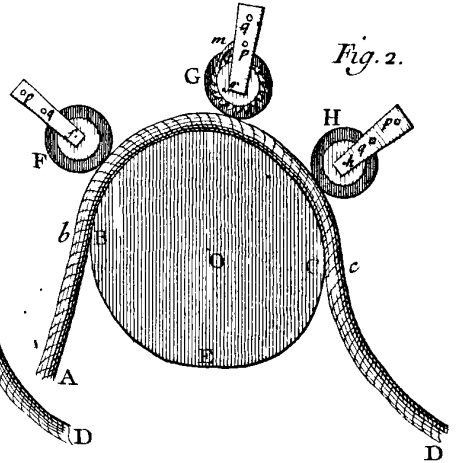
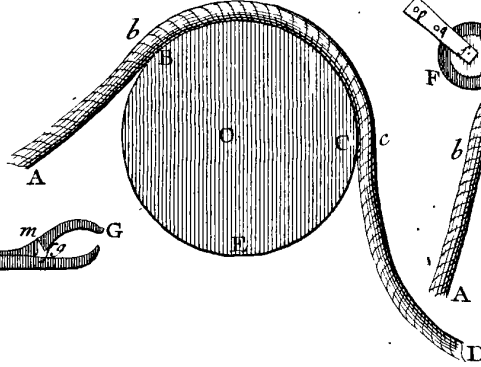
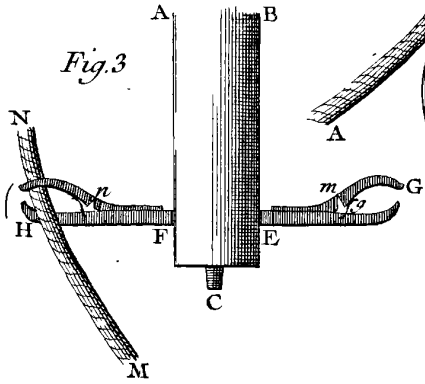
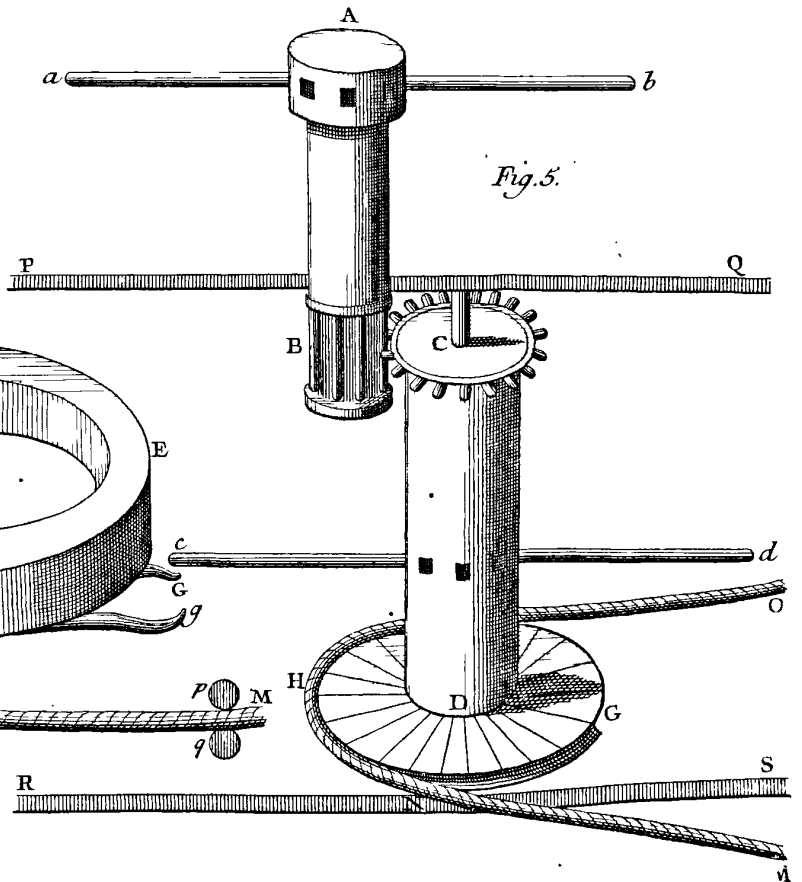
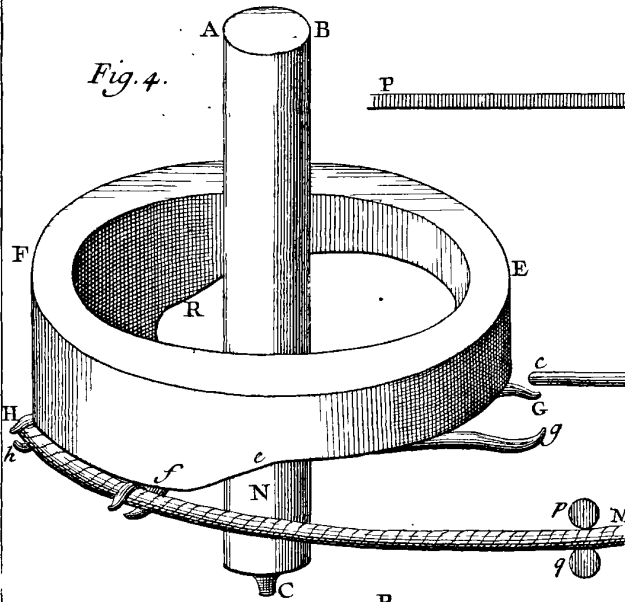


Fig. 4.

Fig. 5.





cable *MNHO* en le tirant de l'une ou de l'autre manière décrites ci-dessus ; c'est pourquoi la façon dont le cable est tiré , n'est pas exprimée dans la figure , les descriptions précédentes pouvant y suppléer , quelle que soit la manière qu'on ait choisie. De plus , on pourra construire cette Machine de façon qu'on puisse virer les deux cylindres en même tems , & c'est la raison pour laquelle j'ai mis des barres aux deux cylindres dans la figure. Je me souviens d'avoir vû la même chose dans les Machines approuvées par l'Académie , & je suis fort persuadé que cela peut s'exécuter très-aisément.

§. XXXII. Appliquons maintenant les règles que j'ai données dans ma Dissertation précédente , pour donner toute la perfection possible aux Machines , & leur faire produire leur effet le plus promptement qu'il se peut. Soit le nombre des dents de la roue  $C = m$  , & le nombre des barreaux de la lanterne  $B = n$  : partant la vitesse angulaire du cylindre supérieur , fera à la vitesse angulaire de l'inférieur comme  $m$  à  $n$ . Soit de plus la longueur des barres des deux cylindres , ou plutôt la distance du point de chaque barre où la force est appliquée à l'axe du cylindre  $= f$  , & la distance du cable  $H$  à l'axe du cylindre inférieur  $HD = h$ . C'est de cette distance que dépend le moment du fardeau. Outre cela que toute la force qui meut chaque cylindre soit  $= p$  , force à laquelle soit jointe une matière ou inertie  $= P$  , & que la résistance du poids qu'on veut tirer , soit  $q$  , & son inertie  $Q$ . Soit enfin le frottement de toute la Machine , par rapport à la force résistante du fardeau  $= \phi$  , en sorte que le total de la résistance que la Machine doit vaincre , soit  $= q + \phi$ .

§ XXXIII. Qu'on suppose à présent le poids du cylindre supérieur  $= A$  , le rayon de sa section  $= a$  , en sorte que le moment d'inertie de ce cylindre est  $= \frac{A a^2}{2}$ . Que le poids de l'inférieur soit  $= C$  , & le rayon de sa section  $= c$  , & partant son moment d'inertie fera  $= \frac{1}{2} C c^2$ .

Prix. 1741.

L

Or le moment de la force  $p$  qui fait mouvoir le cylindre supérieur est  $= fp$ , d'où résulte le moment qui fera agir l'inférieur  $= \frac{m}{n} fp$ , lequel est mû lui-même par la force  $p$  qui lui est appliquée, dont le moment est  $fp$ , enforte que le moment total qui fera tourner le cylindre inférieur est  $\frac{m+n}{n} fp$ ; d'où si l'on soustrait le moment de la force qui s'oppose au virement de ce cylindre, & qui est  $= h(q + \phi)$  on aura le moment vrai & actuel qui fait tourner le cylindre inférieur  $= \frac{m+n}{n} fp - h(q + \phi)$ .

§. XXXIV. Cherchons maintenant le moment d'inertie de toute la matiere qui doit être mise en mouvement. Premièrement, le moment d'inertie du fardeau est  $= Qh^2$  & celui du cylindre inférieur  $= \frac{1}{2} Cc^2$ . Ensuite le moment d'inertie qui naît de la matiere, jointe à la force  $p$  qui fait tourner le cylindre inférieur, est  $Pf^2$ . Enfin le moment d'inertie & de la force qui fait agir le cylindre supérieur, & du cylindre lui-même, est ensemble  $= Pf^2 + \frac{1}{2} Aa^2$ , si l'on a égard au mouvement de rotation du cylindre supérieur: c'est pourquoi ce moment par rapport au moment de rotation du cylindre inférieur, fera  $= \frac{m^2}{n^2} (Pf^2 + \frac{1}{2} Aa^2)$  comme je l'ai fait voir dans ma Dissertation. De tout cela il résulte que le moment total d'inertie, par rapport à la rotation du cylindre inférieur, fera  $= Qh^2 + \frac{1}{2} Cc^2 + Pf^2 + \frac{m^2}{n^2} (Pf^2 + \frac{1}{2} Aa^2)$ ; mais par rapport aussi à la même rotation, le moment de la force qui fait tourner, est  $= \frac{m+n}{n} fp - h(q + \phi)$ . C'est pourquoi la force avec laquelle le cylindre inférieur sera tourné, & par conséquent le poids tiré sera  $= \frac{\frac{m+n}{n} fp - h(q + \phi)}{\frac{m^2 + n^2}{n^2} Pf^2 + Qh^2 + \frac{m^2}{2nn} Aa^2 + \frac{1}{2} Cc^2}$ , d'où résulte finalement la force qui accélère le mouve-

ment du poids 
$$= \frac{\frac{m+n}{n} f h p - h h (q + \phi)}{\frac{m^2+n^2}{n^2} P f^2 + Q h^2 + \frac{m^2}{2n^2} A a^2 + \frac{1}{2} C c^2}.$$

§. XXXV. Voyons présentement quelle proportion on doit donner à chaque partie de la Machine, afin que cette force accélératrice soit la plus grande, & que par conséquent le fardeau se meuve le plus vite qu'il se peut. Premièrement, la valeur de la lettre  $h$  se détermine dans cette Machine d'elle-même, puisque la distance du cable à l'axe du cylindre doit être telle, qu'il puisse, vû sa roideur, prendre une courbure qui réponde au rayon  $h$ ; ainsi on regardera la lettre  $h$  comme une quantité constante. En second lieu, la longueur des barres  $f$  est déterminée par la grandeur du vaisseau, en sorte qu'on ne peut pas l'augmenter au-delà de certaines limites: on envisagera donc aussi  $f$  comme constante. En troisième lieu, puisque la masse de la Machine, les forces agissantes & la résistance du fardeau, sont données avec leurs inerties, il ne reste plus qu'à déterminer la raison de  $m$  à  $n$ . Faisant donc  $\frac{m}{n} = z$ , on déterminera la lettre  $z$ , en faisant cette formule 
$$\frac{f p z + f p - h (q + \phi)}{(P f^2 + \frac{1}{2} A a^2) z z + P f f + Q h h + \frac{1}{2} C c^2}$$
 un *Maximum*.

§. XXXVI. Pour pouvoir donc traiter cette formule avec plus de facilité, selon la Méthode de *maximis & minimis*, on fera pour abréger  $f p = \alpha$  &  $h (q + \phi) - f p = \epsilon$ ; car je regarde  $h (q + \phi) > f p$ , parce qu'on suppose que la force appliquée au Cabestan inférieur, ne peut pas seule faire avancer le fardeau. On supposera ensuite  $P f^2 + \frac{1}{2} A a^2 = \gamma$  &  $P f f + Q h^2 + \frac{1}{2} C c^2 = \delta$ , & on aura cette formule 
$$\frac{\alpha z - \epsilon}{\gamma z z + \delta}$$
, dont il faudra faire un *Maximum*. On aura donc  $\alpha \delta = \alpha \gamma z z - 2 \epsilon \gamma z$ , ou  $z z = \frac{2 \epsilon \gamma z + \alpha \delta}{\alpha \gamma}$ , d'où on tire 
$$z = \frac{\epsilon \gamma + \sqrt{(\epsilon \epsilon \gamma \gamma + \alpha^2 \gamma \delta)}}{\alpha \gamma}$$
; c'est-à-dire, en substituant les

L ij

valeurs véritables,  $x = \frac{m}{n} = \frac{h(q+\phi)}{fp} - 1 \pm \sqrt{\left(\frac{h^2(q+\phi)^2}{ffpp} - \frac{2h(q+\phi)}{fp} + 1 + \frac{P+ffQhh+\frac{1}{2}Cc^2}{Pff+\frac{1}{2}Aa^2}\right)}$ . Au reste, où les signes sont ambigus, il n'y a que le supérieur  $+$  qui ait lieu; puisqu'autrement la valeur de la fraction  $\frac{m}{n}$  deviendrait négative; ce qui ne se peut.

§. XXXVII. Appliquons à notre sujet la formule que nous venons de trouver. Premièrement  $Q$  sera  $> q$ , parce que l'ancre avec le câble conserve dans l'eau son inertie, quoiqu'elle perde beaucoup de son poids ou de sa résistance. Ensuite, comme les hommes qui poussent peuvent vaincre une force presque égale à celle de leurs corps,  $P$  sera à peu de chose près  $= p$ . Outre cela, on peut prendre hardiment à la place de la fraction  $\frac{Pff+Qhh+\frac{1}{2}Cc^2}{Pff+\frac{1}{2}Aa^2}$  celle-ci  $\frac{Pff+Qhh}{Pff}$ , tant parce que les termes  $\frac{1}{2}Cc^2 + \frac{1}{2}Aa^2$  sont très-petits, en comparaison des autres, que parce que  $\frac{1}{2}Cc^2 > \frac{1}{2}Aa^2$  presque dans la même raison que  $Pff + Qhh > Pff$ : c'est pourquoi on aura  $\frac{m}{n} = \frac{h(q+\phi)}{fp} - 1 + \sqrt{\left(\frac{hh(q+\phi)^2}{ffpp} - \frac{2h(q+\phi)}{fp} + 2 + \frac{Qhh}{ffp}\right)}$ .

§. XXXVIII. Pour tirer plus d'usage de cette formule, nous supposons  $f = 2h$ : ce qui se peut fort bien, puisque pour courber le câble il suffit que le rayon de sa courbure soit la moitié de la longueur des barres  $f$ , & par cette supposition il restera assez de place à ceux qui virent au cylindre inférieur. On aura par-là  $\frac{m}{n} = \frac{q+\phi}{2p} - 1 + \sqrt{\left(\frac{(q+\phi)^2}{4pp} - \frac{(q+\phi)}{p} + 2 + \frac{Q}{4p}\right)}$ . De plus, sans trop s'écarter, on peut supposer  $q + \phi$  ou toute la résistance de l'ancre avec le frottement trois fois plus grande que la force appliquée à un seul cylindre; en sorte que la force totale appliquée aux deux cylindres, soit à la résistance  $q + \phi$ , comme 2 est à 3; car il sera à propos de construire la Ma-



chine enforte que l'on puisse lever l'ancre avec une force moindre que n'est son poids ; & même si l'on vouloit en employer une plus grande , l'ouvrage s'achèveroit d'autant plus promptement. En faisant donc  $\frac{q+\phi}{p} = 3$  , on aura  $\frac{m}{n} = \frac{1}{2} + \sqrt{\left(\frac{1}{4} + 1 + \frac{q}{4p}\right)}$ . On peut enfin supposer assez sûrement l'inertie  $Q$  du fardeau qu'on doit mouvoir quatre fois plus grande que l'inertie des forces agissantes  $P$  ou  $p$  , ce qui donnera finalement  $\frac{m}{n} = \frac{1}{2} + \sqrt{2 + \frac{1}{4}} = 2$ . C'est pourquoi le nombre des dents de la roue doit être deux fois plus grand que celui des barreaux de la lanterne  $B$  , & partant tandis que le cylindre supérieur fera deux tours , l'inférieur n'en fera qu'un.

§. XXXIX. Il résulte presque la même raison , quoique les circonstances diffèrent assez considérablement de celles que nous avons supposées ; puisque près d'un *maximum* les changemens sont presque imperceptibles. Et il me semble que je ne me suis pas beaucoup écarté par mes suppositions de ce qui arrive effectivement sur les vaisseaux. Voici donc la manière la plus commode & la plus avantageuse de construire un Cabestan : c'est premièrement de prendre pour la longueur des barres le double de la distance qu'il y a du cable à l'axe du cylindre. Ensuite de faire que le nombre des dents de la roue  $C$  soit double de celui des barreaux de la lanterne  $B$  ; d'où il suit que le cylindre supérieur se mouvra deux fois plus vite que l'inférieur. Il faut outre cela observer que la force qu'on applique à chaque cylindre soit égale , & de plus environ trois fois plus petite que la résistance du fardeau jointe au frottement. Il y a toujours sur chaque vaisseau plus de monde qu'il n'en faut pour produire cette force. De plus l'inégalité de mouvement que j'ai établie entre les deux cylindres , me paroît raisonnable ; si elle étoit plus grande , il arriveroit infailliblement qu'une partie de ceux qui virent au Cabestan , iroient ou trop vite ou trop lentement. Voilà quelles sont les raisons qui me

L ij

persuadent qu'on peut introduire avec beaucoup de succès l'usage des Cabestans, tels que je viens de les décrire, & adopter mes hypothéses.

§. XL. De cette maniere on pourra donc se servir très-avantageusement de ces Cabestans, non-seulement pour lever l'ancre, mais aussi tout autre grand fardeau, puisqu'il faut à peu près la même manœuvre. Mais lorsqu'il s'agit de faire avancer horizontalement de grandes masses, où la force de la résistance  $q$  disparaît, & où il n'y a que l'inertie  $Q$  qui entre en considération, il est bien vrai qu'il faudroit souvent d'autres Cabestans, si l'on vouloit faire le plus vite. Cependant comme pour chaque opération différente qui peut survenir on n'ira pas faire un nouveau Cabestan, on peut s'en tenir à celui que nous venons de donner, dont la manœuvre sera toujours beaucoup plus prompte que celle des Cabestans ordinaires, quoique dans certains cas elle pût l'être davantage. C'est ce que donne à connoître la force accélératrice trouvée §. 34. qui, au cas que le fardeau  $Q$  soit très-grand, deviendra beaucoup plus grande, en faisant  $\frac{m}{n} = 2$ , qu'elle ne le seroit, si comme dans les Cabestans simples,  $\frac{m}{n}$  étoit  $= 1$ .

§. XLI. Au reste j'ai crû devoir passer sous silence certaines circonstances du Cabestan, moins essentielles, parce qu'elles sont très-connues; telle est, par exemple, l'épaisseur des cylindres qu'on doit déterminer sur la force qu'ils soutiennent. Outre cela, l'élinguet pour empêcher que les cylindres ne dévient, & dont l'un ou l'autre doit être garni. Tous les deux, à mon avis, doivent l'être, & l'inférieur sans contredit, puisqu'il soutient le plus grand effort. Si le cylindre supérieur en a un, il pourra être employé seul aux manœuvres qui demandent moins de force, & fera la fonction de Cabestan simple, tel qu'en ont communément les vaisseaux. Pour le rendre plus propre à cet usage, il seroit à propos qu'on pût ôter, lorsqu'il en seroit besoin, la roue

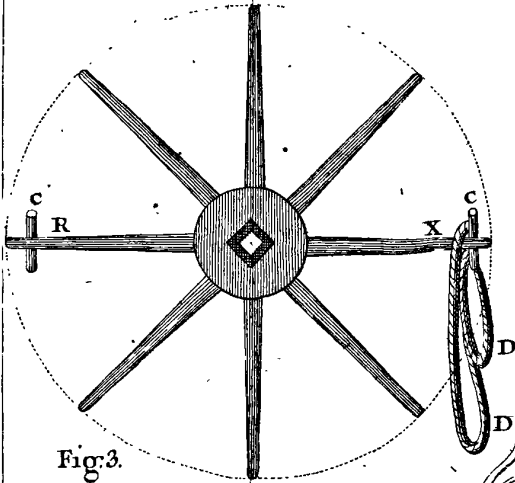


Fig. 3.

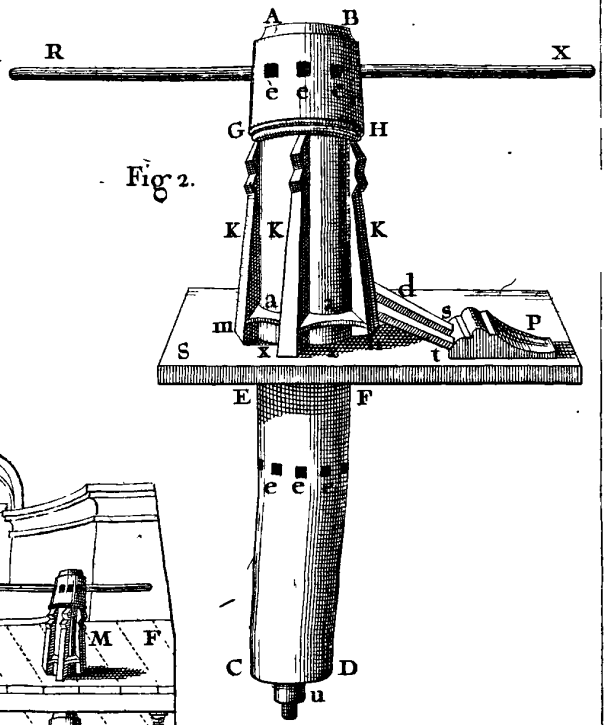
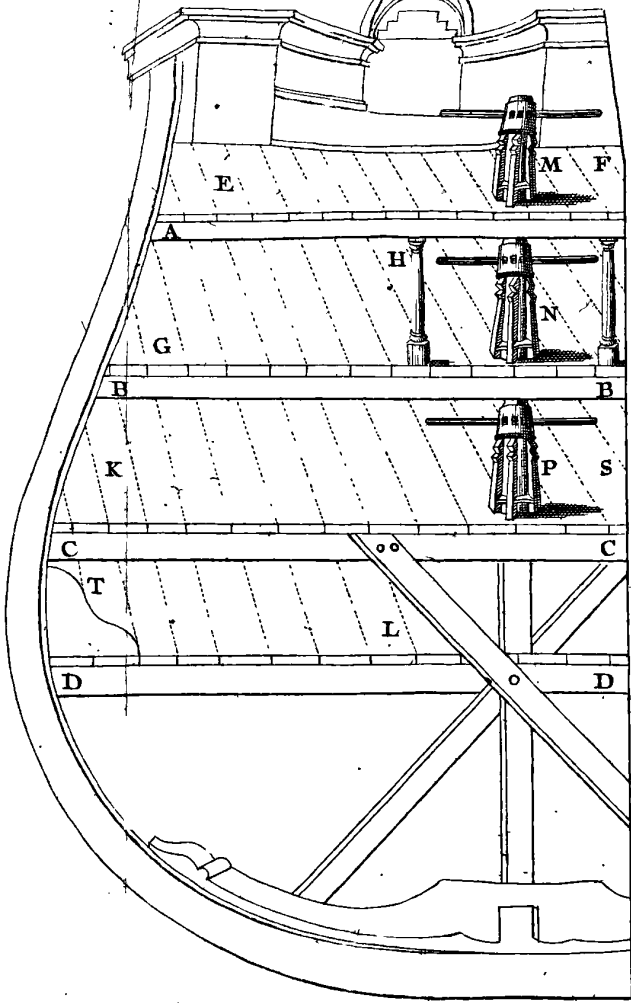


Fig. 2.

Fig. 1.





à dents *C* du cylindre inférieur, ce qui permettroit au supérieur de virer seul. Je n'insisterai point sur les autres avantages qu'on peut retirer des Cabestans composés, puisque ceux qui en ont déjà proposé l'usage, sont entrés dans ce détail.

§. XLII. J'ajouterai encore qu'ayant communiqué ces deux manieres de lever l'ancre à des personnes qui joignent à une grande pratique une connoissance de la Théorie assez étendue ; on les a trouvées très-avantageuses & très-aisément praticables. La seule chose qu'on appréhendoit, étoit que le cable sur lequel mes Cabestans agissent immédiatement, ne s'usât trop tôt. C'est pourquoi on m'a conseillé d'appliquer plutôt la Tournevire que le cable même sur mes deux Cabestans, principalement sur le dernier, en m'assurant qu'ils rendroient malgré l'usage de la Tournevire, des services très-considérables, puisque le plus grand inconvénient dans la méthode vulgaire, vient de la nécessité de choquer. J'ai tâché, comme on l'a vû, d'empêcher autant qu'il est possible que le cable ne souffrît aucun dommage. Cependant si malgré toutes mes précautions cela arrivoit par quelque cause que je n'ai pû prévoir, je ferois d'avis de conserver la Tournevire sur laquelle le Cabestan agiroit, comme il devoit, selon mes idées, agir sur le cable ; & ce seroit-là le seul changement qu'il y auroit à faire à mon projet.

*F I N.*

**DE**

D E  
ERGATÆ NAVALIS  
PRÆSTABILIORE,  
FACILIOREQUE USU,  
DISSERTATIO.

*Hæc Dissertatio una est ex quatuor quæ præmium  
duplex meruerunt.*

---

*Arte citæ, veloque rates, remoque reguntur.* Ovid. Art. I.

Auctore JOANNE POLENO, Mathematico Professore Patavino,  
Regiæ Scient. Acad. Regiæque Soc. Londinensis Socio.

*Prix.* 1741:

M







D E

# ERGATÆ NAVALIS

PRÆSTABILIORE,

FACILIOREQUE USU;

DISSERTATIO.

---

*Arte cita, veloque rates, remoque reguntur.* Ovid. Art. I.

---

I.

CUM magni momenti ea omnia Problemata sint, quæ ad perficiendam nauticam pertinent artem; tum verò ea, quorum enodatio non tantùm rei navali, sed etiam usibus aliis pluribus utilitatem afferre queunt, majoris quidem momenti reputanda esse videntur. Investigationes autem, quæ spectant ad Ergatæ usum meliorem efficiendum, jure optimo inter hæc momenti majoris Problemata numerari oportere, is unus non noverit, qui in omnium artificiorum ab Mechanica proficiscentium summa ignorantia versetur. Problema verò, ab Illustrissima Scientiarum Regia Academia anno superiore propositum, hujusmodi est: *Quænam sit Ergatæ structura potior atque aptior ad eos cunctos usus, quibus Ergata adhibetur in navi.* At usus Ergatæ non est generis ejusdem ac (exempli gratiâ) Gubernaculi usus,

M ij

cùm hoc duntaxat regendæ & gubernandæ navi, illa verò tum in navi, tum quovis in loco locata, ponderibus trahendis infervire appositè queat. ]

## I I.

Et quamvis Academici, pro eximia sua perspicacitate atque doctrina, illud rectè admonuerint; quòd *in navi Ergata & simplex, & solida, & prompti expeditique usûs capax, & ubi tractetur, expers impedimentorum omnium ac implicationum, & tuta à quocunque fortuito casu esse debeat; quippe quæ, dum adhibetur in navi, conditionis sit longè diversæ atque est dum adhibetur in terrestri loco, ubi neque commoda, neque tempus medendi pro lubitu eventibus inopinatis deesse profectò possunt: nihilo tamen minùs, quis non videat, Ergatam simplicem, solidam, capacem prompti expeditique usûs, vel in terrestri loco persæpe futuram esse utiliores? Et hoc quoque nomine commendationem profectò merentur Academici ob propositum præstans id Problema, cujus multiplex esse potest utilitas; quamobrem non una de causa juvat periclitari quid operâ meâ, qualicumque, in ipsum conferri queat. Id verò tentans, ideas rerum propositarum composui diligenter cum formis rerum illarum, quas mihi in Ergatæ usibus atque effectibus aliquando contingit observare. Atque ita cogitavi de eo artificio, quod in medium ponam, cùm propositi Problematis conditionibus satisfacere posse videatur. Id autem non tulit, ut ad analyticos calculos, qui doctis jam noti fuissent, adduceretur, contentum demonstrari expositionibus certis atque experimentis. At si ad ejusdem artificii descriptionem non accedam nisi postquam plura scripsero; neque ad rem, cujus gratiâ dissertatio hæc est exarata, aggrediar, nisi ubi ad articulum XXX. ventum sit; dabitur, ut spero, venia mihi id agenti, ut rei naturâ prius definitâ, expositâ, & illustratâ, deinde propositionem meam possem aptius suo in lumine collocare.*

## III.

Sed, ut de Problemate ipso dicamus, id non modò anno superiore, verùm etiam anno 1737. edito Programmate, fuerat enunciatum. Quandoquidem Regia Academia à viris doctrinâ instructis, & rei nauticæ expertissimis, certior facta fuerat, in usu Ergatæ, funem, quo pondera elevanda sunt, aut trahenda, ita circum axem Ergatæ circumvolvi, ut quavis sua circumvolutione tantum descendat, quantum ejus fert crassitudo: sic fieri, ut post plures circumvolutiones ad imam axis Ergatæ partem funis perveniat: itaque tunc eum ad superiorem axis ejusdem partem, haud levi molimine, gravique temporis, ac sæpe etiam laboris priùs impensi, jacturâ, esse revehendum: hinc verò rei nauticæ perniciofa incommoda pervenire, quæ tum ejusdem rei peritis nota sunt, tum ipso in Programmate bene scitéque indicantur. Quibus incommodis remedium ut afferatur, propositum tunc ita fuit Problema: nimirum, *quænam Ergatæ aut alicujus aliâs machinæ æquivalentis potior sit constructio ad eos omnes usus, quibus applicanda sint in navi illiusmodi instrumenta; præsertim verò ad evitanda incommoda illa, de quibus suprâ dictum est.*

## IV.

Quæ cùm ita sint, ut in duobus articulis superioribus commemoratum est, facilè liquet, rei propositæ summam eò adduci, ut Ergata, vel æquivalens machina, formetur, simplex, solida, & capax prompti expeditique usûs in navî, necnon expers impedimentorum omnium ac implicationum, præsertim verò immunis ab incommodis iis, quæ à descensu partium funis circumvoluti circum ipsius Ergatæ axem proficiscuntur. Itaque pro simplici & solidâ requisitâ machinâ inveniendum est ejusmodi artificium, quod spectantibus ( utcunque fuerit de latente inventionis difficultate ) facile atque obvium videri queat.

M iij

## V.

Nunc, Problemate proposito, cùm ad quæsitam constructionem aggrediendum sit, placet antè definitiones nonnullas tradere, ut vel in opusculo hoc appareat quid res illæ sint, de quibus agitur.

## V I.

Pons (*Pont*) est tabulatum, quo consternuntur naves, & conteguntur: antiquitùs inventi fuere navium Pontes, ut in eis stare possent navium propugnatores. Hujusmodi Pontes idem esse videntur, ac navium partes illæ, quæ (voce è græcis fontibus derivatâ) *catastromata* dicebantur; quibus instructæ naves vocabantur *constratæ*, carentibus verò iisdem *apertæ* nuncupabantur. Si fingamus, navim esse transversim plano sectam, erunt (*Fig. I.*) *AA, BB, CC, DD*, sectiones trabium transversarum (*baux des Ponts*) colligantium navis latera, & Pontes sustentium. Concipi autem poterit, Pontes, seu Tabulata, esse *EF, GH, KS, TL*. Postquam æneis tormentis instrui cœperunt naves, & magnitudine augeri, pluribus etiam Pontibus cavitates earundem distinctæ fuere.

*Fig. I.*

## V I I.

*Fig. 2.* Ergata (*Cabestan*) *ABCD* (*Fig. 2.*) est Machina tractoria, lignea, ferreis laminis plerumque cincta & munita, figuræ fere cylindricæ, quæ ad perpendicularum ponti *SP* navis imposita, vectibus in gyrum agitur, ut circumvolvatur circum ipsam funis ductarius, quo pondus aliquod vel trahitur, vel elevatur. Cùm navis constrata est pluribus pontibus, Ergatæ inferior pars *ECDF* inter unum alterumque pontem locata, Machinæ addit consistentiæ vim; modumque præstat, ut duobus in locis, nimirum & supra pontem *SP*, & infra pontem eundem una Ergata verti queat: (eadem pars *ECDF* locari potest inter pontem &

carinam.) Immo, si plures sint pontes, una Ergata quodammodo triplex, quod attinet ad usum, evadere potest; ut videre est in tribus (Fig. 1.) Ergatæ partibus *M, N, P.* Fig. 1.

V I I I.

Ergatæ caput (*la tête du Cabestan*) est pars Ergatæ (Fig. 2.) *AGHB* suprema & paullo crassior. Fig. 2.

I X.

Vectes, qui à nonnullis etiam scytaalæ, vel collopes, dicuntur (*Leviers, vel Barres du Cabestan*) sunt paxilli, Ergatæ applicati, qui hominum brachiis urgentur, atque ita Ergata in gyrum agitur. Ergatæ *ABCD* unus vectis est *R X.*

X.

Foramina (*Trous*) in quæ inferuntur vectes, in figura indicantur literis *e.*

X I.

Ergatæ caput Anglici artificii (*Tête à l'Angloise du Cabestan*) ita construitur, ut omnium vectium axes in eodem horizontali plano sint. *R, X* (Fig. 3.) sunt vectes; *cc* sunt Claviculi (*Chevilles*) quibus detinentur funes alligati ad vectium extremitates. *DD* sunt duplicati Funes (*Bricoles*) qui prehendi manibus possunt ad juvandum Ergatæ circumvolutionem. *F* est Foramen, in quod inferitur ferrum quadratum, extans in Ergatæ suprema parte, si Ergatæ caput seorsim ab Ergata sit constructum. Fig. 3.

X I I.

Axis (*Essieu*) Ergatæ est truncus Machinæ, qui interceptur inter infimam capitis Ergatæ partem *GH*, & pontem *SP.*

## X I I I.

Costæ (*Taquets*) in Ergata sunt asseres *K, K, K*, in crenas, quæ in axe secundum ejus longitudinem excavantur, firmiter inserti: circum eos (si eis instructa sit Ergata) circumvolvitur funis dum Ergata in gyrum agitur. Plerumque in toto Ergatæ ambitu sex sunt; numquam verò plures, quàm octo. Infimæ eorundem partes stabiliuntur asserculis *a, a*.

## X I V.

Pessuli (*Elinguets*) sunt duæ virgæ *nt, ds* lignæ, solidæ, quæ extremitate unâ pertingunt usque ad axem Ergatæ. Altera verò extremitas earundem, ope teretis ferrei clavicali, laxè conjungitur cum retinaculo (*Taquet*) *P*. Adhibentur Pessuli ut impediatur Ergata, ne revolvatur in gyrum contrarium ei, secundum quem & ipsa volvitur, & circum ipsam circumvolvitur funis.

## X V.

Axiculus ferreus (*Pivot*) quo instruuntur pleræque Ergatæ, est infimus mucro *u*, qui faciliores reddit Ergatæ gyros. Scutula (*Ecuelle*) est lamina ferrea concava, super quam ferreus axiculus in gyrum vertitur.

## X V I.

Sucula (*Moulinet*) est ipsa quoque, ut Ergata, Machina tractorii generis. Formatur ligno cylindraceæ figuræ (*Fig. 4.*) *a A B b*, per cujus extremitates trajiciuntur vectes *cp, de, fg, mn*, quibus Sucula ipsa versatur; atque ita circum eam obvolvitur ductarius funis, quo pondus aliquod vel trahitur, vel elevatur. Uno verbo, similis est Ergatæ, non ad perpendicularum, sed positione parallela ad finitorem constitutæ.

*Fig. 4.*

## XVII

## XVII.

Atque hæc quidem pertinebant ad rerum illarum, de quibus agere oportet, definitiones; nunc ipsum ad institutum pergamus. Et cum tertio in articulo observaverimus, in Programmate proponi, *Ergatæ, aut alicujus aliûs Machinæ æquivalentis constructionem*, profectò intererit quænam ad usus propositos simplex Machina potior utiliorque esse possit. Porrò septem simplices Machinæ à plerisque hodie numerantur: Planum inclinatum (*le Plan incliné*), Cuneus (*le Coin*), Trochlea (*la Poulie*), Cochlea (*la Vis*), Libra (*la Balance*), Vectis (*le Levier*), Axis in Peritrochio (*le Vindas*).

## XVIII.

At Planum inclinatum, & Cuneum si consideremus, intelligemus faciliè, iis nos uti in re nostra minimè posse: quamobrem plura de iisdem hîc dicere, nihil attinet.

## XIX.

Trochlea seorsim, ac (ut aiunt) per se, instituti nostri usui aptari non potest: licet, quando ponderi dimovendo vel impar Ergatæ, vel Ergatæ applicata vis debilior est, actio multiplicium Trochlearum cum Ergatæ actione conspirans (ut anchoræ vel alia pondera faciliùs trahantur) non funis (*Fig. 5.*) *ABCD*, ducti circum Trochleas *e, u, n, s*, *Fig. 5.* extremitas *A* si applicetur ad Ergatam, annulus autem *E* capsulæ, quæ etiam rechamus dici posse videtur, Trochlearum *s, u* solidè firmetur in navis ponte, ut nullo modo moveri queat; tum verò nectatur unco *F* alterius rechami funis trahendus, fiet quidem, ut versione Ergatæ, trahendus funis multò fortiùs trahatur: quod tamen artificium tam utile, quàm notum, fane potest reputari.

## X X.

*Fig. 3.* Quod ad Cochleam atinet, Machina hæc haudquaquam videtur præstare posse singularem usum ad eum finem, quo nostra refertur inquisitio. Cogitaveram quidem olim de specie quadam Ergatæ, pertingentis usque ad imam carinam, cujus Ergatæ dimidia superior pars (hoc est axis) esset octogona; inferior verò pars formam Cochleæ obtineret; instruereturque capite anglici artificii, habente foramen *F* (*Fig. 3.*) octogonâ figurâ suâ respondens axi; quod caput pro ascensu & descensu, dum axis circumageretur, mobile esset. Quâ structurâ fieri posset, ut axis ille, singulis Ergatæ circumvolutionibus, aliquantum ascenderet; sicque aptè perficerentur circum axem eundem plures (quàm circum consuetas Ergatas) gyri funis ductarii antequàm is ad imum, ubi circumvolvi amplius nequit, pertingeret. Sed molimen hoc bonâ quidem fruge, verùm spinâ etiam aliquâ esse refertum, faciliè perspiciebam.

## X X I.

*Fig. 6.* Quamobrem de Cochlea id unum adjiciam, quòd ea ita possit aprari, ut (casu aliquo) secundariam quodammodo præstet, haud inutilem, opem; nimirum modo hoc: Cochleæ cylindrus (*Fig. 6.*) *ABC* ita ponatur, ut jaceat supra supremum navis pontem, & huic eidem ponti solidissimè affigantur ansæ *E, F* Cochleæ conjugatæ *D* habentis helices cavas. Cylindri *ABC* caput *C* instructum sit vectibus *bg, ds*, qui per crenam, in ponte incisam, liberrimè circumvolvi queant. Iisdem vectibus cylindrus (non secus atque vertitur fucula) vertetur in gyrum. Alteri verò cylindri extremitati *tn* adnexus validè sit validus ferreus uncus *qG*, in copulatione sua cum cylindri extremitate, volubilis; ut artificio aliquo (putà laminâ *nn* radente pontem) detineatur, ne agatur in gyrum dum circumvolvetur cylin-



drus : atque huic eidem unco funis *qae*, ad pondus trahendum destinatus, arctè sit connexus. Manifestum est, conversione cylindri futurum, ut, magna vi, funis, unà cum pondere funi conjuncto, trahatur. Sed hæc indicavisse sufficiet. Nunc de reliquis simplicibus Machinis dicamus.

## X X I I.

Quæ reliquæ Machinæ sunt tres ; Libra , Vectis , & Axis in peritrochio. Libra refertur ad Vectem : Vectis autem , pro re nostra , est membrum veluti princeps , seu præstantissima pars tum Ergatæ , tum Suculæ : quibus in Machinis extat Vectis , agítque eodem profus modo , ac illo in Axe. At eum modum , quo Axi in peritrochio vectis aptatur , quo agit , quo vires moventes adauget , adeo cognoscunt docti omnes ad unum ; ut , si vectis naturam usúmque Geometricâ ratione hîc velim explicare , videri hercle possim , uti explicationibus non necessariis in re nimis nota : quamobrem plura de vecte & de libra minimè congeram.

## X X I I I.

Itaque , cùm exhaustionum methodo usi quodammodo simus , ac , de septem simplicibus Machinis , sex ad præcipuum instituti nostri finem adhiberi non posse cognoverimus , restat duntaxat , ut de septimâ pertractemus ; nempe de Axe in peritrochio : qui si ad perpendicularum ponatur , Ergata , si parallelus ad finitorem , Sucula nominari consuevit. Nunc itaque dispiciendum sedulò est , num rei nostræ Ergata , an verò Sucula , conducibilior esse videatur.

## X X I V.

Si quis autem hoc loco antiqua monumenta , vel Priscorum usus ad rem hanc illustrandam definiendamque facere posse , censeret ; & sic quæreret : quænam olim erat Machi-

N ij

narum earundem constructio? utrum magis Ergatam, Suculânne adhiberent antiqui? respondebo, plura quidem superesse variarum rerum vetera monumenta; mihi tamen diligenter perquirenti non contigisse ullam uspiam Ergatæ vel Suculæ antiquæ imaginem reperire, ex qua de eorundem organorum antiqua genuina structura eruditior fierem. Tum dicam, ab iis, qui ΖΥΓΟΝ pro Ergata, ΟΝΟΝ pro Sucula, in Aristotelis *Mechanica* (*Art. 14.*) interpretantur, utramque Machinam ab Aristotele nominatam fuisse decerni. At ego cum doctissimo viro Henrico Monantholio Gallo faciliè sentiam, qui (*in Commentariis ad Arist. Mechanicam*, edit. Parisiis 1599. pag. 119.) *quid*, ait, ζυγόν Ergata differat à Sucula, ὄνοον Græci vocant, & scytalæ primum genus, parum video, nisi fulcris, aut crassitudine. De quo Henrico cum inciderit mentio, obiter animadvertam, eum jam seculo decimo sexto, primum demonstravisse (pag. 30. citati operis) ab unoquoque mobili viribus conjunctis diagonalem parallelogrammi describi eodem tempore, quo latera separatis describerentur; hòcque Theorema (quod hícce temporibus, maxima cum utilitate in *Mechanicis* sapissime adhibetur) observat idem Henricus, propositum fuisse à Proclo (*Comment. in primum Euclidis librum*, edit. 1590. pag. 61.) qui tamen illud Theorema Gemino refert acceptum. Sed, ut ad rem nostram revertamur, Ergatæ mentio in Vitruvii libris (lib. I. cap. 1. lib. X. cap. 4. 5. 16. 22.) reperitur; nulla tamen ejusdem descriptio in iisdem libris uspiam apparet. De Axe autem in peritrochio ita, ut quæ de forma hujus dicuntur, etiam de Suculæ forma haud dubiè intelligi queant, diligentius egit Pappus (*in Mathematicis Collectionibus* lib. VIII.) Sed tamen neque ex Pappo, neque ex antiquo ullo alio scriptore notum quidquam nobis fieri potest, quod ad quæstionem nostram ulla ratione pertineat.

## XXV.

At, si antiquos Machinarum usus scrutando, cognoscere id non possumus, quod in quæstione versatur; hodierni usus pertinentes ad rem nostram planè sunt perspiciendi. Porrò nunc Suculam Nautici minoribus in navibus adhibent ut malos erigant, ut antennas attollant, ut sublevant mediocra pondera ad onerandas naves, vel ad exonerandas: vidi etiam aliquando Suculis, super proras navicularum apratis, anchoras, quibus eadem naviculæ detinebantur, commodè tolli. Quæ cum ita sint, facile liquet, Suculam (per se, hoc est, nullis instrumentis adjunctam) non adhiberi ad eos usus, qui vires ingentes requirant. Quod si de augendis Suculæ viribus ageretur, ego proponerem; ut ejus partes (*Fig. 7.*) *EF*, y *D* extra tympanum *AB*, longiores fierent; neque geminis tantum (quemadmodum in *Fig. 4.* videre est) sed pluribus vectibus instruerentur: putà, extremitas (*Fig. 7.*) *y D* adornaretur vectibus octo *ap, ur, nx, mz, bg, df, se, tc*; idèmq; fieret altera in extremitate *EF*: atque ita plures vel pauciores, variis modis, pro re natâ, vectes Suculis imponerentur; quamobrem plures homines cum ad eas vertendas possent applicari, earundem etiam adaugerentur vires. Id autem non propono eò, quòd non facilem rem existimem, sed quòd eam me uspiam vidisse non meminerim.

*Fig. 7.**Fig. 4.**Fig. 7.*

## XXVI.

Ac de usibus quidem Suculæ fati diximus; reliquum modò est, ut de usibus Ergatæ dicamus. Quæ omnia præstare minoribus in navibus Suculæ possunt mediocribus viribus suis, eadem præstare possunt etiam Ergatæ: hæ verò, multò valentioribus viribus præditæ, insuper utilissimè adhibentur majoribus etiam in navibus ad eos usus, qui ingentes vires desiderant; nempe ad magnos erigendos malos, ad gra-

N iij

vissimas attollendas antennas , ad prægrandia pondera , in onerandis , vel exonerandis navibus , sublevanda , ad anchoras tollendas , ut ut anchoræ vel maximi ponderis sint , vel infertæ & intricatæ in faxorum cavitatibus , vel tenaciter ab valida argilla detentæ. Ergatis præterea naves trahuntur contra aquarum cursus , necnon adducuntur in sicca loca , vel inclinantur in latus , si refarciendæ sint , aut pice illinendæ Ex hodierno igitur usu ita statuendum esse videtur : Ergatæ in re navali , multò frequentiori præstantiorique usui sunt , quàm Suculæ,

## XXVII.

Sed , præter usum hodiernum , videndum etiam est ; cuinam ex duabus illis machinis homines reverà possint validiùs & utiliùs suam actionem motumque suum applicare. Philippus *de la Hire* , quâ pollebat doctrinâ , primus fuit , qui ( *Memoires de l' Acad. Roy. Ann. 1699. edit. Paris. pag. 153.* ) genuinæ *Mechanices* lumen attulerit examini virium hominum , brutorumque ; deinde *Jo. Theophilus Desaguliers* ( *A Course of Experimental Philosophy Lect. IV.* ) & illa retulit ( pag. 267. ) à Philippo prolata , & quædam alia ingeniosè adjecit. Quæ cuncta cùm legissem , & essem cogitatione complexus , constitui , exemplum optimum sequi , & in experimentis rem cernere. Tres homines , satis robustos ( ut visum est ) paribusque viribus præditos , & æqualis staturæ , selegi. Curavi , ut staterâ explorarentur numeri librarum , quas singuli penderent ; tum tres illos inventos numeros in unam summam collegi ; quæ in tres divisa partes numerum medium gravitatis ( ex calculo ) tribuendæ unicuique eorum hominum demonstravit ; isque fuit librarum 135. Homines illi ( *Fig. 8.* ) unus post alium , applicati fuere ad trahendum pondus *P* ( hujusmodi pondera , additione & detractione variorum ponderum , rei perficiendæ accommodari , etiam me silente , notissimum est ) ope funis *a c b* impositæ super trochleam *T* , quatuor pedibus altiorem hominis capite. Quilibet eorum ( cùm quilibet in efficiendo

*Fig. 8.*

Fig. 5.

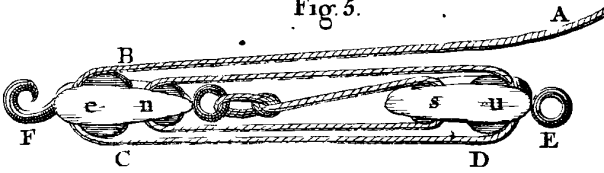


Fig. 6.

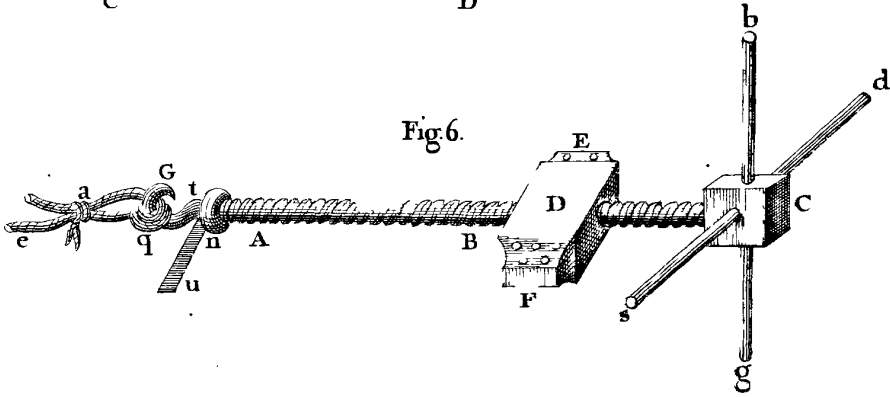


Fig. 7.

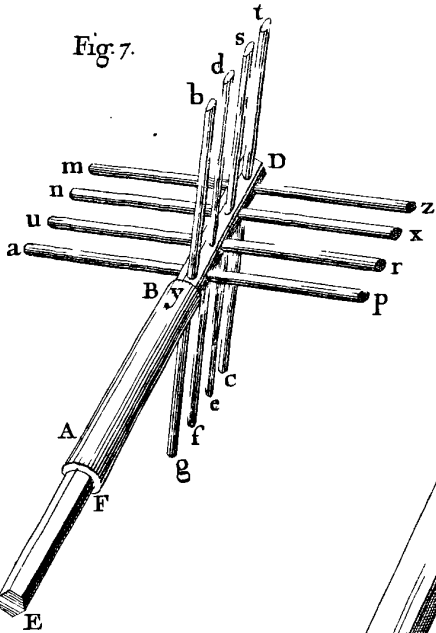
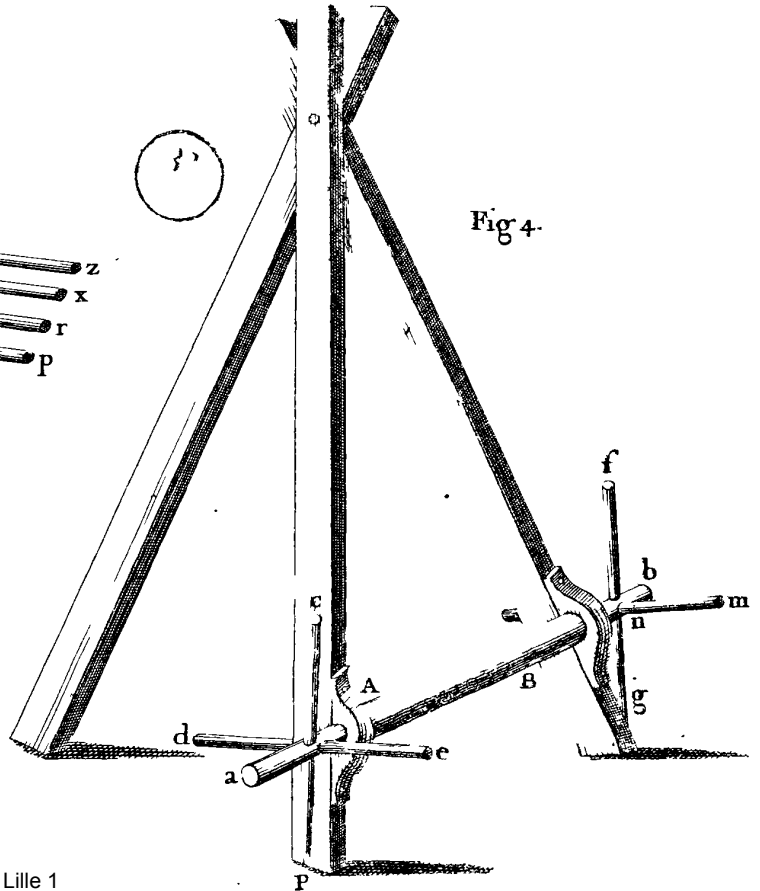


Fig. 4.





experimento fuit) trahendo manibus lignum  $ge$ , cui connecta erat extremitas  $b$  funis, corpus suum  $AB$  quodammodo suspensum extremitati illi ita detinuit, ut tantum extremis pedum digitis pavementum contingeret: nimirum, corporis cujusque  $AB$  ea positio atque accommodatio fuit, quæ omnium aptissima est, ut homo tracturus Súcule vectem, maximam, cujus capax sit, vim possit exercere. Atque noster casus fermè cum illo consentit, quem Philippus *de la Hire* ( pag. 154. Art. V. ) est persecutus: vixque differt ab eo casu, quo, trochleâ gerente vicem bilancis brachiorum æqualium, homo pensilis æquilibrium efficeret cum pensili pondere  $P$ . Instituta autem pluribus experimentis, inveni, numerum medium experimentem vires ( cognitæ ex æquilibrio cum corpore  $P$ , pendente libras 130. ) quas unus ex illis hominibus ita positus, ut est demonstratum, potuit exercere, fuisse 130. librarum. Deinde verò experimentum aliud institui. Tres illos homines, unus item post alium, applicati fuere ad urgendum Ergatæ vectem ( *Fig. 9.* )  $dq$ , cui alligata erat inter duas hominis manus  $m, n$ , ( stringentes vectem, ) extremitas  $z$  funis  $z u t$ , ejusdemque funis alteri extremitati  $t$  appensum erat pondus  $G$ . Funis sustentabatur ab trochlea  $M$ , constituta in ea supra pavementum altitudine, ut ejusdem pars  $z u$  esset ad horizontem parallela. Quilibet eorum ( cum quilibet in efficiendo experimento fuit ) urgendo manibus vectem  $dq$ , corpus suum  $DE$  sic aptabat, ut & gravitatis corporis inclinati portione, & actione muscutorum, vectem tantum urgeret, quantum maximè ab ipso fieri posset. Ex variis autem experimentis collegi, numerum medium experimentem vires ( indicatas ab æquilibrio cum pondere  $G$  prædito gravitate librarum 116. ) quas unus ex illis hominibus, agens ita ut expositum est, potest exercere, fuisse librarum 116. Hic autem animadvertam, in singulis experimentis eidem pavimento plano sed non lævigato, homines illos semper instituisse: in hoc enim tentaminum genere qui veritatem diligenter inquirat, etiam pavimenti rationem habeat, necesse est.

*Fig. 9.*

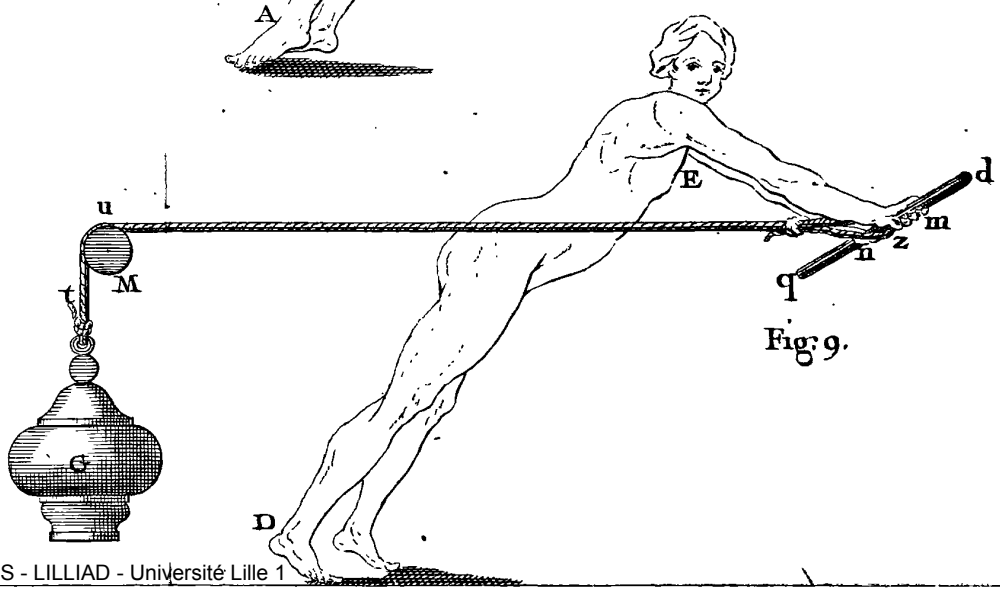
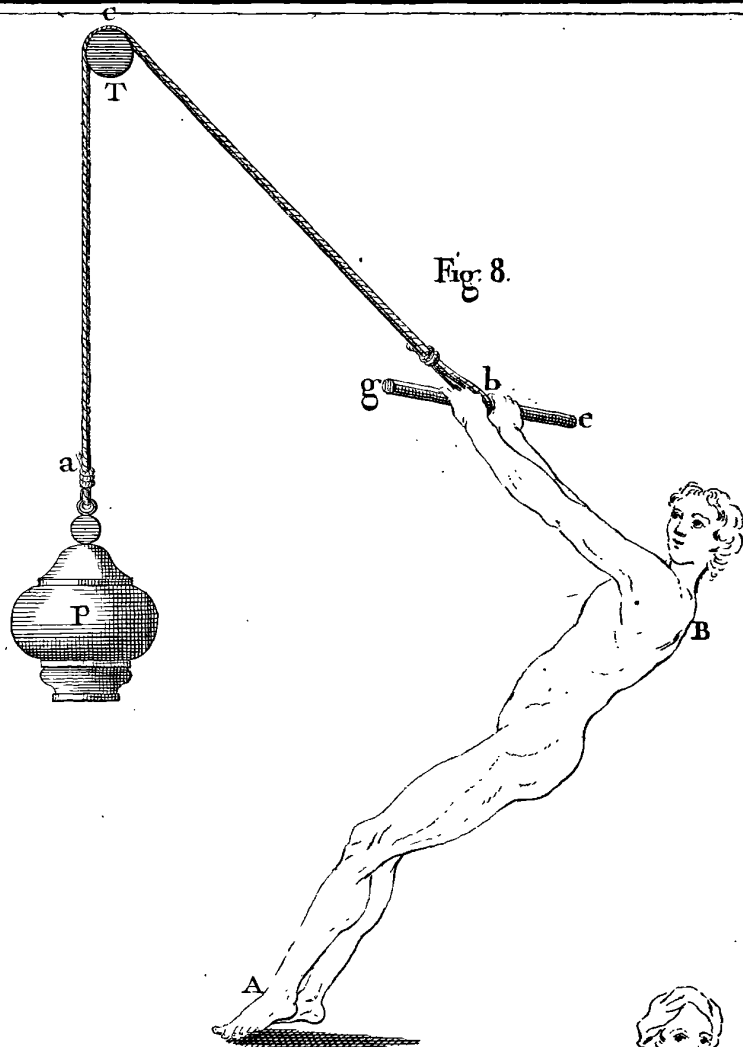
## XXVIII.

Quæ cùm ita sint, & hominis, urgentis vectem Ergatæ; vis librarum 116. possit reputari; librarum autem 130. vis hominis vectem Suculæ trahentis: applicatio illius ad Ergatam aliquantillo debilior applicatione hujus ad Suculam esse videtur. Nihilo tamen minùs (cùm differentia illa exigua sit) Ergatam quidem Suculæ præferemus, si reliqua, quæ sunt attendenda, attendamus. Scilicet, ad ciendam Ergatam actio hominum continua atque constans magis est, quàm ad Suculam torquendam; hujus enim dum descendunt vectes, magis mutari debent hominum positiones, ipsorumque vires trahentes imminui: tum verò ad illius vectes possunt homines accommodari aptiùs, quàm ad vectes hujus: prætereaque applicari appositè queunt, uno eodémque tempore; ad vertendam in gyrum Ergatam homines plures, quàm ad Suculam circumvolvendam: adde, præter partem gravitatis corporis hominis urgentis vectem, etiam ejus musculos extensores femoris, tibiæ & pedis, nec non alios, qui ad reliquos extendendos artus faciunt, mirè quidem juvare posse actionem impulsivæ vectium Ergatæ, non ita verò Suculæ tractionem. Illos autem musculos magnis viribus ab natura fuisse ditatos, jam olim Jo. Alphonfus Borellus in eximio Opere suo, *de Animalium Motu*, perspicuè indicavit.

## XXIX.

De quo præstanti alioquin Opere, quando necessaria hîc incidit mentio, liceat ab proposito tantillum divertere; & de germana virium muscutorum æstimatione pauca quædam proferre. Fui ego aliquando in eo, ut commemorati illius Operis res varias ordine novo componerem; & loco plurium propositionum à Borello traditarum, meliores quasdam alias substituerem, quas ad emendandum augendùmque Borelli Opus, viri summi, Petrus Varignonius, Joannes Bernoullius,







noullius, & alii, tradiderunt; nec non adhiberem observationes ac animadversiones, quibus Anatomici celeberrimi Jo. Benignus Winslovius, Jo. Bapt. Morgagnus, nonnullique alii, eidem doctrinæ illustre subsidium attulêre. Hac autem in re cùm versarer, negotium mihi facessit ea quæstio de duplo incremento virium muscutorum, quæ ex commemorati Operis capite decimo Part. I. profecta est. Borelli (lemma, seu) Propositio XXXI. est hujusmodi: *Si extremitas funis non ponderosi (Fig. 10.) A B, clavo C alligetur, & reliquum extremum ab pondere, vel ab aliqua potentia R trahatur, vis, quâ funis tractioni resistit, dupla est potentiæ trahentis.* Quod lemma, & alia quædam similia, Borellus ad integram (quam ibi quærebat) vim muscutorum definiendam applicavit; tum verò constituit, integram illam muscutorum vim esse duplo majorem eâ vi, quam paullo antè, pensitatis experimentis, mechanicisque principiis, ipse comparaverat. Itaque omni asseveratione affirmavit (Prop. XXXV.) muscoli, exempli gratiâ, Bicipitis vim sexcentarum librarum esse reputandam; quam tamen ipse prius, attentis tum principiis mechanicis, tum experimentis (Prop. XXXIV.) trecentarum definiverat; & ita porro. Hujusmodi autem duplicationem virium muscutorum reprohavit celeberrimus Richardus Meadius in præfatione sua præfixa alteri editioni *Myotomiæ Reformatæ* (Anglicè scriptæ) Guilielmi Cowperi; in qua præfatione muscutorum motus mathematicâ ratione explicantur. In ea (pag. VIII.) Borelli argumenta pro virium duplicatione dilucidè Meadius exponit; quæ tamen Borelli argumenta Meadio merus lusuf verborum esse videntur: *Nonne, Meadius ait, attentâ Borelli Prop. XXXI. (quam nos paullo antè suprà retulimus) ratione prorsus æquali, funem trahi, duntaxat à pondere R, dici posset; cùm, pondere R ablato, tractio quidem omnino cesset? Multa addit; ac ad extremum ita concludit; Qua ratione secundùm Borelli placita constituitur; funem ab uno pondere trahi æquè ac à duobus, eâdem planè ratione posset constitui, funem à duobus ponderibus non magis trahi, quàm ab uno: paucis dicam, clarissimus Meadius*

Prix. 1741.

O

Fig. 10.

pernegat, duplicationem illam in virium muscutorum affimationem esse inducendam. Hujusmodi igitur est quæstio: cujus ab una parte doctos quosdam viros stare, quosdam alios ab altera, haud semel percepi. Hæc ni dissolvatur, necesse est implicata remaneat tricus, atque prorsus impedita motûs animalium doctrina. Ego quidem, si quis alius, plurimi facio quæ duo illi præstantissimi viri Borellus & Meadius litteris tradidêre; fas tamen sit quid sentiam proponere. Uterque eorum agentem potentiam, ceu applicatam ad funis extremitatem consideravit; id tamen ego (ita fari liceat) similitudinem veri non habere existimo; & plane reor difficultatem omnem tolli haud dubiè posse, si funis quidem

*Fig. 11.* similitudo adhibearur, sed modo hoc: nimirum clavus (Fig. 11.) *C* representet os illud immobile, cum quo (non secus ac conjungitur funis *A* cum clavo *C*) conjunctus est tendo, seu caput musculi: extremitas verò *B* funis referat alium tendinem, seu caudam musculi, quæ it se insertum in os à quo pondus (putà *R*) est sublevandum. Deinde pono, mediam funis partem constare ex duobus funiculis *sxu*, *azn*, qui ita, ut in schemate videre est, trahantur ab potentiis *D*, & *E*; tum verò concipio ab ea figura *sxu*, *nza* representari (ut moris est) unam ex illis fibrarum cellulis, quæ ab fluido interno inflantur (& crescunt secundum lineam *xz*, sed contrahuntur secundum lineam *su*) inflantur, inquam, cum musculus acturus est. Itaque, si funem consideremus, manifestum plane fit, ab illiusmodi contractione funem *AB* reddi breviorum, pondusque *R* attolli à vi ad mediam funis partem, non ad infimam, applicata. Porro actio illa potentiarum *D* & *E*, si mente diligenter circumspiciatur, perspicuè apparebit, actionis ejusdem dimidium irritum reddi ab resistentia clavi *C* (sive immobilis ossis,) à reliqua autem vi pondus attolli (seu moveri mobile os.) Itaque reor, partem primam doctrinæ motûs animalium, hoc est, totius doctrinæ basim atque fundamentum, esse oportere Problema inserviens definiendæ ei quantitati vis, quæ, pro variis muscutorum actionibus, ne-

cessaria est ad varias fibrarum eorundem inflationes progignendas. Quæ vis si tanquam agens potentia applicata ( ope caudæ musculi ) ad vectem consideretur , si os movendum pro vecte habeatur , si ossis & adjuncti ad illud sublevandi corporis gravitas ceu resistentia reputetur ; sic demum facile , adhibitis mechanicis principiis atque experimentis , inveniri poterit germana ratio inter potentiam agentem , & resistentiam. Ut concludam , si universali quadam ratione , quantitas illius vis , qua inflantur musculorum fibræ , ita ut paullo antè diximus , constituatur sub initium investigationis virium musculorum ( non in progressu , quemadmodum à Borello factum fuit , ) tunc quidem minimè opus erit de virium duplicatione cogitare ; ac de eadem duplicatione quæstio , cæteroquin gravis & perdifficilis , sponte ( ut ita dicam ) suâ resolveretur , planè que evanescet. En igitur quæ de aptiore methodo æstimandi musculorum vires dicere habui , cùm de viribus iisdem pro re nostra jam inciderit mentio : sed ad eandem rem nostram revertor ; & ut nonnulli loqui amant , redeo è diverticulo in viam.

XXX.

Faciendæ itaque , ut mea fert propositio , Ergatæ ( secundùm apposita schemata ) hanc descriptionem do. *AB* ( Fig. 12. ) est pons navis supremus ; *CD* est pons alter sub illo , *EF* est Ergata , cujus inferior pars *GF* transit per convenientia foramina eorundem pontium. *nuea* est pars infima axis *EG* Ergatæ , attingens pontem *AB* , in figuram perfectè cylindraceutam formata : quam Ergatæ Basim , aut duntaxat Basim appellabimus. In hac est signata ambitu circuli *mtc* divisio , quâ Basis illa Ergatæ distinguitur in partes duas : harumque superioris *nmc* a tanta est altitudo *nm* , seu *ac* , quanta est diameter maximi nautici funis , hoc est , maximi anchoralis : partis verò inferioris *mu* , seu *ce* , altitudo est altitudine superioris partis pauxillo major.

Fig. 12.

O ij

## XXXI.

In inferiore hac Basis parte incisi sunt duodecim solidi obliqui dentes, de quibus præstabit nonnulla indicare in schemate aliquanto majore; exhibente dentium sectionem transverso plano factam. (Fig. 13.) *ssiss* sunt incisi illi dentes. *Actu*, *ma* sunt validi pessuli, volubiles circum teretes robustos clavos *u*, *a*. Eorundem pessulorum resistentiis vim addunt retinacula veluti quædam *q*, & *p*; his enim illi fulciuntur. Sunt autem *nc*, atque *ex* elastrâ, quæ ibi ita ponuntur, ut cùm Ergata circumvolvitur secundùm litteras *ABC*, & pessuli se se eximunt ab interstitiis inter dentes *i & i*, *i & s* excavatis, tum ab elastris cogantur iidem pessuli sese inferere denuo in vacua interstitia dextrorsum proxima; quo artificio id planè efficitur, ut illi pessuli urgeant semper detineantque ab una parte dentes: nimirum ne fieri possit, ut Ergata in gyrum rapiatur secundùm litteras *CBA*; hoc est in gyrum contrarium ei, secundùm quem circumvolvitur nauticus funis.

## XXXII.

*Fig. 12.* Totam illam Basim (Fig. 12.) *nuea* complectitur annulus (Fig. 14.) *FDEB*, cujus cavitatis diameter diametrum Basis vix excedit: nempe annuli cavitas tanta (nec hilo quidem major) esse debet, quanta sufficiat, ut intra ipsam, immobili permanente annulo, liberrimè circumvolvi queat Basis Ergatæ Eiusdem tamen annuli figuram (distinctioris apparentiæ gratiâ) pinximus paullò majorem, quàm Basis

*Fig. 12.* (Fig. 12.) *nuea* magnitudini conveniret. Altitudo annuli maxima (Fig. 14.) *Au* eadem est ac altitudo *nu*, seu *ae*, Basis: latitudo *tr* pauxillum excedit diametrum maximi nautici funis, hoc est (Fig. 12.) altitudinem *nm*, seu *ac*. Verùm ut faciliùs atque clariùs intelligatur quæ propositi annuli figura sit, mente concipi velim, cylindrum rectum (Fig. 15.) *FDEB*, cujus axis sit *ae*. Tum percipiatur, eum cy-

lindrum interiùs ita esse excavatum , ut internæ cavitatis superficies  $K G H R$  eadem sit ac superficies aliùs recti cylindri habentis illum ipsum axem  $ae$ . Præterea verò concipiatur , in exteriori superficie cylindri notata esse duo puncta ; alterum  $t$  in supremi circuli ambitu , alterum  $s$  , sub illo  $t$  , signatum ad eam distantiam  $ts$  , quæ æquet altitudinem (Fig. 12.)  $nm$  , seu  $ac$  , superioris partis Basis Ergatæ. Deinde comprehendatur (Fig. 15.) circum eandem exteriorem cylindri superficiem ab puncto  $t$  in gyrum usque ad punctum  $s$  descriptam esse lineam spiralem  $tngms$  ; ab cujus singulis punctis ductæ intelligantur ad axem  $ae$  rectæ lineæ , eidem axi perpendiculares ; ac demum intelligatur , sublatam esse cunctam solidam partem supra lineas illas existentem : atque ita facile percipietur , remanere annulum (Fig. 14.) cujus Fig. 14.suprema superficies  $ngm$  spiralis erit : ac à nobis deinceps ea superficies appellabitur annuli spira.

XXXIII.

Hoc eodem in annulo observanda etiam est lata scissura , seu crena ,  $p q$ . Hac formatur quidam ( ut ita dicam ) fornix , sub quo liberrimè moventur & illi Pessuli & Elastræ illa , de quibus paullo suprâ dictum est : scissuræ quatuor illiusmodi fieri possent. Ac demum videre est eâdem in figurâ quatuor veluti clavos  $x, x, c, z$  cylindræos , quorum superiores partes sunt arctè infixæ ( ad perpendiculum ) in annulum , & cum eodem firmissimè cohærent ; partes verò inferiores in quatuor foramina perforata superiore in Ponte ( cùm opus est ) ita inferi debent , ut annulus eidem Ponti adhærescat. Juvabit autem intervalla inter illos clavos esse prorsus æqualia , ut quater positio annuli mutari queat ( si cavitates , destinatæ excipiendis pessulis & elastris , elaboratæ sint eo artificio , quod modò indicatas mutationes permittat. ) Putà si extrahatur annulus , & denuò ita aptetur , ut in foramen illud , in quod priùs erat immissus clavus  $x$  , immittatur clavus  $c$ .

O iij

## XXXIV.

Postrema Ergatæ nostræ explicanda pars est Annulus  
*Fig. 16.* Parvus (*Fig. 16.*)  $z x$ , qui tornari eâ debet arte, ut ejus  
 labra,  $nmst$ ,  $ce$ , cavitati proxima, promineant supra re-  
 liquas ejus partes. Plures istiusmodi annuli adhiberi queunt  
*Fig. 12.* ad usum, de quo mox dicam.  $VF$  (*Fig. 12.*) est Ergatæ  
 nostræ Axiculus ferreus cylindraceæ figuræ, qui in Ergatæ  
 partem  $VG$  ita insertus, & cum ipsa externis ex eo nascenti-  
 bus laminis ita ligatus esse debet, ut nulla possit tractione  
 divelli. Inter pontem  $CD$  & clavum  $RM$  transfixum per  
 Axiculum  $VF$ , duo annulli parvi  $z x$ ,  $sr$ , Axiculo eidem  
 impositi sunt, qui & pontem, & clavum, & sese invicem,  
 contingunt duntaxat iis extremis labris, de quibus paullo  
 suprâ est commemoratum; & quod consequitur, in motu  
 eorum friciones (ut aiunt) exiguæ sunt. Addidimus autem  
 ejusmodi annulos parvos  $z x$ ,  $sr$ , & clavum  $RM$ , eâ de  
 causâ, ut Ergata in gyrum versa, si ab aliqua alia vi trahe-  
 retur sursum, vi illi sursum trahenti resistere posset, neque  
 hilum attolleretur; quod præsertim præstat clavus  $RM$ .  
 Annulli verò parvi  $z x$ ,  $sr$ , in re nostra id præsertim præ-  
 stant utilitatis, ut ab conatu sursum versum multò minùs læ-  
 datur motus in gyrum, quàm alioquin læderetur: nimirum  
 parvi illi annuli, adhæsiionem clavi  $RM$  cum ponte  $CD$   
 impediētes, faciliter motum in gyrum obsecundant. Loco  
 clavi  $RM$ , cochlea ambiens infimam Axiculi partem, vel  
 aliud aliquod artificium, quod æque ac clavus proposito  
 fini conduceret, adhiberi etiam posset.

## XXXV.

Atque hætenus exposita hæc de nostræ Ergatæ partibus  
 dicta sint: nunc de tota integrâque ejusdem Ergatæ confi-  
 titutione dicamus. Principio, quemadmodum suprâ posui-  
 mus in duodecima Figura ad Articulum trigessimum perti-



tantus est funis , qui superiùs liberat sese ab eodem axe : itaque sit , ut res semper uno eodémque constanti modo procedat. Neque res ampliùs in discrimen illud adducitur ; ut identidem sit religandus funis , ac susceptus tractionis labor sit abrumpendus ; neque enim res in periculo est , alioquin frequenter obveniente , cùm *funis post aliquot circumvolutiones ad imam partem axis Ergatæ perveniens necessariò ad superiorem axis ejusdem partem , haud levi molimine , graviq̃ue temporis , ac sæpe etiam laboris impensi jaçturâ , revehi debet ; neque ampliùs timenda incommoda inde rei nauticæ convenientia.* Porro hícce incommodis difficultatibúsq̃ue levare nauticam rem , finis ille est ( quemadmodum in Articulo tertio suprâ retulimus ) cujus causâ utile quidem fuit id proposita investigatione versari. Propositum autem à nobis artificium eam speciem habet , quâ ab inconvenientibus illis immune & æquabile semper adèò appareat , ut in ejus usu perinde esse videatur sive duæ funis ulnæ circumvolvendæ sint circum Ergatam , sive ulnæ sexcentæ.

## XXXVI.

Neque sane timendum est , ab ea funis super annuli spiram reptatione admodum difficiliorem reddi Ergatæ conversionem in gyrum. Animadvertatur , agi de motu super inclinatum spirale planum ; atque ideo reptantis funis resistantiam respectivam ( ut Mechanici aiunt ) ad resistantiam absolutam in ea esse ratione , quam habet ( Fig. 15. ) exigua linea  $ts$  ad integrum ambitum circuli  $tDEBt$ . Quamobrem respectiva illa , quæ exercetur resistantia , nonnisi exigua esse potest.

## XXXVII.

Non tamen ( quamvis potuisssem ) soli Mechanicæ theoreticæ acquievi ; placuit rem ipsam experientiâ tentare. Curavi fabrefieri Ergatam præditam iis partibus , quas paullo antè descripsi , & in figura decima septima conjunctim delineatas exhibui.

longueurs des lames, ce qui fait une très-belle propriété, & en même tems, bien utile pour notre sujet. Cette propriété nous donne une maniere de connoître exactement les abaiffemens infensibles  $gf$ , & nous enseigne en même tems, de quelle importance il est de ne pas faire des aiguilles trop longues, tant qu'on veut se tenir à la construction ordinaire des Bouffoles. Supposons, par exemple, que dans une aiguille de 4 pieds, on ait trouvé par une mesure réelle  $gf$  être d'une ligne, cette même  $gf$  ne sera plus que  $\frac{1}{25}$  partie d'une ligne, en donnant à l'aiguille la longueur d'un pied. Voilà donc déjà un moyen de connoître les inflexions infensibles des aiguilles. Mais comme cette maniere demande qu'on mesure d'abord ces inflexions dans une aiguille fort longue & toute pareille, quant aux autres circonstances, j'ai tâché d'éviter ce détour, & d'obtenir en même tems des inflexions plus grandes & beaucoup plus faciles à mesurer exactement, desquelles on puisse déduire pareillement les petites inflexions en question. Voici donc une autre maniere que j'ai déjà employée avec tout le succès que je pouvois espérer; dans des problèmes de mécanique beaucoup plus embarrassés; comme de connoître le nombre absolu d'oscillations des corps élastiques, les sons qu'ils donnent lorsqu'on les frappe, &c. Ces problèmes demandent avant toute chose, qu'on détermine au juste l'élasticité des corps sonores, après quoi j'ai toujours pû prédire exactement les sons différens qu'on peut en tirer en différentes manieres.

§. 33. Il faut affermir l'une des extrémités de l'aiguille dans la situation verticale, afin que son poids ne concoure point dans l'expérience à la plier. Soit donc  $AB$  (*Fig. 4.*) l'aiguille mise vericalement, dont la partie  $AD$  est bien ferrée & affermie; on attachera à l'autre extrémité le poids  $P$  par une ficelle, qui passe par-dessus la poulie  $E$ , de sorte que l'extrémité  $B$  soit tirée horisontalement: ce poids  $P$  pliera la partie  $DB$  en  $D b$ , & on pourra augmenter le poids jusqu'à ce que la distance du point  $B$  au point  $b$  puisse

D ij

nente, ita etiam hîc ( Fig. 17. )  $AB$  est pons navis supremus ;  $CD$  est pons alter sub illo ;  $EF$  est Ergata , cujus inferior pars transit per convenientia foramina pontium  $AB, CD$ . Super planum pontis  $AB$  constitutus est annulus  $TQH$ , & formatus & aptatus ipsi ponti  $AB$  eo modo , qui satis apparere potest ex Figura decima quarta , & ex articulis trigesimo secundo , ac trigesimo tertio ; atque ita idem annulus complectitur contegitque nostræ Ergatæ Basim. In situ autem indicato ab littera  $L$  locati sunt duo illi pessuli , quorum structuram in Figura decima tertia delineatam declarat Articulus trigessimus primus : urgent illi semper , detinentque ab una parte dentes Basis Ergatæ. Iidem verò pessuli sub fornice ad inferiores annuli partes excavato jacent , eo artificio positi , quod demonstratum jam fuit in decima quarta Figura spectante ad Articulum trigessimum tertium. Hoc itaque modo , arte hac , singulæ novæ illæ partes collocatæ aptatæque esse debent : nihilo tamen seciùs necessarium minimè est , ut actio hominum vertentium Ergatam , vel Ergatæ usus , novitate ullâ afficiantur. *Corpus trahendum* funi annexum est ad ejusdem funis partem  $P$  : ad alteram verò funis partem  $K$  applicatur *Vis retrahens* ; nimirum vis quâ homines manibus partem illam  $K$  funis ( dum circumvolvitur Ergata ) detinent , ut funis intermedia portio  $nmcbed$ , quæ circumvoluta est circum Ergatæ axem , huic adhærescens , motu eodem , quo cietur axis , ipsa quoque cietur. Ea verò intermedia funis portio quatuor contiguos gyros circum axem Ergatæ ita efficit , ut infimus gyros semper ubique contingat annuli spiram  $cmnu$ . Hæc spira id , quod quærebatur , præstat faciliè atque perfectè. Nam illi iidem funis gyri ab motu super acclivem spiram urgentur jugiter sursum , sempèrque versùs partes superiores feruntur ; attamen , quantum novi funis ( idque sedulò notandum est ) quantum , inquam , novi funis pro gyro infimo tangente annuli spiram  $cmnu$ , circumplicatur ; tantum funis gyri superioris  $deb$  evolvitur & explicatur ; nimirum quantus est funis , qui inferiùs sese circumvolvît circum axem Ergatæ ,

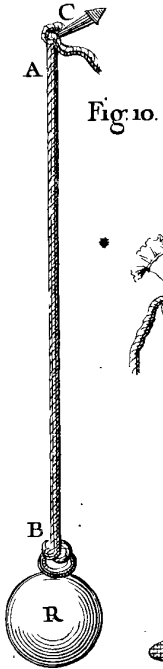


Fig. 10.

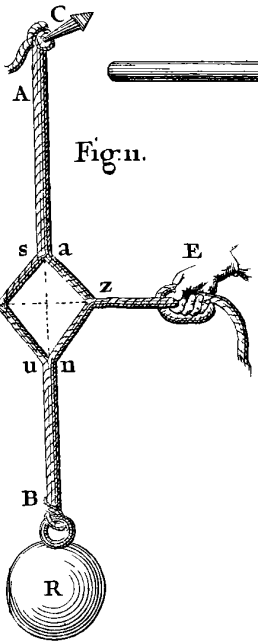


Fig. 11.

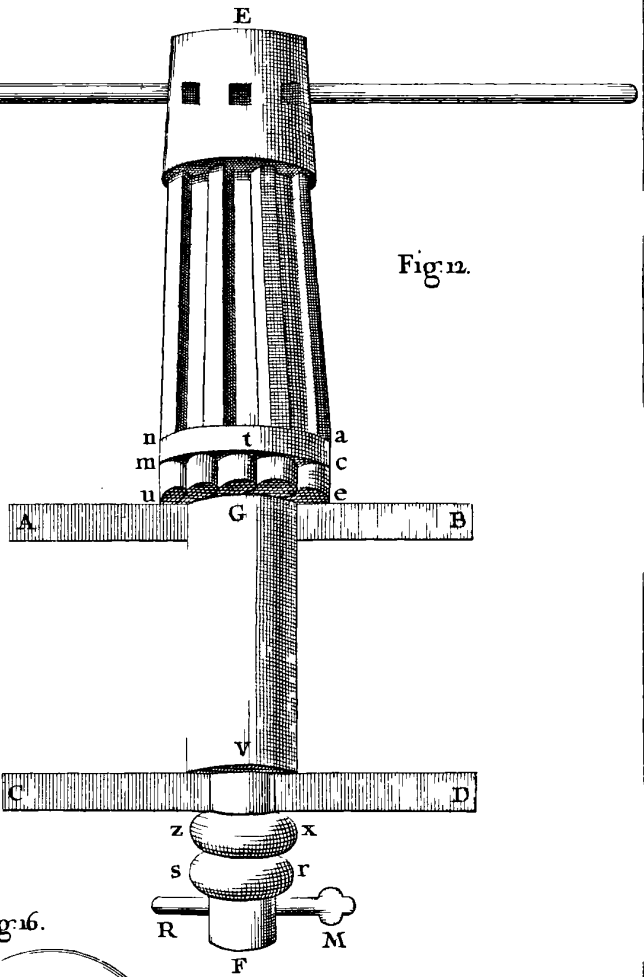


Fig. 12.

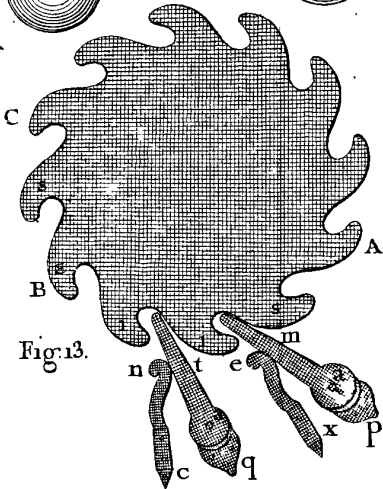


Fig. 13.

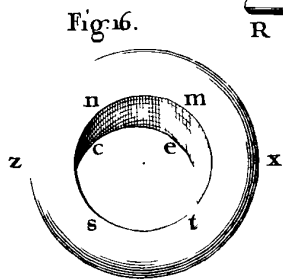


Fig. 16.

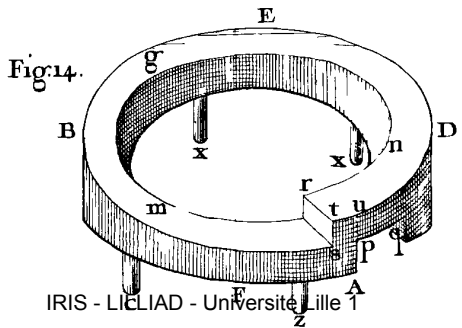


Fig. 14.

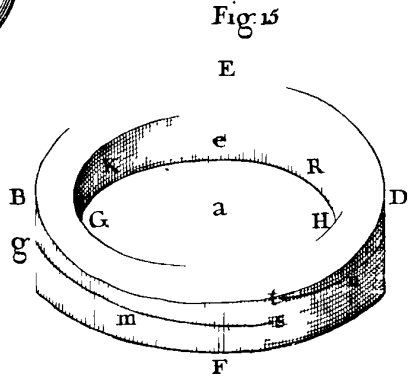


Fig. 15.



exhibui. Ergatæ hujusce diameter Basis erat pollicum duorum, & linearum sex; partis verò inferioris ( Fig. 18.) *G* diameter pollicem unum & lineas novem æquabat. Funiculum adhibui cannabinum, cujus diameter linearum duarum cum dimidia. Ad funis *NPV* (impositi super trochleam *S*) extremitatem *V* appendi pondus *A* librarum octuaginta, quod esset loco *Corporis trahendi*: & ad alterius partis *DKF* (impositæ super trochleam *H*) extremitatem *F* pondus *a* adnexui, librarum quinque, quod esset loco *Vis retrahentis*. Tum adhibito vecte *R X*, Ergatam in gyrum circumvolvi, & perspicuè observavi, motum funis æquabilem semper fuisse; & funem per Ergatæ axem neque ascendisse hilum, neque descendisse; sed post benè multos gyros fuisse eundem funem circum Ergatam in eodem omnino circumvolutionum statu, in quo positus fuerat cùm Ergata cœperat circumvolvi. Ac pluribus institutis experimentis, res semper eadem constanti ratione successit. Deinde verò capitibus *R*, & *X* vectis *R X* alligavi duos funiculos *bde, zqu*, transeuntes super trochleas *n, m*, impositas sustentaculis, quæ in gyrum circumvolvi ita poterant, ut funiculorum partes *bd, zq*, semper perpendiculares ad vectem *R X* remanerent. Pendebant ab illis funiculis pondera *B, & C*, ejus momenti, ut vix eorum tractionibus converteretur in gyrum Ergata, attollereturque pondus *A*. Post hæc, ablato annulo *gxt*, ut Ergata ab hodierna solita sua constitutione & forma non differret, repetii id experimentum, in quo ab ponderibus appensis ad extremitates funiculorum *bde, zqa*, circumvolvitur in gyrum Ergata, & inveni, pondera necessaria ad circumvolvendam solitam Ergatam, vix decimâ sextâ parte fuisse minora ponderibus necessariis ad circumvolvendam Ergatam nostram (cæteris Ergatæ partibus omnino immutatis) annulo instructam. Quæ cùm ita sint, satis vel ab experimentis liquere, opinor, ab spirali annulo tum id præstari, quod propositum fuerat, tum reddi paucissimis (ne dicam non computandis) partibus difficiliorem Ergatæ conversionem in gyrum.

*Prix.* 1741.

P

## XXXVIII.

At experimenta hæc ubi retuli, id animadvertam oportet; quòd non sim nescius, in arte & philosophia experimentalis cautè esse judicandum, si ab experimento rei parvæ de usu similis, sed magnæ, rei conjectura capienda sit. Nam contingit quidem aliquando, ut qui effectus in parvis machinis appositè egregièque succedunt, in prægrandibus similibus machinis itidem succedant, at contra etiam quædam aliquando fiunt minoribus machinis, quæ majoribus obtineri non possint. Quam rem vel priscis temporibus, ab Vitruvio tam scitè consideratam invenio, ut temperare mihi non possim, quin integrum ejus locum (desumptum ex lib. X. cap. ult.) huc afferam. *Non omnia, ille ait, eisdem rationibus agi possunt: sed sunt aliqua quæ exemplaribus non magnis, similiter magna facta habent effectus: alia autem exemplaria non possunt habere, sed per se constituuntur. Nonnulla verò sunt, quæ in exemplaribus videntur verisimilia, cum autem crescere cœperunt dilabuntur, ut etiam possumus hinc animum advertere. Terebratur terebrâ foramen semidigitale, sesquidigitale: si eadem ratione voluerimus palmare facere, non habet explicationem: semipedale autem, majusve, nec cogitandum quidem videtur omnino.* Utcumque autem de terebra sit, ad terebram nostrum haudquaquam pertinet experimentum. Pertinet profectò ad machinas illiusmodi, quæ varias etsi obtinent magnitudines, similes tamen semper progignunt effectus. Et hac non modò de causa, verum etiam propter experientias nonnullas alias, quas in majoribus machinis feci, mihi videor, me posse planè asseverare, ratione constare & experimentis propositam à me Ergatam præscripto usui aptè posse respondere.

## XXXIX.

Post hæc autem adjiciemus nonnulla, quasi mantissæ loco;

quibus Dissertationis hujusce finem faciemus. Et quidem primùm animadvertetur, quatuor illos funis gyros (Fig. 17.) *cmnb ed* satis omnino esse, ne grandis *Vis resistens* ad extremitatem *K* debeat applicari. Olim Guilielmus Amontoni-  
 nus, vir doctrinâ & rerum mechanicarum peritiâ clarissimus, fusè utilitèrque egit (*Mém. de l'Acad. Royal. an. 1699. pag. 206.*) de ratione supputandi rigorem & resistentiam funium circumvolutorum circum cylindros. At cum ille experimentum proposuerit, in quo sursum & deorsum cylindrus ipse movetur, fuit è re nostra novum aliud tentare experimentum, in quo è loco suo cylindrus minimè dimoveretur. Machinam fieri curavi, quæ in apposito schemate (Fig. 19.) est adumbrata. Funis circumvolvebatur circum cylindrum *AB*; cujus funis extremitas una *EF* imposita erat super trochleam *C*, altera verò *GH* super trochleam *D*. Modò funis uno gyro, modò duobus, modò tribus, & sic porrò, in variis experimentis circum cylindrum *AB* circumvolvebatur. Trochlearum pedes *etz, nsm*, per crenas excavatas in mensa, antrorsum & retrorsum trahi poterant & cochleis firmari prout variæ funis positiones requirebant. A funis extremitate *F* dependebat pondus *P* librarum octuaginta; extremitati autem *H* appendebatur variæ magnitudinis pondus *a*, hoc enim & majus & minus adhibebatur usque dum æquilibrium efficeret cum pondere *P*: nimirum, usque dum vis adhæisionis funis ad cylindrum & pondus *a* conjunctim æquilibrium facerent cum uno pondere *P*. Quoniam verò pondera *P* & *a* nota sunt, inde etiam vis illa adhæisionis ad cylindrum nota fieri facilè potest. Vecte *KL* detinebatur cylindrus, ne verteretur in gyrum. Namque, si cylindrus tractionem funis possit obsecundare, alteriùs generis enascitur experimentum. Specimen duntaxat (neglectis, cum specimen sit, unciis) paucorum tentaminum subjeci.

Fig. 17.

Fig. 19.



Diametri Cylindrorum.		Numeri Circumvo- lutionum Funium.	Pondus P Librarum.	Pondus a Librarum.
A Pollices.	B Lineæ.			
2.	5.	1.	80.	27.
2.	5.	2.	80.	14.
2.	5.	3.	80.	7.
2.	5.	4.	80.	4.
4.	10.	1.	80.	30.
4.	10.	2.	80.	17.
4.	10.	3.	80.	10.
4.	10.	4.	80.	5.

## X L.

Nunc, ubi de variis cylindrorum crassitiibus mentio facta est, re ipsâ admoner quidpiam de proportione partium Ergatæ posse hîc subindicari. Quidam sunt, qui Ergatæ mensuras ex ipsâ navis spinâ (*la quille*) mutuuntur. Ergatæ caput tam crassum faciunt, quanta maxima spinæ crassities est; axis in eum parte quartâ imminuunt: costarum crassitiem æquant quartæ parti diametri capitis: Ergatæ altitudinem pedum circiter quinque cum dimidio efficiunt. Alii alias rationes, sed ab hîsce modò traditis parùm abluentes, persequuntur. Porrò in re hac maximum pondus ab Ergatâ movendum (putâ navis, cui construenda Ergata destinatur, anchora maxima) debet attendi. Præsertim verò curandum sedulò est, ne quidpiam committatur, quod vel impediat aptissimam applicationem Nauticorum ad vectes, vel Mechanicæ legibus (ex quibus totius Ergatæ ratio promanat) adversetur. Nostrâ in Ergatâ altitudo Nauticis commodissima feligi potest: pauci enim funis gyri eam non

Fig:18.

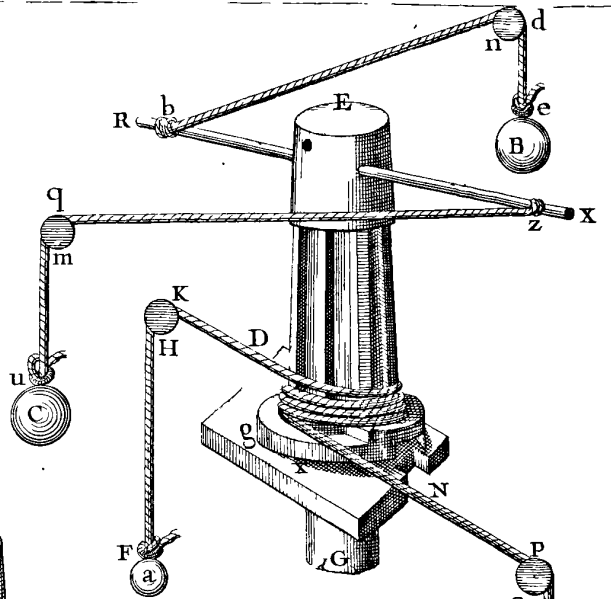
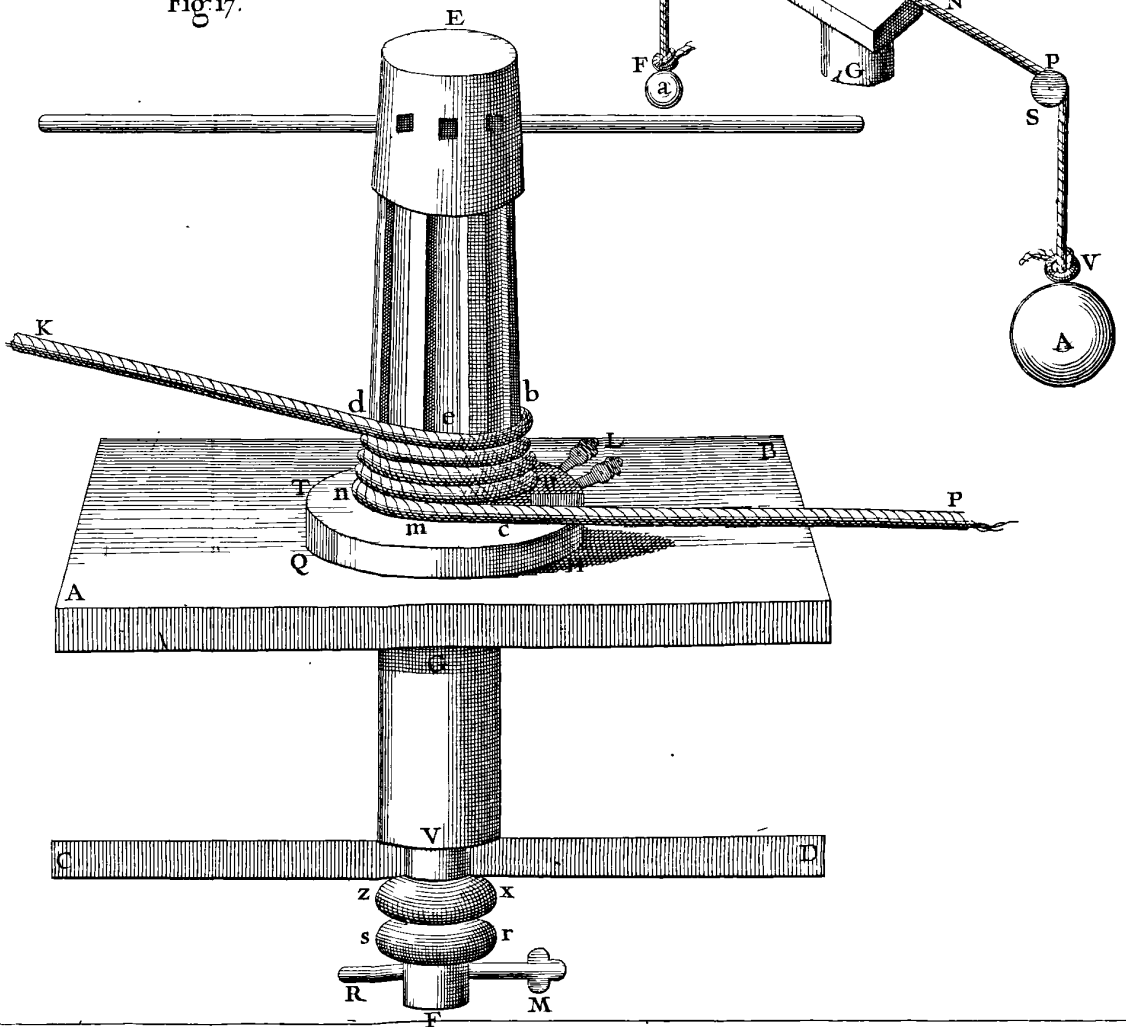


Fig:17.



requirunt altitudinem, quæ necessaria tunc esse videtur quando plurimos gyros usus efflagitat.

## X L I.

Porrò si de faciliore Ergatæ usu quidpiam sit adjiciendum, commemorare oportebit, ab artificio illo, quo adhibito, funis gyri duntaxat quatuor effici debent, faciliorem etiam (præcipuis in partibus perficiendæ rei) Ergatæ usum præstari; quem tutiorem reddunt duplices pessuli constituti eo modo, cujus suprâ data est (in Art. XXXI.) delineatio atque descriptio. Ab aliqua autem inæqualitate positionum vectium plus commodi, quàm incommodi proveniet Nauticis varii roboris, staturæque differentis; scilicet ut omnes maximum conatum æquabiliter exerere possint: ad quam exiguam inæqualitatem etiam Ergatæ caput anglici artificii facilè posset confirmari. Præterea verò faciliori circumvolutioni Ergatæ proderit, frictiones axis cum parietibus internis foraminum pontium navis (putà in situ, *Fig. 2. x z*, ubi Ergata *A D* immissa est in pontem *SP*) reddere tam exiles, quàm maximè fieri possit. Cogitaveram de annulo volubili aptando intra pontis foramen, quem in anulum Ergatæ axis immitteretur; & quamvis non unam difficultatem mente perspicerem, varia pro illiusmodi combinatione experimenta institui; at effectus diligenter observati (ad alium usum reservandi) haud esse inde sperandum pro re propositâ spectabile operæ præmium, ostenderunt. Multo enim adjumento opus esset: propterea quòd ligneorum axium frictiones ad foramina in trabibus perforata ingentes, & momenti profectò magni, sunt; ut mihi etiam tum semper suasit ratio, tum non una experientia perspicuè demonstravit. Quamobrem (ut paucis dicam) si, ubi Ergatæ intra foramina excipiuntur, ibi partes omnes & Ergatarum earundem & foraminum metallicæ sint, res feliciùs quidem succedet. Igitur neque de hisce plura addam, neque de fatis obviis quibusdam aliis artificii, quibus, vel mutatione

P iij

*Fig. 2.*

positionis annuli Ergatæ (quâ de mutatione supra in Art. XXXIII. dictum est) vel modo aliquo alio, funis, extremitate sua inferiore (Fig. 17.) *c P*, detineatur ita, ut spiræ parti depressiori ac infimæ *m c* eadem funis extremitas *c P* semper jugiterque respondeat, dum funis circum Ergatæ axem circumvolvitur.

## X L I I.

Quod si vel propter nimiam resistentiam corporis trahendi, vel propter nauticorum hominum paucitatem, vis requireretur major illâ, quàm Ergata in eis rerum constitutionibus præstare posset; tunc quidem valde juvaret, si navis instructa esset instrumentis iis, quibus in eis etiam rerum constitutionibus quæ necessaria essent, tentari possent: videlicet possent, subsidio alicujus aliûs Machinæ, Ergatæ vires augeri. Quapropter cum viribus iisdem incrementa afferre queant & Trochleæ & Cochlea, iccirco quomodo incrementa illa hisce instrumentis sint procuranda jam (in Art. XVIII. & XXI.) supra indicavimus. Huic etiam fini ut conducerent, inventæ fuere duplices illæ Ergatæ, quarum ingeniosæ descriptiones extant in eo splendido opere, cui titulus est: *Machines approuvées par l'Académie Royale des Sciences* (Tom. II. pag. 3. & pag. 7.) utilitatem tamen usûs earundem nonnullis ab incommodis minui judicaverunt ii (*Hist. de l'Acad. Royal. des Sci.* 1702. pag. 138.) qui de iisdem longè optimum judicium ferre poterant. At hoc loco petam, ut mihi liceat, pauca quædam ad inventa illa pertinentia adjicere: ac proponere num præstaret rem illam efficere modo aliquantillùm diverso. Ponamus (Fig. 20.) *A B* esse navis Pontem; *E n* esse Ergatæ nostræ superiorem axem, circum quem circumvolvitur ductarius funis; *G V* esse Ergatæ partem inferiorem; *s r* esse Ergatam aliam (intra Pontes) cum nostra conjugatam: placeret mihi, majorem rotam *m u* pertinere ad nostram, nimirum ad majorem Ergatam; rotam verò minorem *s z* (sive, ut nonnulli loquuntur, tympanum) esse partem Ergatæ con-

jugatæ, & hanc quoque conjugatam vectibus *ex* instrui, eâ meliore positione constitutis, quàm rota major, & spatium inter pontes patiantur: ut Nautici sive plures, sive pauciores, ad utramque possent applicari. Conducibile futurum crederem, si Ergata *s t* adjungi pro lubitu posset, & auferri. Ex hujusmodi autem constructione, plus utilitatis promanare posse existimarem: eam tamen indicavisse sufficiet.

## X L I I I.

Sed postrema hac in parte aliud artificium, quod menti obversatur, in medio ponam. Velim construi Ergatæ caput anglici artificii, sed eo modo, ut singuli vectes (*Fig. 21.*) *Fig 21.* *u* desinant in figuram *ABeC*, scilicet ad extremum præditi sint cavitare *B e C*. Per eas singulorum cavitates velim circumduci funem *am N P G R*, & hujus extremitatem *R* Suculæ *D F* adnecti; ipsam verò Suculam ad navis latus firmiter constitui. Conversione Suculæ, & funis circum ipsam, trahetur in gyrum Ergata vi quidem majore; neque enim id artificium impediet quin plures homines vectibus ejusdem Ergatæ applicentur. Et hæc quidem Machina conducibili facilitate haudquaquam carere posse videtur. Facilitati profectò quacunque in re studui; præsertim verò anulo spirali adjecto Ergatæ, ut Machinam constituerem, quæ simplex, solida, & prompti expeditique usûs capax esset, & quæ Mechanicâ ratione, ac experimentis (quemadmodum in Art. XXXVIII. dictum est) comprobata, præscripto ab Illustrissima Regia Academia usui aptè posset respondere. Saltem conatus sum, appositè satisfacere ei propositioni, quam mihi & natura ipsius rei, & certa cognitio eximia excellentisque perspicaciæ Proponentium, præstantem atque perutilem commonstrabant.

## F I N I S.



Fig. 19.

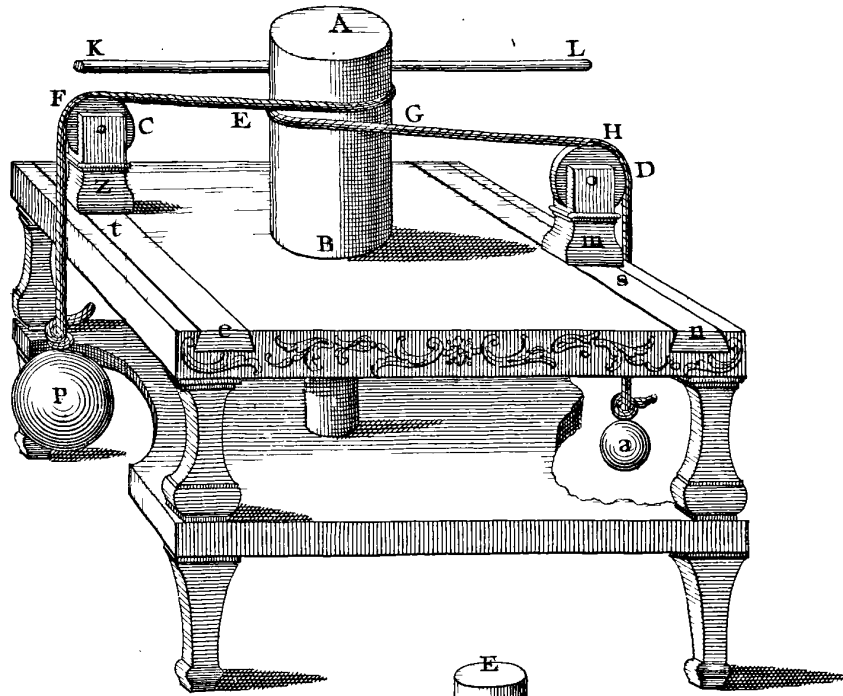


Fig. 20.

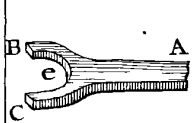
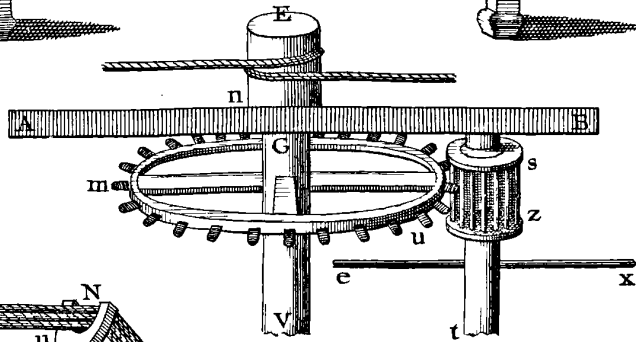
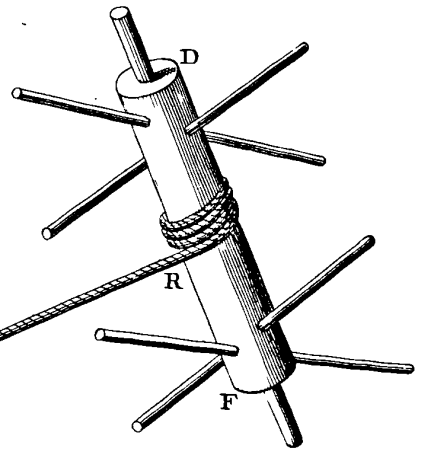
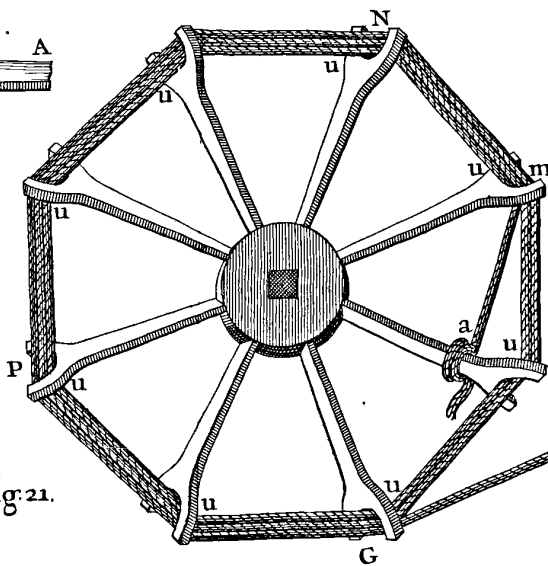


Fig. 21.







RECHERCHE  
DE LA  
MEILLEURE CONSTRUCTION  
DU  
CABESTAN.

*Cette Piece est une des quatre entre lesquelles le  
Prix double a été partagé.*

---

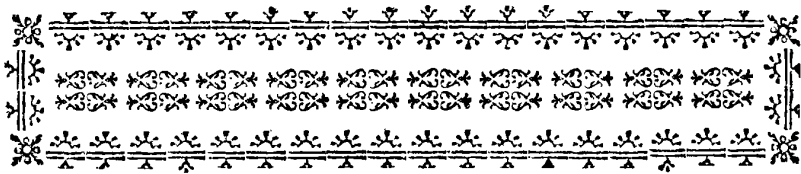
*Un cordage roulé autour d'un double Effieu,  
Peut être dévidé sans fin au même lieu.*

Par M. LUDOT, Ecuyer, Avocat en Parlement;

Prix. 1741.

Q





# RECHERCHE DE LA MEILLEURE CONSTRUCTION DU CABESTAN.

---

*Un cordage roulé autour d'un double Effieu ,  
Peut être dévidé sans fin au même lieu.*

---

C'EST presque témérité & perte de tems à un homme qui n'a jamais vû de vaisseaux ni leurs manœuvres, qui est loin des livres & des Gens experts en la marine, que d'oser traiter d'une Machine nécessaire à la navigation, & d'essayer de lui donner sa dernière perfection. Car c'est grand hazard s'il parvient à être instruit de tout ce qu'il est important de sçavoir pour y réussir; & si en voulant éviter quelques inconvéniens il ne tombe pas en d'autres qu'il lui est impossible de prévoir. Cette considération jointe à celle de mon peu de génie, & de la difficulté que j'éprouve à écrire sur quoi que ce soit, auroit dû m'empêcher de le faire sur la meilleure construction du Cabestan; mais je n'en ai senti la force qu'après avoir entrepris ce travail. Quelques idées se sont présentées à moi sous une apparence assez flatteuse pour me le faire commencer. La complaisance qu'ont les hommes dans leurs ouvrages, sur-tout quand ils

Q ij

les ont produits avec peine, m'a engagé à le continuer. Enfin, il m'a semblé qu'on avoit beaucoup d'indulgence pour les tentatives peu heureuses; peu de gens même entre ceux qui réussissent, risqueroient d'écrire s'ils ne comptoient sur elle.

Au reste, la situation où je me trouve m'ayant privé de la connoissance précise de plusieurs choses, j'espère que mes Juges m'excuseront d'avoir traité mon sujet d'une manière un peu vague, & sans porter la construction du Cabestan jusqu'au dernier détail. J'ai crû qu'il valoit mieux donner à choisir en avançant des choses peut-être superflues, que d'en supprimer qui pussent être utiles; d'ailleurs si on adopte quelque'une de mes vues, il sera aisé de suppléer à ce qui leur manque.

Pour abréger, & ne pas entre couper les pratiques par les raisonnemens, j'ai jugé à propos d'exposer dans un préambule la Théorie dont j'aurai besoin.

*Préambule contenant la Théorie qui sert de fondement à quelques propositions, & au calcul employé dans la suite.*

## ARTICLE PREMIER.

*Fig. 1.* §. I. Un corps quelconque dont la figure n'est pas propre à rouler, étant placé sur un plan *AC* *Fig. 1.* peu incliné à l'horison, y reste en repos: si l'on augmente l'élevation du plan, ce corps descend en glissant; mais plus lentement qu'un pendule ne décriroit un arc semblablement incliné.

Ces expériences font voir qu'un corps résiste à une force *EG* oblique à sa surface, suivant une ligne *RE* oblique jusqu'à un certain point à cette même surface. Or la force ainsi que la résistance oblique, peuvent chacune être décomposées en deux efforts ou réactions, l'une perpendiculaire & l'autre parallèle aux surfaces contiguës. La réaction perpendiculaire *PE* du corps comprimé est toujours égale à l'effort perpendiculaire dérivé de la force du corps in-

combant , & est indifferente à la force parallele qui feroit glisser ce corps. La réaction parallele  $RP$  détruit en tout ou en partie l'effet de la force parallele du corps incombant.

Il me semble difficile de déterminer le rapport de l'*action* ou *traction* ou *réaction* parallele  $RP$  , à la *force* ou *charge* ou *pression* perpendiculaire  $EP$  , parce que j'ai observé que ce rapport étoit fort variable , même à l'égard d'un corps certain. \* Il est vrai que suivant une Observation de Monsieur Amontons vérifiée dans l'Académie sur des plans rudes , & rapportée dans les Mémoires de l'année 1699 , ce rapport est constant dans l'état de Mouvement relatif des corps qui se compriment avec une force donnée ; soit que les surfaces contiguës soient grandes ou petites , d'où il résulte que ce rapport est aussi constant *dans le même état de Mouvement* quelle que soit la compression  $EP$ . Mais ce rapport varie dans d'autres circonstances.

En premier lieu , il m'a semblé que la réaction  $RP$  n'augmentoit pas à proportion de la pression perpendiculaire  $EP$  , lorsque les corps contigus étoient polis, & l'un d'eux peu flexible. Un fer de Blanchisseuse un peu convexe descendoit en glissant plus ou moins vite sur une table seche de bois de noyer , suivant qu'il étoit plus ou moins chargé de plomb. La hauteur  $AB$  du plan incliné étant environ un sixième de la base  $BC$  , la plaque fort chargée descendoit environ une fois plus vite que la même plaque non chargée.  $AB$  étant un huitième de  $BC$  , la même plaque fort chargée descendoit , & non chargée s'arrêtoit.

En second lieu , la durée du repos relatif & de la compression réciproque de deux corps augmente la réaction parallele ou résistance  $RP$  du corps subjacent à l'ébranlement du corps incombant ; surtout lorsque les corps ont été frottés d'huile , ou qu'ils sont imparfaitement polis ,

\* Je n'ai point encore vû le Livre de M. Belidor , où il parle du frottement. Je n'ai qu'un souvenir confus de ce que j'ai lû sur ce sujet dans les Mémoires de l'Académie. Enfin , je n'ai jamais vû les Théorèmes de M. Amontons sur la même matiere.

ou flexibles. La table de noyer étant imbibée d'huile, j'ai observé en l'élevant successivement de plus en plus, que la réaction  $RP$  augmentoit depuis trois jusqu'à huit, dans l'espace d'environ un quart d'heure. La même table étant sèche, & sa hauteur  $AB$  étant à  $BC$ , environ comme 3 à 20, deux plaques de fer jointes ensemble & chargées de métaux, le tout pesant vingt livres, glissoient sur cette table, & enlevoient un contrepoids d'une livre; mais ayant été fixées quelques momens, & le contrepoids étant diminué peu à peu, & enfin totalement soustrait, elles demeu- roient en repos sur la table, d'où je conclus que la réaction parallele croissoit environ depuis deux jusqu'à trois. J'ai remarqué plusieurs fois que la différente durée du repos des vis de pressoir dans l'écrou, faisoit varier leur résistance à l'ébranlement de la vis, tant en serrant qu'en desserrant. En particulier à la vendange de 1737, j'ai vû une vis dont le pas étoit fort grand, qui ayant été serrée par quatre hommes revenoit d'elle-même lorsqu'on l'avoit quittée subite- ment, demeuroit fixe lorsqu'on l'avoit retenue quelques instans; enfin après un séjour de demie heure, exigeoit tout l'effort d'un homme pour être ébranlée en desserrant: ob- servation repetée cinq ou six fois, dont j'infere que la dif- ferente durée du séjour de cette vis dans l'écrou, faisoit croître sa réaction environ depuis deux jusqu'à trois.

Pour expliquer cette variation, j'estime qu'on peut dire que la réaction parallele  $RP$ , augmente à mesure que le contact des corps voisins devient plus étendu, plus intime, plus général, & que le contact de certains corps ne devient pas tel tout à coup, mais que la durée ainsi que l'augmen- tation de la compression lui ajoute quelques degrés: ce qu'une plus grande compression opereroit plutôt, une moindre l'opere lentement. Pour verifier ce raisonnement, j'ai essayé si en diminuant peu à peu une grande compres- sion, une partie de la réaction  $RP$  que cette compression avoit excitée subsisteroit, laquelle fut plus grande que celle que la compression restante pouvoit causer par elle-même;

mais mon expérience n'a pas réussi, soit que la convexité des plaques dont je me servois, ne me permit pas de les décharger sans les ébranler un peu, soit que le ressort des corps contigus détruisît aussi-tôt après la diminution de la compression, l'effet de la plus grande.

Les faits que je viens de rapporter ne prouvent pas seulement que la réaction parallèle est variable, mais encore qu'elle est moindre qu'on ne le croit communément. Voici d'autres expériences plus liées à mon sujet que les précédentes, qui confirment l'un & l'autre chef. Un cordeau sec, roide & déjà usé, étant dévidé & glissant lentement sur un rouleau de bois de noyer, j'ai trouvé par la Méthode expliquée cy-dessous §. 4. que la réaction parallèle étoit à la pression perpendiculaire, environ comme 1. à 8, 18. Le cordeau ayant été fixé quelque tems sur le rouleau, la réaction parallèle est devenue à la pression perpendiculaire, comme 1. à 5, 108. Le même cordeau ayant été dévidé autour d'un autre cylindre plus poli, & glissant dessus lentement, la réaction parallèle n'étoit à la pression perpendiculaire que comme 1. à 11, 8.

Enfin lorsqu'un corps glisse sur un autre, la réaction parallèle croît en même tems que la vitesse du mouvement: cela se prouve & par l'augmentation de la chaleur de celui des deux corps qui souffre un frottement continuel sur la même partie; & encore plus précisément par l'uniformité de la vitesse qu'acquiert le corps qui glisse sur un plan incliné. Mais j'estime que l'accroissement de la réaction parallèle n'est pas proportionnel à la vitesse du Mouvement. La raison de cette négative est que le contact ou bien l'engrenement réciproque des parties des corps qui glissent l'un sur l'autre est moins parfait lorsque le mouvement est plus vite: or si la réaction augmente d'un côté avec la vitesse, parce qu'il faut mettre en mouvement les parties insensibles d'une plus grande surface parcourue en même tems par le corps qui glisse; l'augmentation de la réaction est cependant en moindre raison que l'espace parcouru, parce qu'il faut

donner moins de mouvement aux parties insensibles de cet espace. Ainsi parce que les roues d'une voiture enfoncent moins dans un terrain mou quand elles roulent rapidement que quand elles vont lentement ; la résistance de ce terrain à l'avancement de la voiture ne reçoit pas des accroissemens proportionnels à la vitesse du mouvement de la voiture. Si la connoissance plus distincte de cette variation de la réaction parallele étoit de quelque utilité , on pourroit en faire la recherche en comparant les différentes vitesses uniformes qu'un corps acquerroit sur un plan differemment incliné.

Il suit des Observations ci-dessus que l'état du mouvement relatif lent des corps qui se compriment, est celui où la réaction parallele est la moindre qu'elle puisse être.

§. II. On reconnoitra aisément que la résistance oblique  $RE$  est la plus opposée, & partant fait le moindre angle qu'il est possible avec la force simple ou composée qui tire un corps ; c'est pourquoi elle diminue autant qu'il est possible la résistance de l'obstacle qu'on lui joint pour arrêter le corps.

*Fig. 2.* Voici une consequence de ce principe.  $EPp$  est perpendiculaire au plan  $AC$  *Fig. 2* si un corps situé sur ce plan & tiré par son poids ou par quelque puissance  $EG$ , est retenu par un obstacle dont la résistance dirigée dans le plan  $PGED$ , suivant la droite quelconque  $EDd$ , ne soit excitée qu'autant qu'il faut pour empêcher le corps de céder à la traction  $EG$ : la charge  $EP$  du plan  $AC$ , laquelle résulte des trois forces  $EG, ED, RP$ , est différente de celle  $Ep$  qui résulteroit des deux seules  $EG, Ed$ , (excepté lorsque  $EDd$  est parallele à  $AC$ ,) laquelle  $Ep$  est déterminée dans les traités de Méchanique, où l'on fait abstraction de l'obliquité de la résistance des corps. Soient par exemple  $GEDR, GEdp$  deux parallelogrammes, si l'angle  $DEP$  est aigu,  $EP$  est moindre que  $Ep$ .

*Fig. 3.* Mais les mêmes conditions subsistant, *Fig. 3.* si le corps est encore tiré par une force  $EF$  perpendiculaire au plan  $PGED$ , enforte que l'effort composé des deux  $EF, EG$ ,  
soit



soit  $EH$ , la résistance  $RE$  étant nécessairement dans le plan  $DEHR$ ,  $RP$  fera hors du plan  $PGED$ ; c'est pourquoi la différence  $Pp$  des charges perpendiculaires  $EP$ ,  $Ep$  sera moindre que dans le cas précédent,  $Pp$  diminuera à mesure qu'on augmentera  $EF$ , & enfin s'évanouira lorsque  $EF$  sera accrue à tel point que le plan  $REP$  soit perpendiculaire à  $PGED$ : alors  $EF$  sera égale à  $RP$ , & le rapport de  $RP$  à  $EG$  sera plus simple qu'il n'étoit dans le cas précédent.

*Corollaire.* Le triangle isoscele  $ACa$ , *Fig. 4.* est la section droite d'un canal, dans lequel est placé un corps rond poussé vers le fond du canal par la force  $EG$ , ou  $OG$ , dont la direction divise également l'angle  $ACa$ , & tiré en même tems par la force  $EF$  ou  $OF$ , parallele aux côtés du canal. Le corps ne peut être prêt à ceder à  $OF$  en glissant dans le canal suivant une perpendiculaire au plan  $PACa$ , que la charge  $EP$  de l'un des cotés du canal ne devienne égale à celle  $Ep$ , qui émane du coin, suivant les Auteurs de Méchanique qui font abstraction de l'obliquité de la résistance des corps. C'est pourquoi on a dans ce cas l'Analogie  $EP$  ou  $OP$ .  $OG :: AC. Aa$ . On a aussi  $OF = 2 RP$ . Ainsi lorsque le rapport de  $RP$  à  $EP$  est connu, on peut aisément déterminer à quel point  $OF$  peut augmenter par rapport à  $OG$ , sans pouvoir faire couler le corps dans le canal. Les mêmes choses subsistent lorsque le canal étant mû suivant la direction  $HG$ , le corps est tiré par la force  $OF$ ; le canal emportera le corps avec lui nonobstant cette force, si elle est moindre ou égale à la valeur que donnera la resolution des égalités qu'on vient de former.

Il est évident que la route qu'un corps suit en glissant sur un autre, est avec la résistance oblique de celui-ci, dans un même plan perpendiculaire aux surfaces contiguës. Je dis en conséquence, que si un corps est tiré, *Fig. 5.* par la force  $EH$ , soit simple, soit composée, qui fasse avec  $EP$  perpendiculaire au plan  $AC$ , l'angle  $HEP$  si petit qu'on voudra, moindre par exemple que l'angle  $REP$ , & en même tems par une force  $EL$  perpendiculaire au plan  $HEP$  si grande qu'on vou-

Prix. 1741.

R

dra; j'avance, dis-je, qu'il est impossible que ce corps prenne sur le plan  $AC$  une route perpendiculaire au plan  $HEP$ ; mais s'il est mû, il cèdera en même tems à la traction  $EL$ , & à celle  $EF$ , qui dérive de  $EH$  suivant une parallèle à  $AC$ ; plus l'angle de la route avec  $EF$  fera aigu, plus  $EF$  fera grande relativement à  $EL$ , &c.

Fig. 6.

s. III. Soit une corde  $KEBAbek$ , Fig. 6. tendue avec une force uniforme autour d'un cylindre dont  $OF$  est l'axe, & le cercle  $DAdL$  est la section. La force qui tend cette corde est à celle qui comprime un point  $A$  du cylindre, comme son rayon est à l'intervalle de deux points. Soient  $AB, Ab$  deux arcs égaux très-petits, & soit  $BAbI$  un parallélogramme. La force qui bande la corde suivant  $AB$  &  $Ab$  est à l'effort qui en résulte suivant  $AIO$ , & qui comprime le point physique  $A$ , comme  $AB$  est à  $AI$ , & comme le rayon  $BO$  est à  $AB$ , à cause de la ressemblance des triangles isosceles  $ABI, BOA$ .

*Coroll.* Donc la force qui tend la corde est à la somme des petites forces qui compriment tous les points couverts par la corde, comme le rayon est à la somme des intervalles des points touchés; c'est-à-dire, comme le rayon est à la quantité  $DAd$  de circonférence, enveloppée par la corde.

Afin que la corde  $KEBek$  soit tendue uniformément dans tous ses points, il ne suffit pas que ses extrémités  $KD, kd$  soient bandées également par les efforts dérivés de la puissance  $OG$ , qui située dans le plan  $DdL$  tire le cylindre; car l'obliquité des actions réciproques du cylindre sur le cordage, empêche que la tension des parties  $KD, kd$  ne se transmette toute entière au point  $A$ . Par exemple, le cylindre n'agit pas sur le point  $E$  de la corde suivant le rayon  $OE$  prolongé en  $P$ , mais suivant  $ER$  qui divise inégalement l'angle  $BED$ ; c'est pourquoi si l'on fait sur les trois directions  $ER, EB, ED$ , un parallélogramme, il sera évident que la tension de la partie  $DE$  est plus grande que la tension de la partie  $BE$ , & ainsi des autres.

Mais la corde étant assujettie à demeurer dans le plan

*DAdL*, si outre la puissance *OG* appliquée au cylindre, on lui en applique une autre dirigée suivant *OF*, qui compose avec *OG* l'effort *OH*; *OF* se distribuant sur chaque point du cylindre, l'action *ER* sera hors du plan *DAd*, & prolongée passera plus près de l'axe *OF* qu'elle ne faisoit dans le cas précédent; c'est pourquoi la différence des forces qui tendent les parties *EB*, *ED* sera moindre qu'elle n'étoit dans ce cas. Cette différence diminuera à mesure qu'on augmentera *OF*, & s'évanouira enfin quand *OF* sera telle que le plan *REP* soit perpendiculaire au plan *DEAd*, ce qui arrive lorsque *RE* passe par l'axe. Alors *OF* est égale à la somme de toutes les actions *RP* parallèles à l'axe *OF*. Ainsi pourvû que le rapport de *RP* à *EP* soit donné, on peut déterminer combien *OF* peut croître relativement à *OG*, sans être capable de faire glisser le cylindre sur la corde *KEBek*.

§. IV. Soit une corde roulée autour d'un cylindre & tendue avec une force continuellement décroissante dans sa partie qui couvre le cylindre. Soit, par exemple, cette corde bandée de part & d'autre du point *O*, *Fig. 7.* avec les forces inégales *Om*, *On*, enforte que l'effort moyen *OH* que ces forces composent, & avec lequel elles compriment le point *O*, soit incliné au rayon *OC* du cylindre. Soit *OM = ON* moyenne Arithmétique entre *Om*, *On*; soit *MONG* un parallélogramme; soit menée *GH*, & soit décomposé l'effort oblique *OH* en deux forces, l'une *OG* qui tend au centre du cylindre, & que je nomme force centrale, & l'autre *GH* ou *OF*; on reconnoitra sans peine en premier lieu, que *GH* & *OF* sont perpendiculaires au rayon *OC*; en second lieu, que *OF* est égale à la différence des forces *Om*, *On* lorsque l'angle *MON* est très-obtus; enfin, que la force *OM* médiocre entre celles qui tendent la corde de part & d'autre du point *O*, est à la force centrale *OG*, comme le rayon *OC* du cylindre est à la parcelle *OM* de sa circonférence. C'est pourquoi si les points *M*, *O*, *N* sont si proches, que la force

*Fig. 7.*

R ij

centrale ainsi que la différence des tensions, soient incomparablement moindres que les tensions, je dis simplement comme au §. précédent, que la force qui tend la corde, en quelque point qu'elle touche le cylindre, est à la force centrale exercée sur ce point physique, comme le rayon est à l'intervalle de deux points.

*Fig. 8.* Le très-petit arc  $SN$ , *Fig. 8.* étant le premier que la corde couvre du côté qu'elle est plus bandée, soit donc le rayon  $CS$  pris pour l'expression de la force ou poids qui bande la corde de ce côté; soit  $SN$  l'expression de la force centrale sur l'arc  $SN$ ; soit ensuite  $NP$  retranchée de  $CN = CS$ , & soit  $CP$  la force qui bande la corde au lieu  $NO$ ; soit  $PL$  un petit arc semblable & concentrique à  $NO$ ,  $PL$  est la valeur de la force centrale sur  $NO$ ; soit  $CI$  la force qui bande la corde en  $OM$ , & soit  $IK$  semblable & concentrique à  $OM$ ,  $IK$  est la valeur de la force centrale sur  $OM$ , &c.

Je suppose maintenant que les petits triangles rectangles  $SNP$ ,  $PLI$ ,  $IKR$ , &c. sont semblables, c'est-à-dire, que la différence ou diminution de tension de la corde est dans un rapport constant à la force centrale; la ligne  $SPIR$  est une spirale qui coupe tous ses rayons  $CS$ ,  $CP$ ,  $CI$ , &c. à angles égaux, & une courbe à Logarithmes, telle que si les arcs  $MO$ ,  $ON$ ,  $NS$ , &c. sont égaux, les tensions  $CS$ ,  $CP$ ,  $CI$ ,  $CR$ , &c. sont en progression géométrique.

- De ces trois choses, la quantité de circonférence chargée de corde ou bien de la révolution de la corde, le rapport des deux tensions extrêmes, & le rapport de la différence ou diminution de tension à la force centrale, deux étant données on peut trouver la troisième. Il y a des Méthodes sçavantes pour cela, fondées sur la rectification des courbes. Pour moi je me borne à celle-ci.

*Fig. 9.* Je substitue à la spirale de la Figure 8. une Logarithmique ordinaire, *Fig. 9.*  $SPZ$  dont la base  $CKTL$ , ou sa parallèle  $SNO M$  soit égale à la circonférence du cylindre

répétée autant qu'il est nécessaire, & dont la tangente  $TS$  faite avec l'ordonnée  $CS$  égale au rayon du cylindre, le triangle  $TCS$  semblable aux petits triangles  $SNP$ ,  $PLI$  de la figure 8. enforte que la soutangente  $CT$  soit au rayon  $CS$  du cylindre, comme la force centrale  $SN$  est à la diminution de tension. Or si on a deux Logarithmiques inégales  $SPZ$ , &  $spz$ , Fig. 10. & qu'on prenne dans l'une deux ordonnées  $CS$ ,  $KZ$ , qui soient égales, ou qui aient même rapport à deux ordonnées  $cs$ ,  $kz$  de l'autre Logarithmique, on sçait que l'intervalle  $CK$  des ordonnées  $CS$ ,  $KZ$ , c'est-à-dire, la différence des Logarithmes de ces quantités est à la différence  $ck$  des autres Logarithmes de ces mêmes grandeurs, comme la soutangente  $CT$  de la première Logarithmique est à la soutangente  $ct$  de la seconde. Je suppose que cette seconde Logarithmique est celle à qui appartiennent les progressions contenues dans les tables vulgaires dont la soutangente  $ct$  est 0, 4342944. J'acheve d'exposer la méthode en l'appliquant à un exemple.

Fig. 10.

Un cordeau qui faisoit une révolution & demie autour d'un cylindre poli, étant bandé à un bout par un poids de dix livres, & à l'autre bout par un contrepoids de quatre livres & demie, je l'ai aidé à se mettre en mouvement; après quoi, obéissant au poids, il a continué à glisser sur le cylindre avec une vitesse uniforme en élevant le contrepoids. Je veux sçavoir le rapport de la différence de tension à la force centrale. Je dis donc, comme  $ck = 0, 3467875$  différence des Logarithmes du poids & du contrepoids, est à la soutangente  $ct = 0, 4342944$ , ainsi la révolution & demie  $CK$  qui vaut 66, le rayon étant  $= 7$ , est à la soutangente  $CT = \frac{66 \times 0, 4342944}{0, 3467875}$ , & comme le rayon  $CS = 7$  est à  $CT$ , ainsi la différence de tension  $= 1, 0000$  est à la force centrale  $= \frac{66 \times 0, 4342944}{7 \times 0, 3467875} = 11, 8077$ .

R ij

Dans l'expérience que je viens de rapporter, la force tendante au centre du cylindre & sa pression perpendiculaire, sont la même chose. Or la différence de tension du cordeau n'est causée que par la réaction parallèle au cordeau, laquelle dérive de la résistance oblique de chaque point du cylindre. La réaction parallèle est donc à la pression perpendiculaire dans le rapport trouvé de 1, à 11, 8077, qui est celui que j'ai énoncé §. I.

J'ai dit ci-dessus que je supposois que la différence de tension des parties du cordage étoit à la force centrale dans un rapport constant: cette supposition est vraie, ou peut'en faut, dans les cas de même genre que celui que je viens d'exposer, parce que la principale cause de la variation de ce rapport, sçavoir, la différente durée du repos relatif, n'y a pas lieu.

Pareillement, lorsqu'une corde bandée par des poids inégaux est arrêtée sur un cylindre fixe, quoique la réaction parallèle de chaque point croisse avec la durée du séjour de la corde, cependant les réactions parallèles contemporaines des différens points du cylindre, sont à peu près dans la même raison aux pressions normales de ces points. C'est pourquoi on peut chercher cette raison pour le moment de l'observation par la méthode ci-dessus. C'est ainsi qu'en diminuant peu à peu le contrepoids suspendu au cordeau roulé sur un cylindre médiocrement poli, j'ai trouvé que la réaction parallèle qui n'étoit d'abord à la pression normale ou force tendant au centre, que comme 1 à 8, 18 étoit devenue à cette force après certain séjour, comme 1 à 5, 108.

Mais lorsqu'on fait tourner le cylindre autour duquel est dévidée la corde tendue par des poids inégaux, en sorte qu'on élève le plus grand, les réactions parallèles contemporaines des divers points du cylindre, sont aux pressions perpendiculaires de ces points dans un rapport différent, soit parce que la durée du repos relatif de la corde sur chaque point est différente, ce repos n'ayant pas commencé en

même tems , soit parce que la charge perpendiculaire de chaque point diminue insensiblement , ainsi que la tension de la corde ; c'est pourquoi le calcul dont j'ai donné un exemple , ne convient pas en rigueur aux expériences où on élève un fardeau avec une corde roulée sur un cylindre.

J'estime cependant qu'on peut le leur appliquer sans erreur considérable , en observant que le rapport de la différence de tension à la force centrale , ou de la réaction parallèle à la pression perpendiculaire qui est supposé dans le calcul , ou découvert par le calcul , est seulement à peu près moyen entre le moindre & le plus grand des rapports réels.

La tension d'une corde qui se dévide sur un cylindre en élevant un poids diminuant peu à peu , son ressort la raccourcit subitement d'instant à autre , & de distance en distance , lui faisant prendre un petit mouvement assez sensible sur le cylindre. Ce mouvement empêche la réaction parallèle de s'accroître autant qu'elle feroit si la corde demuroit colée au cylindre dans toute son étendue depuis le point où elle s'enveloppe jusqu'à celui où elle se développe. La corde ne fait guères que la moitié ou les trois quarts d'une révolution sans se raccourcir.

C'est pourquoi la médiocre réaction parallèle ne surpasse pas beaucoup la moindre , sur-tout si l'on élève le poids avec vitesse , & si le cylindre est petit. J'ai observé sur ce cylindre dont la moindre réaction parallèle étoit à la pression normale comme 1 à 8, 18, j'ai observé , dis-je , en le tournant pour élever un poids , que sa réaction médiocre étoit à peine à la pression perpendiculaire comme 1 à 7, 0626 , & ne put jamais devenir à cette force comme 1 à 6, 05 , avec quelque lenteur que je tournasse le cylindre ; car quand j'en faisois la tentative en diminuant le contrepoids , la corde venant à se raccourcir subitement , après une demie révolution , se détachoit du cylindre dans toute son étendue , & le poids entraînoit le contrepoids trop affoibli.

Comme il seroit long & pénible de résoudre par la mé-

thode générale exposée ci-dessus, toutes les questions que j'ai insinué qu'on pouvoit faire, je me fers de deux moyens particuliers que cette méthode m'a fournis. J'exprime toujours la différence de tension de la corde par l'unité. En premier lieu j'ai supposé que la force centrale étoit exprimée par le même nombre que la quantité des révolutions de la corde, & j'ai cherché quel devoit être dans cette hypothèse le rapport des tensions extrêmes de la corde, j'ai trouvé que la différence de leurs Logarithmes étoit 2,7298505, &c. la moindre tension étant supposée 1, dont le Logarithme est 0, la différence trouvée répond au nombre 536, 847, qui est la valeur de la plus grande tension.

Fig. 9.

Lorsque le rapport des tensions extrêmes de la corde est différent de celui de 1,000 à 536, 847, je fais cette analogie. Comme la différence des Logarithmes de  $CS = 536, 847$  & de  $LX = 1$ , Fig. 9. (c'est-à-dire, comme 2,7298505) est à la différence des Logarithmes des autres tensions  $CS$ ,  $KZ$ ; ainsi une quantité  $CL$  de révolutions laquelle est exprimée par le même nombre que la force centrale, est à la quantité  $CK$  des révolutions que fait la corde bandée par les forces  $CS$ ,  $KZ$ , ou par leurs proportionnelles. Par exemple, un cordeau qui faisoit une révolution & demie autour d'un rouleau, étant bandé d'un côté par un poids de neuf livres & demie, & de l'autre par un contrepoids de deux livres & demie, adhéroit au rouleau, & obéissoit à son mouvement circulaire: je dis, comme 0,5797836 différence des Logarithmes du poids & du contrepoids, est à la différence 2,7298505, ainsi la quantité de révolution  $CK = 1,5$ , est à la révolution  $CL = 7,0626$ , & ce dernier nombre est la valeur de la force centrale dans l'expérience citée.

En second lieu, j'ai supposé que le poids étoit centuple du contrepoids ou de la moindre tension, parce que j'ai crû que ce rapport avoit souvent lieu dans la pratique, & j'ai dressé les deux Tables suivantes, fondées sur le principe



cipe, que la différence de tension étant fixée, la force centrale est comme la quantité de la révolution.

Forces centrales.	Révolutions.	Révolutions.	Forces centrales.
1,00000000.	0,73264085	1,00000000.	1,36492526
2, . . . .	1,46528170	2, . . . .	2,72985052
3, . . . .	2,19792255	3, . . . .	4,09477578
4, . . . .	2,93056340	4, . . . .	5,45970104
5, . . . .	3,66320425	5, . . . .	6,82462630
6, . . . .	4,39584510	6, . . . .	8,18955156
7, . . . .	5,12848595	7, . . . .	9,55447682
8, . . . .	5,86112680	8, . . . .	10,91940208
9, . . . .	6,59376765	9, . . . .	12,28432734
10,00000000.	7,32640850	10,00000000.	13,64925260

Voici un exemple qui fera connoître la maniere de se servir de ces Tables. On a trouvé, ou bien on suppose que la réaction parallele d'un cylindre étoit à la pression perpendiculaire dans certaines circonstances, comme 1 à 11, 8. On veut sçavoir combien il faudroit que la corde fit de révolutions afin que la moindre tension ne fût qu'un centième de la plus grande. Il faut prendre dans la premiere Table la quantité de révolution qui répond à chaque partie de la valeur de la pression normale ou force centrale, & en faire l'addition ainsi qu'il suit.

Pour 10, 0	Révolutions	7, 3264085
Pour 1, 0		, 73264085
Pour 0, 8		, 58611268
<hr/>		
Pour 11, 8.	Révolutions	8, 64516203.

Si une corde bandée avec des forces inégales, est déviée autour d'un prisme polygone d'un grand nombre de côtés, on peut considérer ce prisme comme un cylindre, & se servir des moyens que j'ai expliqués.

Prix. 1741.

S

## ARTICLE SECOND.

Un de mes amis ayant reconnu que la Théorie sur le Treuil, contenue dans les Traités de Méchanique de M. Varignon, étoit insuffisante pour déterminer la charge des appuis de cette Machine, & pouvoit même induire en erreur, s'est appliqué à réparer cette négligence. Il y a réuffi, & m'a instruit de sa méthode, tant de vive voix que par ses lettres. J'ai deffein d'employer quelques-unes de ses propositions; mais je ne ſçai ſi mes Juges trouveroient bon que je me contentaſſe de leur citer un Traité qu'ils ne connoiſſent pas encore, & qui ne fera public que vers la fin de l'année. D'ailleurs tous ceux de qui j'eſpere que mon Mémoire fera vû, n'auront peut-être pas le Livre de mon ami. C'eſt ce qui m'a déterminé à dreſſer l'abregé ſuivant.

## EXPOSITION DE L'EQUILIBRE SUR LE TREUIL.

## §. I. Cas nouveau d'équilibre ſur le levier.

*Lemme I.* Une puissance  $KP$  donnée de grandeur & de position faiſant équilibre avec deux puiffances ou réſiſtances  $AQ, ZL$ , *Fig. II.* ſoient leurs directions coupées à diſcrétion par une droite  $AKZ$ ; ſoient menées ſur  $AQ, ZL$ , les perpendiculaires  $KM, KN$ ; ſoit  $Kz = AK$ , & ſoit  $nz$  parallèle à  $NZ$ ;

On a par la Méchanique

$$AQ . ZL :: KN . KM$$

Or à cauſe des parallèles  $nz, NZ$ , on a

$$KN . Kn :: ZK . zK = AK$$

Soit pris  $AK$  pour ſinus total, on aura

$$Kn . KM :: \sin. LZK . \sin. QAK$$

Donc en multipliant par ordre

$$AQ . ZL :: AK \times \sin. LZK . AK \times \sin. QAK$$

On prouvera de même que

$$AQ . KP :: KZ \times \sin. PKZ . AZ \times \sin. QAZ$$

Quelque autre ligne  $AXS$  qui coupe les directions des puiffances, on aura toujours  $AQ . ZL :: SX \times \sin. LSX . AX \times \sin. QAX$ , &c.

*Lemme II.* Soient décompoſées les puiffances  $AQ, KP, ZL$ , chacune en deux efforts, l'un perpendiculaire & l'autre parallèle à  $AKZ$ , les efforts perpendiculaires  $AB$ ,

$KY$ ,  $ZG$  font entre eux comme les trois distances  $KZ$ ,  $AZ$ ,  $AK$ , & partant déterminés. A l'égard des efforts parallèles  $BQ$ ,  $GL$ ,  $YP$ , ce qu'ils ont de déterminé, c'est que la somme ou la différence des deux premiers doit être égale au troisième; au reste ils font arbitraires. C'est pourquoi si on ajoute à  $BQ$  (ou si on en retranche) un effort quelconque  $Qq$ , & si on ajoute à  $GL$  un effort  $Ll$  égal & contraire à  $Qq$ , la couple de résistances,  $Aq$  composée de  $AB$  &  $Bq$ , &  $Zl$  composée de  $ZG$ ,  $Gl$ , pourra être substituée à la couple  $AQ$ ,  $ZL$  pour faire équilibre avec  $KP$ .

*Corollaire 1.* De l'un ou l'autre lemme on peut inférer que la résistance  $AQ$  est à la quelconque  $Aq$  qu'on peut lui substituer réciproquement, comme les sinus des angles que leurs directions font avec  $AKZ$ .  $AQ . Aq :: \sin. q AZ . \sin. QAZ$ , & de même  $ZL . Zl :: \sin. l ZA \sin. LZ A$ ; car  $AQ . KP :: KZ \times \sin. PKZ . AZ \times \sin. QAZ$ , &  $KP . Aq :: AZ \times \sin. q AZ . KZ \times \sin. PKZ$ , donc, &c.

Fig. 12.

*Corollaire 2.* Soit une couple de résistances  $Aq$ ,  $Zl$  dont l'une passe par le point donné  $A$ , capables d'être substituées à la couple  $AQ$ ,  $ZL$  pour faire équilibre avec la donnée  $KP$ ; je dis qu'on a  $zL . zl :: zA \times \sin. l ZA . ZA \times \sin. LZ A$ .

*Corollaire 3.* L'effort perpendiculaire à  $AZ$  dérivé de  $ZL$  est à l'effort aussi perpendiculaire à  $AZ$  dérivé de  $zl$ , réciproquement comme les distances du point fixe au point variable;  $ZG . zg :: Az . AZ$ .

*Corollaire 4.* Soit variable le point auquel la puissance donnée & parallèle à elle-même  $KP$  ou  $kp$ , Fig. 13. rencontre  $AZ$ , & soient constans les points auxquels cette ligne est coupée par les résistances qui font équilibre avec  $KP$ ; la résistance  $AQ$  correspondante à  $KP$ , est à  $Aq$  correspondante à  $kp$ , comme le produit  $KZ \times \sin. q AZ$  est au produit  $kZ \times \sin. QAZ$ , & pareillement  $ZL . Zl :: AK \times \sin. l ZA . Ak \times \sin. LZ A$ .

Fig. 13.

Sij

*Corollaire 5.* L'effort perpendiculaire à  $AZ$  dérivé de  $AQ$ , *Fig. 13.* est à son semblable dérivé de  $Aq$  en raison directe des distances variables de  $Z$  à  $K$  &  $k$ ;  $AB . Ab :: ZK . Zk$ , & pareillement  $ZG . Zg :: AK . Ak$ .

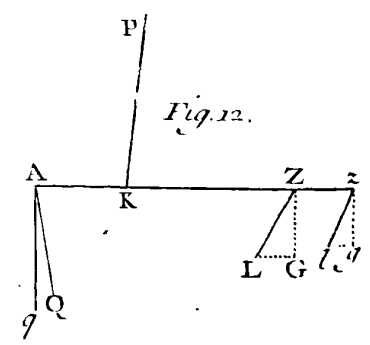
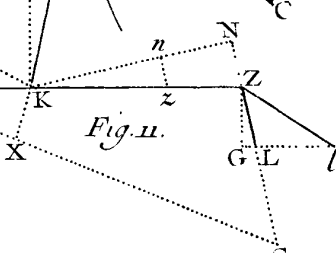
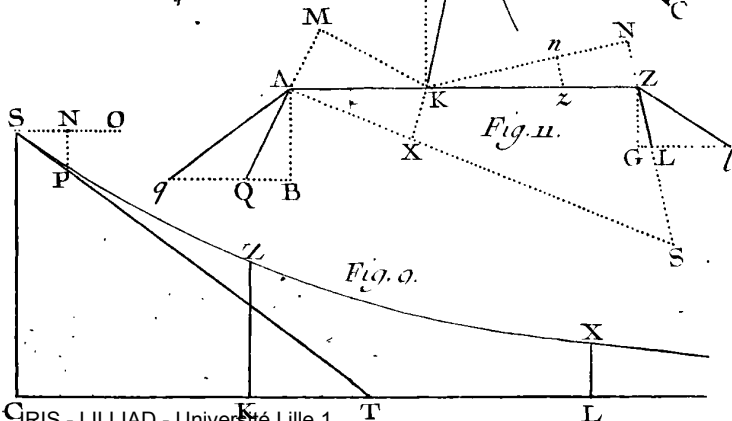
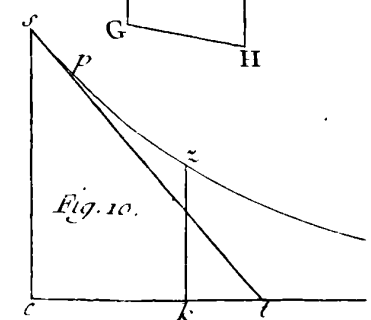
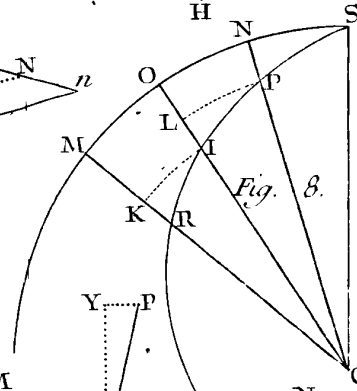
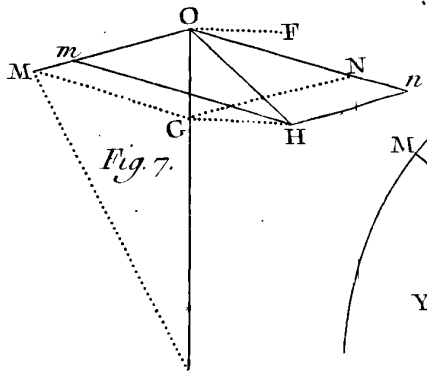
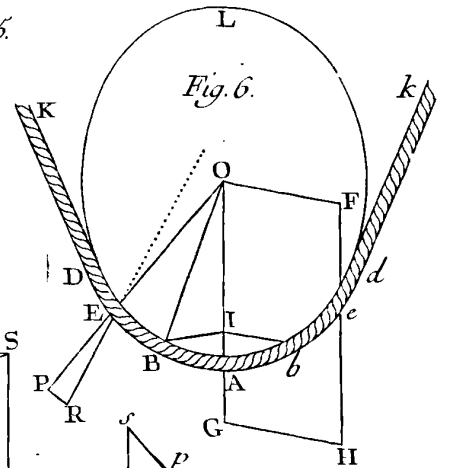
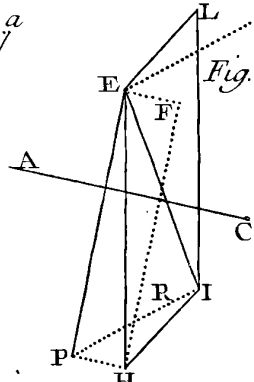
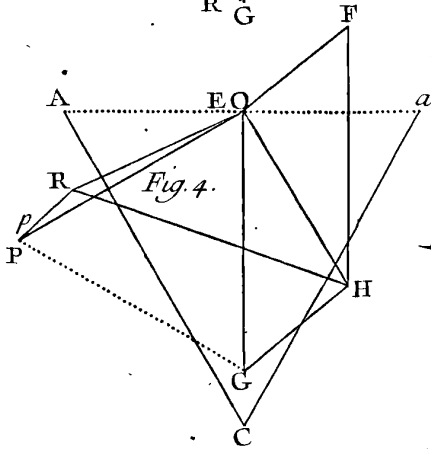
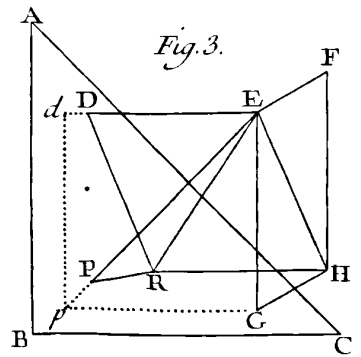
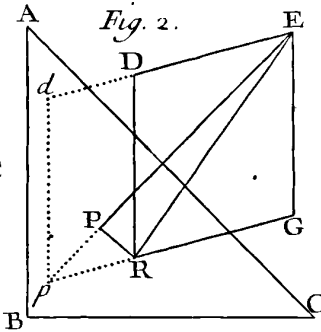
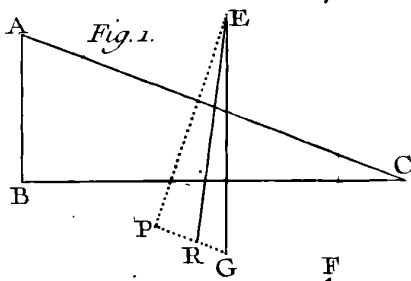
*Corollaire 6.* Enfin, si plusieurs puissances ont entre elles les rapports marqués dans les Lemmes & les Corollaires précédens, on en conclura à *converso* qu'elles sont en équilibre, ou qu'elles peuvent être substituées l'une à l'autre, &c.

### T H E O R E M E I.

*Fig. 14.* La puissance  $KP$  & la puissance  $OF$  appliquées au levier  $AKOZ$ , *Fig. 14.* n'étant ni parallèles ni convergentes à un même point; on ne peut les mettre en équilibre avec une seule résistance, quelque situation qu'elle eût, ce qui est évident; mais on peut les y mettre avec deux  $AR, ZM$ , dont les points d'application au levier  $AKOZ$  sont arbitraires. Car la puissance  $KP$  peut faire équilibre avec deux résistances  $AQ, ZL$  situées dans le plan  $APZ$ : pareillement  $OF$  peut faire équilibre avec deux autres résistances  $AT, ZN$  situées dans le plan  $AFZ$ . Or on peut substituer aux deux  $AQ, AT$ , une seule  $AR$ , & pareillement aux deux  $ZL, ZN$  une seule  $ZM$ . On se souviendra que  $zl$  peut être substituée à  $ZL$  pour faire équilibre avec  $KP$ , & que  $zn$  peut tenir lieu de  $ZN$  pour faire équilibre avec  $OF$ .

### T H E O R E M E II.

Le point  $A$  auquel la résistance  $AR$  est appliquée au levier  $AKOZ$  étant donné, la seconde résistance indéterminée  $ZM$  ou  $zm$  est avec le levier dans un plan déterminé  $AZMm$  à quelque point  $Z$  ou  $z$  qu'elle le rencontre, & quelque angle qu'elle fasse avec lui. Quelles que soient les deux résistances  $ZL, ZN$  qui composent  $ZM$ , ou  $zl, zn$  qui composent  $zm$ , l'effort  $ZG$  dérivé de  $ZL$  suivant une perpendiculaire à  $AZ$  est à l'effort  $zg$  aussi perpendiculaire





à  $AZ$  dérivé de  $zl$ , comme la distance  $Az$  est à  $AZ$ ; & comme ces distances sont entre elles, ainsi l'effort perpendiculaire  $ZI$  dérivé de  $ZN$ , est à l'effort perpendiculaire  $zi$  dérivé de  $zn$ ; donc  $ZG, ZI :: zg, zi$ , donc les parallélogrammes  $GHIZ, ghiz$  sont semblables, donc l'effort perpendiculaire  $ZH$  composé des deux  $ZG, ZI$ , fait avec l'un & l'autre des plans  $APZGLI, AFZINn$ , des angles respectivement égaux à ceux que fait avec chacun de ces plans l'effort perpendiculaire  $zh$  résultant de  $zg, zi$ , & partant  $ZH, zh$  sont dans un même plan avec  $AZz$ . Or les efforts parallèles à  $AZz$  qui étant joints à l'effort  $ZH$  ou  $zh$  perpendiculaire à  $AZz$  composent la résistance  $ZM$  ou  $zm$ , sont aussi dans le plan  $AZHMm$ , donc &c.

*Corollaire.* La résistance  $ZM$  est à celle  $zm$ , qu'on peut lui substituer pour servir à l'équilibre avec  $OF, KP$ , lui est, dis-je, comme le produit  $Az \times \sin. mzA$  est au produit  $AZ \times \sin. AZM$ .

Le point  $Z$  étant choisi, on prouvera de même que toutes les résistances  $AR, ar$  qui, substituées l'une à l'autre, peuvent contribuer à l'équilibre de  $KP$  &  $OF$ , sont dans un même plan déterminé  $ZARr$ .

*Avertissement.* Dans la suite, les directions des forces situées dans le plan  $APZ$  qui feroient équilibre avec  $KP$ , seront, ainsi que ces forces, nommées en général  $Aq, Zl$ , & en particulier  $AQ, ZL$  quand elles seront supposées parallèles à  $KP$ : pareillement les directions & les forces situées dans le plan  $AFZ$  qui feroient équilibre avec  $oF$ , seront en général nommées  $At, Zn$ ; & en particulier  $AT, ZN$ , quand elles seront parallèles à  $OF$ :  $Ar, Zm$  seront les noms généraux des deux résistances qui font équilibre avec  $KP$  &  $OF$ ;  $AR$  est le nom spécial de la résistance composée de  $AQ$  &  $AT$ ;  $ZM$  est celui de la résistance composée de  $ZL$ , &  $ZN$ .

Sij

## THEOREME III

*Fig. 15.* Soit, *Fig. 15.*  $K\phi$  parallele à  $OF$ , & soient  $K\rho$ ,  $K\mu$  les interfections des plans  $ZARr$ ,  $AZMm$  par le plan  $P\mathbb{R}\phi$ . Je dis que dans l'état d'équilibre des puissances  $KP$ ,  $OF$ , la puissance  $KP$  est à celle  $OF$ , 1<sup>o</sup>. comme le produit  $OZ \times \sin. \phi K\rho$  est au produit  $KZ \times \sin. PK\rho$ , car

$$KP.AQ:: AZ \quad KZ$$

$$AQ.AT:: \sin.TAR = \phi K\rho. \sin. QAR = PK\rho$$

$$AT.OF:: OZ \quad . \quad AZ \quad \text{donc en multipliant}$$

par ordre, &c. 2<sup>o</sup>.  $KP.OF:: AO \times \sin. \phi K\mu. AK \times \sin. PK\mu$

$$KP.ZL:: AZ \quad . \quad AK$$

$$ZL.ZN:: \sin.NZM = \phi K\mu. \sin. LZM = PK\mu$$

$$ZN.OF:: AO \quad . \quad AZ \quad \text{donc}$$

en multipliant, &c.

*Corollaire.* Du premier rapport de  $KP$  à  $OF$ , on déduit celui-ci, qui fait connoître la situation du plan  $ZARr\rho$ ;  $\sin. PK\rho. \sin. \phi K\rho :: OF \times OZ. KP \times KZ$ . Et du second rapport de  $KP$  à  $OF$ , naît cet autre qui donne la situation du plan  $AZMm\mu$ ;  $\sin. PK\mu. \sin. \phi K\mu :: OF \times AO. KP \times AK$ .

## THEOREME IV.

Dans l'état d'équilibre des quatre puissances  $Ar$ ,  $KP$ ,  $OF$ ,  $Zm$ ,

1<sup>o</sup>.  $KP.Ar :: AZ \times \sin. tAr. KZ \times \sin. tAQ$ ; car  $KP.AQ :: AZ, KZ$   
 or  $AQ.Ar :: \sin. tAr. \sin. tAQ$

2<sup>o</sup>.  $KP.Zm :: AZ \times \sin. nZm. AK \times \sin. nZL$ ; car  $KP.ZL :: AZ, AK$   
 or  $ZL.Zm :: \sin. nZm. \sin. nZL$

3<sup>o</sup>.  $OF.Ar :: AZ \times \sin. qAr. OZ \times \sin. qAT$ ; car  $OF.AT :: AZ, OZ$   
 &  $AT.Ar :: \sin. qAr. \sin. qAT$

4<sup>o</sup>.  $OF.Zm :: AZ \times \sin. lZm. AO \times \sin. lZN$ ; car  $OF.ZN :: AZ, AO$   
 &  $ZN.Zm :: \sin. lZm. \sin. lZN$

*Scholie.* On peut encore trouver une seconde expression du rapport de  $KP$  à  $Ar$ , qui sera composée des parties  $OK$ ,  $AO$  du levier & des sinus des angles de  $AQ$  &  $Ar$  avec



la section du plan  $tArQ$  par le plan  $AZMm$  : il y a pareillement une seconde valeur du rapport de  $KP$  à  $Zm$ , composée des parties  $OK$ ,  $OZ$  du levier & des sinus des angles de  $ZL$  &  $Zm$  avec la section du plan  $nZmL$  par le plan  $ZARR$ . Il y a aussi une seconde valeur de chacun des rapports de  $OF$  à  $Ar$  &  $Zm$ . Enfin il y a une double expression du rapport de  $Ar$  à  $Zm$ . Toutes ces valeurs sont aisées à trouver si on tire les lignes, & si on fait les décompositions nécessaires ; mais cela passeroit les bornes d'un abrégé.

*Autre Scholie.* Soient, *Fig. 16.*  $K\phi$ ,  $K\rho$ ,  $K\mu$  respectivement égales & parallèles à  $OF$ ,  $Ar$ ,  $Zm$ , on reconnoîtra aisément que si les puissances  $OF$ ,  $Ar$ ,  $Zm$ , qui faisoient équilibre avec  $KP$  sont transportées en  $K\phi$ ,  $K\rho$ ,  $K\mu$ , elles y feront encore équilibre avec  $KP$  : c'est pourquoi si on fait sur deux directions quelconques un parallelogramme, par exemple,  $PK\phi Y$ , & un autre  $\mu K\rho v$  sur les deux autres, la diagonale  $KY$  fera égale & directement opposée à la diagonale  $Kv$ . Or si les quatre lignes  $KP$ ,  $K\phi$ ,  $K\rho$ ,  $K\mu$  sont dans un même plan, ce qui arrive quand les deux résistances sont  $AR$ ,  $ZM$ , on reconnoîtra encore que la somme  $AR + ZM$  est moindre que la somme  $KP + OF$ , si les points  $O$  &  $K$  sont entre les points  $A$ ,  $Z$ , mais que la somme première est toujours plus grande que la diagonale  $Kv = KY$ , à moins que l'intervalle  $AZ$  ne soit infiniment grand. Si l'un des points  $A$ ,  $Z$  est entre les points  $O$ ,  $K$ , la somme  $AR + ZM$  est plus grande que dans le cas précédent, & moindre que dans le suivant. Enfin, si les points  $A$ ,  $Z$  sont entre les points  $O$ ,  $K$ , la somme  $AR + ZM$  surpasse l'autre somme  $KP + OF$ , & à plus forte raison la diagonale  $KY$ , &c.

### T H E O R E M E V.

Par quelqu'un des points  $A$ ,  $K$ ,  $O$ ,  $Z$ , *Fig. 15.* c'est-à-dire par l'une des directions des quatre puissances qui *Fig. 15.*

font en équilibre, soit menée à l'une des trois autres directions une droite quelconque, ( soit par exemple  $AS$  menée sur  $Zm$ ;) par les deux autres directions, soient deux plans paralleles, (par exemple  $PK\phi$ ,  $\pi OF$ ;) la droite qui touche les deux premieres directions rencontre ces plans aux points  $X$ ,  $E$ , par chacun desquels soit menée une perpendiculaire sur la direction qui est dans le même plan; ( par exemple, soit  $XY$  perpendiculaire à  $KP$ , &  $EV$  perpendiculaire à  $OF$ .) Je dis que les deux puissances aux directions desquelles on a mené les perpendiculaires, sont réciproque ment comme ces perpendiculaires, par exemple,  $KP$ ,  $OF :: EV$ ,  $XY$ .

Les sections  $K\mu X$ ,  $OE$  du plan  $AZmS$  par les plans  $PK\phi$ ,  $\pi OF$ , sont paralleles; sur  $OE$  soit prise  $Oe = KX$ , & soit  $eu$  parallele à  $EV$ , on aura l'analogie

$EV$ ,  $eu :: OE$ ,  $Oe = KX :: AO$ ,  $AK$ : soit  $OE = KX$  sinus total, on aura  $eu$ ,  $XY :: \sin. FOE = \phi K\mu$ ,  $\sin. PK\mu$ ; donc en multipliant par ordre

$EV$ ,  $XY :: AO \times \sin. \phi K\mu$ ,  $AX \times \sin. PK\mu$ ; : ( *Theor. 3.* )  $KP$ ,  $OF :: EV$ ,  $KY$

Fig. 17.

*Corollaire I.* Par le point  $S$  soit menée une ligne  $Soka$  qui touche les directions  $OF$ ,  $KP$  en  $o$ ,  $k$ , les sections  $oE$ ,  $kX$  du plan  $ASoka$  par les plans paralleles  $PK\phi$ ,  $\pi OF$  sont paralleles; sur  $oE$  prolongée s'il est nécessaire, soit prise  $o\epsilon = Kk$  pour sinus total, & soit  $\epsilon v$  parallele à  $EV$ , on aura l'analogie  $EV$ ,  $\epsilon v :: oE$ ,  $o\epsilon = kX :: So$ ,  $Sk$ ,

& cette autre  $\epsilon v$ ,  $XY :: \sin. FOE$ ,  $\sin. PkX$ ; donc en multipliant par ordre,  $KP$ ,  $OF :: EV$ ,  $XY :: So \times \sin. FOE$ ,  $Sk \times \sin. PkX$  donc;

$KP \times Sk \times \sin. PkX = OF \times So \times \sin. FOE$ ; donc enfin  $\sin. PkX$ ,  $\sin. FOE :: OF \times So$ ,  $KP \times Sk$ . Si on compare cette derniere analogie avec celles du corollaire du Théorème III. on appercevra que les sinus des angles que les directions  $oOF$ ,  $kKP$  font avec les sections  $oE$ ,  $kX$  de leurs plans paralleles par le plan  $ASoka$ , ont entre eux un rapport composé d'éléments semblables, & combinés de la même maniere que ceux mentionnés dans ledit Corollaire. Ainsi on doit conclure que si les trois puissances  $Zm$ ,  $OF$ ,  $KP$ , sans rien changer à leurs directions, sont appliquées à la ligne  $Soka$ , le plan  $ASoka$  est celui où se doit rencontrer

contrer la quatrième puissance qui fera équilibre avec les trois premières, par conséquent *Ar* qui faisoit équilibre avec elles, est dans le plan *ASoka*, & la ligne *Soka* qui touche trois directions, touche aussi la quatrième.

*Corollaire 2.* Si par un point quelconque *S* de la direction d'une des quatre puissances qui sont en équilibre sur un levier, on mène une droite qui touche deux autres directions, cette ligne touchera aussi la quatrième; car de ce point *S* on peut concevoir qu'il part une autre ligne qui touche le levier à un des points où les trois autres puissances lui sont appliquées, &c. Ceci est aisé à vérifier par l'expérience. Soit une baguette suspendue à trois fils qui ne soient ni parallèles ni convergens à un point commun, soit attaché au centre de gravité de la baguette un quatrième fil qui porte un plomb assez pesant pour empêcher les trois autres fils de se courber en chaînette; cet assemblage prendra de lui-même la situation nécessaire à l'équilibre. Soient prolongés les quatre fils en ligne droite, si on cherche un lieu d'où en borneyant on puisse voir trois fils se couper en apparence au même point, on verra aussi le quatrième passer par le même point, parce que la ligne qui touche les quatre directions est alors l'axe visuel. Quand on a trouvé un lieu d'où l'on puisse voir les quatre fils concourir, on peut aisément changer de situation sans cesser de voir les fils se croiser en apparence au même point, parce que le chemin que l'œil doit suivre pour cela, est à peu-près une ligne droite. Ce petit Phénomène m'a paru agréable, & plaira peut-être aux Géomètres. On sçait que la figure du corps auquel sont attachées les puissances qui sont en équilibre, est indifférente à cet équilibre; ainsi je dis en général, que si 4 puissances non parallèles sont en équilibre, la ligne droite qui touche trois directions rencontre aussi la quatrième.

*Cor. 3.* Par les points *X, E*, *Fig. 15.* soient menées *Xp* *Fig. 15;* parallèle à *KP*, *Ef* parallèle à *OF*. Je dis que les résistances *Ar Zm*, demeurant en leur situation, & les puissances *KP, OF* étant transportées en *Xp, Ef*, ces quatre forces

*Prix. 1741.*

T

feroient encore en équilibre ; car si on mene sur  $Xp$ , la perpendiculaire  $Ky$  égale & parallele à  $XY$ , & sur  $Ef$  la perpendiculaire  $Ov$  égale & parallele à  $EV$ , on aura cette analogie  $KP. OF :: Ov, Ky$ , qui est semblable à celle du Théor. 5. puisque  $Ov. Ky$  sont à l'égard de  $AKOZ$ , des lignes homologues à  $XY, EV$ , à l'égard de  $AXES$ . Ainsi pour trouver la valeur des résistances  $Ar, Zm$ , qui sont en équilibre avec deux puissances  $KP, OF$ , il n'est pas nécessaire de connoître la ligne  $AKOZ$  que touchent toutes les directions ; mais il suffit de sçavoir à quels points  $X, E$ , la ligne  $AS$  qui touche les résistances, est coupée par les plans paralleles qui portent les directions des puissances.

*Scholie.* Si trois ou plusieurs puissances sont appliquées à un levier, on prouvera comme on a fait ci-dessus, que deux résistances appliquées à des points arbitraires de ce levier suffisent pour les mettre en équilibre, & que le point d'application d'une résistance étant donné, la seconde résistance indéterminée est avec le levier dans un plan déterminé ; on trouvera différentes valeurs du rapport d'une puissance à l'autre : si toutes les puissances sont situées de telle maniere qu'on puisse mener des plans paralleles par toutes leurs directions, en tirant une ligne d'une résistance à l'autre, & des points où cette ligne rencontre les plans paralleles des perpendiculaires aux directions des puissances, on trouvera que la somme des puissances qui sont d'un côté de la ligne qui touche les résistances, est à la somme des puissances qui passent de l'autre côté de cette ligne, réciproquement comme la somme des perpendiculaires d'une part est à la somme des perpendiculaires d'autre part ; on fera voir que les puissances peuvent être transportées sur la ligne qui touche les résistances sans détruire l'équilibre, &c. Au reste quand il y a plus de quatre forces non paralleles qui sont en équilibre sans être dans un même plan, il n'y a qu'une ligne & quelquefois il n'y en a aucune qui puisse toucher toutes les directions. J'observe à cette occasion une certaine gradation. S'il n'y a que deux puissances qui soient en équilibre, elles sont

sur la même ligne; s'il y en a trois, elles sont sur le même plan, & convergent à un même point, ( si ce n'est qu'elles soient parallèles, ) s'il y en a quatre, elles peuvent être en différens plans: mais une droite peut toucher toutes les directions, & passer par un point quelconque de l'une d'entre elles, &c.

§. II. *Equilibre sur le Treuil entre deux puissances & deux résistances.*

Quoiqu'on n'aye pas encore parlé nommément du Treuil, & des Machines qui sous différens noms lui sont équivalentes, cependant il reste peu de choses à en dire; *Fig. 15. 16. 17.* car on a sans doute apperçu que la ligne *AXES*, *Fig. 15. 16. 17.* est l'axe d'un Treuil dont *A* & *S* sont les points d'appui, & auquel la puissance dirigée suivant *kKP*, & le fardeau dirigé suivant *OoF* sont appliqués, soit par les rayons solides *XY*, *EV*, soit autrement. Ainsi tout ce qu'on a dit dans le §. précédent peut & doit être entendu du Treuil.

Après ce qu'on a dit Schol. 2. Theor. 4. il ne faut qu'un mot pour justifier le reproche d'insuffisance & de fallacité, qu'on a fait à la Théorie de M. Varignon quant à la charge des appuis. Cet habile Géometre s'est contenté de projeter les directions des deux puissances sur un plan *PKφ*, *Fig. 16.* & faisant un parallélogramme *PKφY*, il dit que sa diagonale *KY* représente la charge des appuis. Un génie crédule & borné, un Artisan peuvent s'imaginer qu'un seul appui suffiroit au Treuil; que s'il y en a deux, leurs charges sont dans le même plan, & qu'on n'a qu'à distribuer entre eux la charge *KY*, à peu-près comme on partageroit la charge de la poulie sur ses deux tourillons, &c. Mais tout cela n'est vrai que quand les deux puissances sont réellement dans un même plan, & il faut bien prendre garde en quel point l'axe est rencontré par ce plan, afin de faire une distribution juste de la charge *KY* sur les deux appuis.

Si les deux puissances qui sont en équilibre sur le Treuil sont parallèles, on ne peut pas en rigueur dire qu'une ligne

T ij

$AZ$  qui partiroit d'un des points d'appui, touchera leurs directions : ainsi la méthode proposée semble n'être pas générale. Cependant comme on suppose que des parallèles convergent à un point infiniment éloigné, il seroit aussi permis de supposer qu'une droite qui a un point hors du plan de deux parallèles, touche ces deux parallèles, &c. Quoi qu'il en soit de cette subtilité, sur laquelle j'insiste peu, parce qu'il est bien moins important d'avoir une méthode générale que d'en avoir une commode, on peut aisément démontrer que les deux puissances parallèles chargent les appuis de la même manière qu'elles feroient, si elles étoient transportées sur le point où l'axe est rencontré par leur plan ; ainsi lorsqu'elles tirent en même sens, c'est leur somme, & lorsqu'elles tirent en sens contraire, c'est leur différence qui se distribue sur les appuis.

Fig. 17.

Un calcul fondé sur le Coroll. du Theor. 3. déterminera avec précision la situation des plans  $SAKOZ^m$ ,  $ASokar$  où se trouve la charge indéterminée de chaque appui  $S$ ,  $A$  du Treuil ; mais cette voye est pénible, & d'ailleurs elle suppose que le rapport de la puissance au fardeau est connu, avantage que l'on n'a pas toujours, comme on le sentira dans la suite. On trouvera mécaniquement ces deux plans en tirant les deux droites  $AKOZ$ ,  $Soka$  qui touchent les directions des deux puissances, & même sans tirer ces lignes on estimera à peu-près leur position d'un coup d'œil.

J'ai dit que les résistances  $Ar$ ,  $Z^m$  qui pouvoient faire équilibre avec les deux puissances appliquées ou au levier  $AKOZ$ , ou au Treuil  $AXYEV'S$ , étoient indéterminées ; cela est vrai en général, & en faisant abstraction de la figure des bouts  $A$ ,  $Z$  du levier, ou des pivots  $A$ ,  $S$  du Treuil ; mais en particulier & la figure des pivots du Treuil étant fixée, la couple de résistances seule capable de faire équilibre aux deux puissances est déterminée, ou bien l'équilibre est impossible. Il ne faut qu'une connoissance médiocre de la Méchanique, pour trouver cette couple nécessaire à l'équilibre, & pour voir que la figure cylindrique des pivots est préférable à toute autre.

Si on veut avoir égard à la réaction parallèle des appuis du Treuil au mouvement de ses pivots , ce qu'on a dit jusqu'ici ne cesse pas de subsister ; mais la ligne  $AXES$  doit être distinguée avec soin de l'axe du Treuil : le point  $A$  appartient à la surface de l'un des pivots , & le point  $S$  à la surface de l'autre , en telle sorte que le plan  $ASokar$  fasse avec la surface du pivot  $A$  , & le plan  $SAKOZm$  avec la surface du pivot  $S$  des angles aigus égaux à l'angle  $PRE$  de la figure première. Comme les lieux  $A$  ,  $S$  dépendent réciproquement l'un de l'autre , il y a un très-grand nombre de cas où il seroit difficile de les déterminer géométriquement , & ce sont tous ceux où les plans  $Asokar$  ,  $SAKOZm$  sont distingués ; alors je crois qu'on peut se servir de fausses positions qu'on corrigera l'une après l'autre. Par un point  $A$  choisi par estime sur un pivot , on menera la ligne  $AKOZ$  qui touche les deux puissances , & par cette ligne le plan  $AKOZmS$  qui fasse l'angle requis avec la surface du second pivot , on aura un lieu  $S$  peu différent du véritable ; par ce point  $S$  on menera la droite  $Soka$  , & par cette ligne un plan  $ASokar$  qui fasse l'angle requis avec la surface du premier pivot , on aura un lieu  $A$  beaucoup plus juste que celui qui avoit été estimé , duquel on se servira pour corriger si l'on veut le premier lieu  $S$ . Mais quand les charges des deux appuis sont dans un seul plan , il est facile de trouver géométriquement la situation de la ligne  $AXES$ .

Il est peut-être superflu d'observer que plus les pivots du Treuil sont gros , plus le point  $X$  de la ligne  $AXES$  est voisin de la direction de la puissance  $KP$  , & le point  $E$  éloigné de celle du fardeau  $OF$  , plus par conséquent le rapport d' $EV$  à  $XY$  , égal à celui de la puissance & du fardeau , diminue. Si les pivots sont inégaux , plus les points  $E$  ,  $X$  sont voisins du gros pivot , & plus grande est la diminution du rapport d' $EV$  à  $XY = KP . OF$  , &c.

Lorsqu'il y a plusieurs puissances appliquées au Treuil , & y faisant équilibre , s'il y en a quelques-unes dans le même plan , on trouvera par les moyens enseignés dans les traités

*Fig 18.* de Méchanique, la puissance unique qui leur est équivalente, & on la leur substituera; toutes les substitutions étant faites, s'il reste plus de deux puissances, par exemple, s'il en reste quatre  $OF, KP, of, kp$ , *Fig. 18.* (qu'il seroit à propos de faire en relief a cause de la multitude des plans qu'il faut concevoir,) de l'un des points d'appui  $A, B$ , par exemple, du point  $A$  soit conçue partir la ligne  $AKOZ$  qui touche deux directions  $KP, OF$ , la résistance quelconque  $ZM$ , qui avec une autre résistance  $AR$  pourroit faire équilibre avec les puissances  $OF, KP$ , est dans un plan déterminé  $AZM$ . Du même point  $A$ , soit conçue partir une autre droite  $Akoz$  qui touche les deux autres directions, la résistance quelconque  $zm$  capable avec une compagne  $Ar$ , de faire équilibre avec les puissances  $of, kp$ , est dans un plan déterminé  $Azm$  qui coupe le plan déterminé  $AZM$  dans une ligne déterminée  $AXS$ . Les résistances  $zm, ZM$  composent ensemble une seule résistance indéterminée qui est celle de l'appui  $B$  située dans le plan déterminé  $BAXS$ . (Une opération semblable étant faite en partant de l'appui  $B$ , on verra que le plan où se trouve la résistance de l'appui  $A$  est aussi déterminé.) Soient  $PKX, FOE$  des plans paralleles qui coupent en  $X, E$  la ligne  $AS$  appartenante au plan  $AZM$ ; on a vû Cor. 3. du Théor. 5. que les puissances  $KP, OF$  pourroient être transferées parallelement à elles-mêmes sur les points  $X, E$  sans cesser de faire équilibre avec les résistances  $AR, ZM$ . Soient aussi  $pkx, foe$  deux autres plans paralleles qui coupent en  $x, e$  la ligne  $AS$  appartenante au plan  $Azm$ , les puissances  $of, kp$  peuvent être transportées parallelement à elles-mêmes en  $e, x$ , sans détruire leur équilibre avec  $Ar, zm$ . Par ces transpositions des puissances, on réduit le Treuil à un levier auquel sont appliquées plusieurs puissances, ce qui est le cas indiqué dans le Scholie final du §. précédent. Si les quatre plans  $PKX, FOE, pkx, foe$ , à chacun desquels appartient la direction d'une puissance, sont paralleles, non-seulement les quatre puissances peuvent être appliquées aux points  $X, E, x, e$  de la ligne



$AS$ , sans détruire l'équilibre entre elles & les résistances des appuis  $A, B$ ; mais elles peuvent aussi être placées aux points où les quatre plans parallèles coupent la ligne  $AB$ , & continuer de faire équilibre avec les mêmes résistances qu'auparavant. Cette Observation donne quelque facilité pour calculer la valeur des résistances des appuis  $A, B$ , si l'on veut en prendre la peine.

Ce qu'on vient de dire en dernier lieu pour quatre puissances appliquées au Treuil, peut être étendu au cas où il y en auroit un plus grand nombre, pourvu qu'elles fussent toutes dans des plans parallèles. D'ailleurs il est égal de placer sur un point la puissance unique qui est équivalente à plusieurs forces, ou de placer toutes ces forces sur le même point. Ainsi je dis en général que pour connoître les charges des appuis du Treuil, quand toutes les puissances sont dans des plans parallèles, toutes ces puissances peuvent être censées appliquées aux points où la ligne  $AB$  qui joint les lieux d'appui est coupée par lesdits plans.

*Coroll.* Si toutes les puissances destinées à enlever un fardeau à l'aide d'un Treuil, sont disposées de telle manière que deux à deux elles soient parallèles & égales, l'une de ces deux tirant ou poussant par exemple à l'orient, sa compagne pousse ou tire à l'occident; si elles étoient donc transférées au même point de la ligne  $AB$ , elles ne chargeroient aucunement les appuis; elles ne les chargent donc point dans le lieu où elles sont. C'est le fardeau seul par conséquent, qui dans l'hypothèse proposée charge les appuis de la même manière qu'il feroit s'il étoit appliqué immédiatement à la ligne  $AB$ ; ainsi les charges des appuis sont dans un seul plan parallèle à la direction du fardeau, & ces charges ont au fardeau les rapports marqués dans les Coroll. 4 & 5 des lemmes du §. précédent, *Fig. 13.* La même disposition des puissances étant observée, si au lieu d'enlever un fardeau avec le Treuil, on lui fait faire deux efforts en sens contraire, les appuis ne seront chargés que par la différence de ces efforts.

*Fig. 13.*

*Scholie.* Dans le même cas ou toutes les puissances appliquées au Treuil ou au levier, sont dans des plans parallèles, si toutes ces puissances sont transportées sur des lignes qui menées dans l'un de ces plans, leur soient respectivement parallèles, & qui concourent à un seul point, & que les résistances des appuis du Treuil soient aussi appliquées au même point, parallèlement à leur première situation: tout ce système continuera à faire équilibre de même que celui des quatre puissances  $KP, OF, Ar, Zm$ , dont on a parlé dans la 2<sup>e</sup> Scholie du Theor. 4. L'équilibre subsisteroit encore entre toutes les puissances & les résistances des appuis, si tous les plans parallèles qui contiennent les directions des puissances se rapprochoient & se confondoient en un seul, en sorte que la ligne  $AB$  se réduisît à un point. Ainsi en

*Fig. 19.* projetant sur un seul plan, *Fig. 19.* les directions des forces motrices  $KP, kp$ , & des fardeaux  $OF, of$ , (s'il y en a plusieurs,) appliqués au Treuil conformément à la Methode de M. Varignon qui est fort bonne à cet égard, on trouvera aisément le rapport de la somme des forces motrices à la somme des fardeaux qu'on enleve, ou des efforts que l'on produit avec le secours du Treuil.

Si on mène la droite  $AS$  par le point  $S$  où les directions  $ZM, zm$  se rencontrent, on aura ces analogies: Au triangle  $AZS$ ,  $AZ. AS :: \sin. ASM. \sin. AZM$ , &  $AS. Az :: \sin. Azm: \sin. ASm$  au triangle  $ASz$ : donc en faisant le produit des extrêmes égal au produit des moyens  $AZ \times \sin. AZM \times \sin. ASm = Az \times \sin. Azm \times \sin. ASM$ , donc

*Fig. 18.*  $AZ \times \sin. AZM. Az \times \sin. Azm :: \sin. ASM. \sin. ASm :: zm. ZM$ , c'est-à-dire, que les résistances indéterminées  $ZM, zm$  sont réciproquement comme les sinus des angles que leurs directions font avec la ligne menée du point  $A$  à leur concours.

*Recherche*

# R E C H E R C H E

## DE LA MEILLEURE CONSTRUCTION

### DU CABESTAN.

*Axem si duplicent, motu exercere perenni,  
Funæque perpetuo possunt involvere Nautæ.*

**L**A meilleure construction du Cabestan, est celle qui réunit de plus grands avantages, ou qui est sujette à moins d'inconvéniens ; car cela revient au même sens. J'aurois souhaité que l'Académie les eût détaillés tous aussi distinctement qu'elle en a marqué un ; j'aurois mieux connu le but auquel il faut tendre, & la route qu'il falloit suivre, & j'aurois discerné plus facilement si j'étois en état ou non d'y atteindre. Les inconvéniens du Cabestan qui me sont connus, se réduisent à quatre ; Sçavoir, 1°. La nécessité d'interrompre son mouvement, expliquée dans l'annonce de l'Académie, & ses suites. 2°. La difficulté de dévider de gros cordages sur son essieu, & la nécessité réelle ou prétendue de se servir d'un cordage médiateur nommé Tournevire. 3°. L'inégalité des fardeaux qu'on veut élever, ou des résistances qu'on veut vaincre à l'aide du Cabestan. 4°. Le déchet de l'effet désiré, causé par les frottemens, ou bien par la réaction parallèle des appuis du Cabestan. J'essayerai de sauver ou de diminuer ces inconveniens en quatre articles, qui seront précédés d'un autre, où j'examine quelle est la meilleure situation de l'essieu, & la meilleure disposition des forces motrices. Je suppose que la forme du Cabestan vulgaire est connue.

*Prix. 1741.*

**V**

*Observations sur la situation de l'essieu du Cabestan,  
& sur la position des manœuvres.*

§. I. L'essieu du Cabestan est vertical ; les Machines semblables pour le fond au Cabestan , qui se nomment Treuil , Virevau , &c. ont leur essieu horizontal : il s'agit de comparer ces deux situations d'essieu , pour voir s'il y en a une plus avantageuse que l'autre.

Lorsque l'essieu est vertical , le travailleur appliqué à la Machine , se meut dans un plan horizontal ; il peut marcher assez vite ; mais il ne fait qu'un effort modique horizontal. Lorsque l'essieu est horizontal , le manœuvre aidé par son poids fait dans un plan vertical un effort assez considerable sur le levier ou le rayon qu'il tient ; mais son mouvement est lent. ( Si le manœuvre marche dans un tambour appliqué à l'essieu , il agit par tout son poids ; mais sa direction passe fort près du centre de la Machine , & la vitesse du point auquel cette direction coupe un rayon à angles droits est fort petite. )

Or l'effet d'une Machine qui a acquis une vitesse uniforme, est proportionnel à la quantité du mouvement du fardeau qu'elle élève, c'est à-dire , au produit de la masse du fardeau par sa vitesse ; lequel, si on fait abstraction du dechet causé par le frottement, est égal au produit de la force motrice par la vitesse absolue du point auquel cette force est appliquée, ou doit être rapportée. Si l'effort horizontal que fait un homme, est à l'effort que le même homme fait dans un plan vertical, comme sa vitesse moyenne dans le plan vertical est à sa vitesse moyenne dans le plan horizontal, cet homme produira à-peu-près le même effet à l'aide d'un essieu , soit vertical , soit horizontal. Or il y a quelque apparence que la moyenne vitesse horizontale d'un homme est à la moyenne vitesse que peuvent avoir ses bras dans un plan vertical, reciproquement comme les efforts qu'il fait en chaque maniere. Ce qui peut empêcher la réciprocité , c'est que le mouvement du corps

d'un homme qui tire avec les bras, est alternatif & interrompu, au lieu que celui d'un homme qui marche est presque continu, & interrompu seulement dans ses jambes; c'est pourquoi celui qui marche, dépense peut-être moins de force à proportion pour entretenir son mouvement, que celui qui tire avec les bras pour se donner le sien. Je renvoye sur cela à l'expérience.

Une différence du Cabestan & du virevau, c'est qu'on peut disposer autour du Cabestan un bien plus grand nombre d'hommes qu'on ne peut en mettre sur le virevau, quand même il y auroit une roue ou des leviers à chaque bout de l'essieu du virevau. Ainsi le Cabestan est préférable au virevau, quand il s'agit de faire de grands efforts. Une autre différence de ces Machines, qui est à l'avantage du virevau, c'est que le volume de celle-ci peut être moindre que celui du Cabestan. Les Machines que l'on fait mouvoir avec les pieds, telles que sont celles qui ont un tambour, ont un avantage particulier, c'est que le manoeuvre agissant par son poids, fait nécessairement tout l'effort dont il est capable, pourvu qu'il avance, au lieu que les manoeuvres destinés à pousser ou tirer les leviers plantés dans un essieu, peuvent se soulager aux dépens les uns des autres, ou au détriment de l'effet qu'on veut produire. J'ai vu des coquins de pressureurs qui imitant assez bien la posture de gens qui feroient grand effort, en faisoient cependant sur leur Cabestan très-peu, & au contraire se divertissoient quelquefois à se faire traîner par de bonnes gens qui vouloient les aider.

Une qualité avantageuse particulière au Cabestan, c'est qu'on peut disposer autour de son essieu des forces égales, dirigées parallèlement deux à deux en sens contraire, en sorte que le fardeau seul produise la charge des appuis, suivant ce qui a été dit art. 2. §. 2. du préambule; car le dechet causé par le frottement des pivots sur les appuis du Cabestan en est d'autant moindre que le dechet souffert sur l'effet des autres Machines dont l'essieu est horizontal, dont les appuis sont presque toujours chargés conjointement par le fardeau & par

V ij

les puissances motrices qui tirent de haut en bas , & ne pourroient tirer de bas en haut sans désavantage. D'ailleurs quand les puissances motrices ne contribuent en rien à la charge des appuis , leur situation devient en *certain sens* indifferente à l'égard des appuis , ( ce qui procure de l'aissance pour leur emplacement , & pour celui des barres auxquelles elles sont appliquées , ) au lieu que quand la puissance motrice contribue à la charge des appuis , on doit éviter , autant qu'on peut , de la placer hors de l'intervalle compris entre les appuis , parce que leur charge en seroit augmentée suivant ce qui a été avancé Schol. 2. art. 2 §. 1. du préambule.

J'observe à cette occasion , qu'il ne faut jamais que la direction du fardeau soit hors de l'espace contenu entre les appuis du Cabestan ; car si elle étoit en dehors , la charge des appuis pourroit aisément augmenter jusqu'au double ou au triple , suivant qu'il résulte du §. 2. art. 2. du préamb. Il faut aussi faire les pivots aussi petits qu'on le pourra sans nuire à la solidité de la Machine , & si les pivots sont inégaux , éloigner la direction du fardeau du pivot qui sera plus gros. J'avertis de ces choses , parce qu'il m'a paru qu'on les négligeoit quelquefois. Un des appuis du Cabestan vulgaire est pratiqué dans le pont supérieur du vaisseau , l'autre appui est au-dessous ; or on m'a mandé que dans quelques manœuvres on devoit le cordage amarré au fardeau sur la portion de l'essieu saillante au-dessus du premier pont.

J'ai dit que la situation des forces motrices du Cabestan , à l'égard de ses appuis étoit en certain sens indifferente , parce qu'elle n'est pas telle absolument. Lorsque les barres auxquelles sont appliquées les forces , sont extérieures aux appuis , la solidité nécessaire à la Machine requiert ordinairement que le pivot qui est dans le corps de l'essieu , soit plus gros que celui qui est à son extrémité , & par là lechet que causent les frottemens , se trouve augmenté non-seulement par la raison touchée §. 2. art. 2. du préambule ; mais encore parce que le gros pivot doit glisser sur son appui avec plus de vitesse que s'il étoit petit , & que l'augmen-

tation de la vitesse relative de deux corps augmente leur frottement ou réaction parallele. On peut voir un exemple de ces inconveniens dans les moulins à vent, dont la force motrice est appliquée à la partie de l'arbre saillante hors du corps du moulin; & dans les moulins construits sur des bateaux, qu'on voit à Paris: les autres moulins à eau en sont exemts. La situation des forces motrices au dehors des appuis étant necessaire à quelques Machines, & pouvant être fort avantageuse à d'autres, je tâcherai dans l'article dernier de remedier à cet inconvenient que cette situation entraîne avec elle. (Au reste j'observe que suivant un dessein du Cabestan vulgaire, qui m'a été envoyé de Paris, le pivot ou entaille qui est dans le corps de l'essieu & qui s'appuye sur l'étambraye pratiquée dans le pont supérieur, est égal à l'autre pivot, & tous deux ont un pied de diamètre, l'essieu n'en ayant que trois.)

§. II. Un homme ou quelque animal que ce soit, qui pousse ou tire une barre en marchant, n'est pas capable de faire le même effort lorsqu'il marche vite, que lorsqu'il marche lentement ou qu'il est arrêté. L'uniformité de vitesse à laquelle parviennent necessairement toutes les Machines mues par les animaux, & qui ne peut venir de la seule augmentation de leur frottement, démontre cette décroissance d'effort qu'on pourroit expliquer par des considérations Physico-Anatomiques; mais cela iroit trop loin. Or il faut observer que l'effort que fait un animal, n'est pas reciproque à la vitesse de son allure. (Ce que j'avance ici, n'est pas contraire à ce que j'ai dit à l'entrée du § précédent; là je comparois les vitesses moyennes de mouvemens de differente espèce, & les efforts correspondans à ces vitesses; ici je compare les differentes vitesses d'un même genre de mouvement.) Soit  $CA$ , *Fig. 20.* l'expression de la plus grande vitesse dont un animal est capable, & l'indéterminée  $CE$  une vitesse quelconque; soit  $CB$ , l'expression de l'effort de cet animal sur un obstacle qui l'empêche absolument d'avancer, que l'effort de cet animal mû avec la vitesse  $Ce$  soit representé par  $ef$ ,

parallele à  $BC$ , & ordonnée à une ligne  $BfF$ , qui doit être terminée au point  $A$ ; il est évident, ce me semble, que  $BfFA$  ne peut être une hyperbole qui ait  $AC$ ,  $BC$  pour asymptotes, comme il seroit nécessaire afin que l'effort fût réciproque à la vitesse.

Cela étant, il y aura un degré de vitesse  $CE$  qui étant multiplié par l'effort correspondant  $EF$ , on aura un produit qui sera un *maximum*, & qui sera aussi le *maximum* des effets que l'animal peut produire avec une Machine lorsqu'elle a acquis sa vitesse uniforme, pourvu que l'on fasse abstraction du dechet que cause le frottement ou la réaction parallele des pivots de la Machine. Cependant il y aura des vitesses  $Ce$  moindres ou plus grandes que  $CE$ , dont le produit par l'effort correspondant sera peu différent du *maximum*  $EF \times CE$ , parce que la ligne  $BfFA$  diffère peu de l'hyperbole dans le lieu  $F$ : toutes ces vitesses  $Ce$ , je les nomme avantageuses.

Il est probable que le degré de vitesse auquel répond le *maximum* des effets d'un animal, n'est pas le même pour tous ceux de son espece; ainsi le *maximum* d'un travailleur répondant à la vitesse  $CE$ , le *maximum* d'un autre homme peut répondre à la vitesse  $CI$ , & comme on a dit que le premier homme avoit plusieurs vitesses avantageuses  $Ce$ , le second en aura plusieurs semblables  $Ci$ .

Soit maintenant  $Ce$  la moindre ou l'une des moindres vitesses avantageuses de plusieurs hommes, &  $Ci$  l'une des plus grandes; soit aussi  $CEIA$  la barre d'un Cabestan, dont  $C$  est le centre, & dont la vitesse angulaire est donnée. Les vitesses absolues des différens points de cette barre, & celles des hommes qui y sont appliqués, sont proportionnelles aux distances  $Ce$ ,  $Ci$ , & peuvent être représentées par ces lignes, pourvu que  $CA$  ait été pris d'une juste grandeur. Je dis qu'en distribuant les manœuvres en classes semblables, dont chacune soit composée d'hommes subordonnés les uns aux autres pour la vitesse avantageuse, on peut appliquer une classe à toute l'étendue  $ei$  de la barre, & qu'en



ne doit point mettre de travailleurs hors de cet espace.

Si on vouloit avoir égard au dechet causé par le frottement , il faudroit retrancher de chaque effort  $EF$ ,  $ef$ , la partie  $FG$ ,  $fg$ , necessaire pour vaincre le frottement ; il y aura quelque ordonnée  $e\gamma$  à la ligne  $bgGA$ , dont le produit par l'abscisse  $Ce$  fera le vrai *maximum* des effets utiles que produit mediatement par la Machine l'homme dont le *maximum* absolu est  $EF \times CE$ . Si la ligne  $bgGA$  est plus convexe que  $BfFA$ , du côté de la base  $CA$ , le point  $e$  doit tomber entre  $C$  &  $E$  ; cette considération du frottement n'empêche point de dire en général, qu'il y a une portion des barres du Cabestan où l'on peut appliquer quelques hommes de front.

Les mouvemens angulaires sont entre eux réciproquement comme les distances du centre au point qui a une vitesse absolue donnée. Plus le mouvement angulaire de la barre  $ca$ , *Fig. 21.* surpasse celui de la barre  $CEIA$ , plus le point  $i$  de  $ca$ , dont la vitesse absolue est égale à celle du point  $i$  de  $CEIA$ , est voisin du centre ; c'est pourquoi les lignes  $ce$ ,  $ci$  prises sur  $ca$  étant dans une raison semblable à celle de  $ce$ ,  $ci$  prises sur  $CEIA$ , l'espace avantageux  $ei$  auquel on peut appliquer des hommes de front, est moindre à proportion de la grandeur du mouvement angulaire.

*Fig. 20.*  
21.

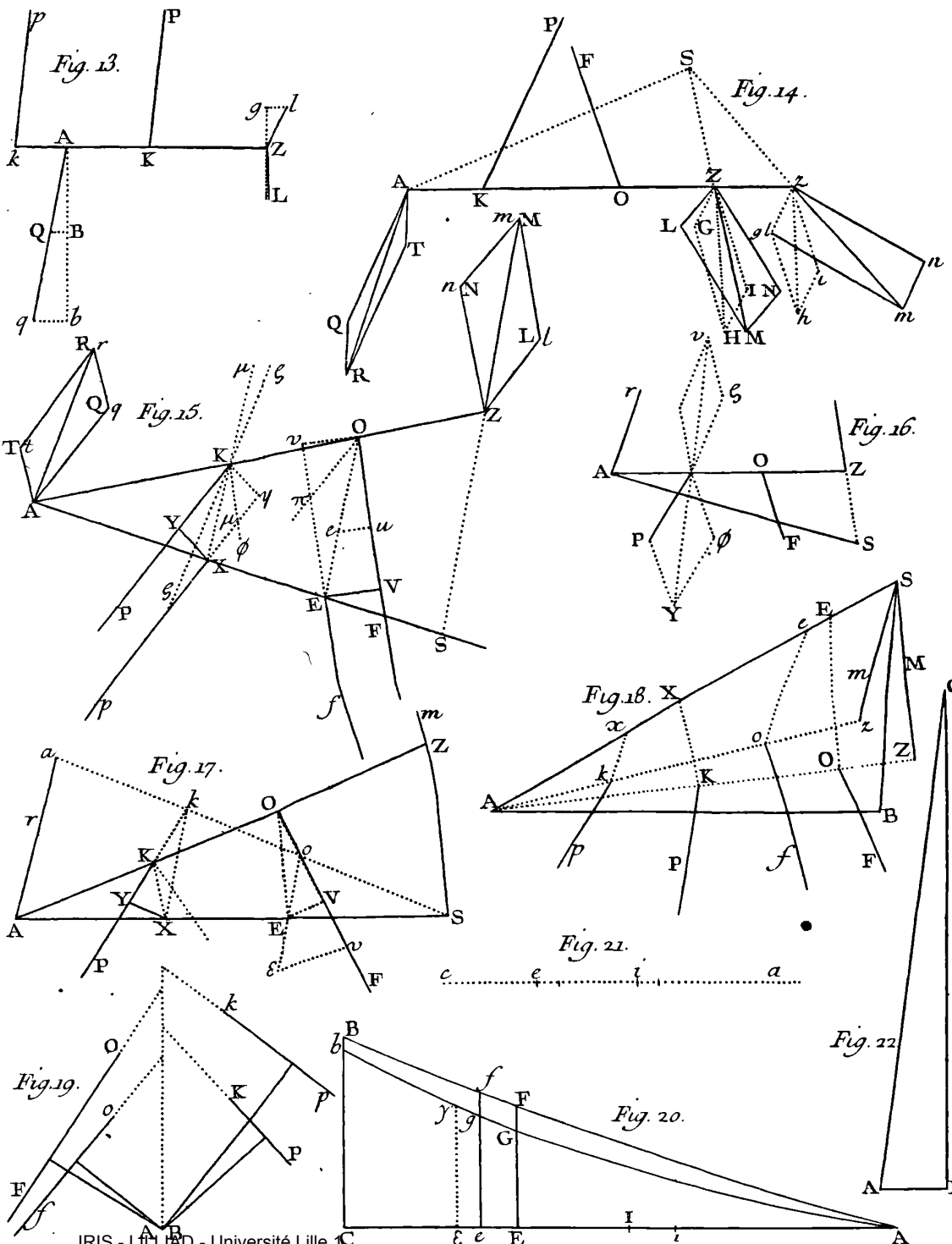
Il s'agiroit maintenant de sçavoir quelles sont les lignes  $BFA$ ,  $bGA$ , & quel est le lieu des *maximum* dont j'ai parlé ; mais j'avoueraï ingenuement que je ne connois pas la nature de ces lignes , & que je n'ai qu'un souvenir confus de l'évaluation que M. de la Hire a faite de la force horison-tale d'un homme : tout ce que j'ai dit jusqu'à present sur ces lignes ne tend qu'à deux fins, l'une est d'établir les propositions générales que j'ai avancées , la seconde est d'indiquer ces lignes , & d'en proposer la recherche à ceux qui peuvent faire les expériences necessaires pour les déterminer. La connoissance parfaite ou approchée de ces lignes me paroît être d'une absolue nécessité pour assigner en détail les proportions des parties du Cabestan, eu égard au nom-

bre des manœuvres qu'on a en sa disposition , à la grandeur des fardeaux qu'il faut enlever , au lieu où le Cabestan doit être placé , &c. Peut-être que les gens experts en la Navigation ont des règles , ou du moins des Observations sur cette matiere , soit touchant la manœuvre du Cabestan même , soit touchant la manœuvre des rames , laquelle est executée par des mouvemens très-inégaux des rameurs.

L'espace avantageux de chaque barre du Cabestan n'est peut-être pas bien grand , & d'ailleurs on n'en peut mettre gueres plus de huit ; c'est pourquoi si l'on a besoin de plus de manœuvres que les huit barres n'en peuvent contenir de front , je conseillerois d'en atteler une partie à des courroyes appliquées au lieu le plus avantageux de chaque barre.

J'ai supposé ci-dessus, que l'effort horifontal qu'un certain homme fait en marchant , étoit déterminé par rapport à sa vitesse. Cette supposition n'est vraie que dans certaines circonstances, & ne l'est pas absolument. Elle est vraie lorsque ( comme il est raisonnable ) on veut ménager les forces d'un homme qui doit travailler long-tems & sans interruption. Elle est fausse étant prise absolument , c'est à-dire, qu'il est vrai en général que l'effort du même homme est indéterminé dans l'état même d'une vitesse certaine , un homme frais & qui ne doit agir que pendant un tems court, peut & doit faire plus d'effort qu'il ne feroit dans d'autres circonstances. Je conviens que c'est le poids du corps du manœuvre , qui est cause de son effort horifontal ; mais il n'est pas la seule ni la principale , l'action des muscles y contribue beaucoup plus , le manœuvre accourcit ses jambes en les pliant , & les allonge successivement en les redressant avec contention : il en est de même de l'effort horifontal , que du mouvement horifontal ; c'est le poids de notre corps qui détermine notre mouvement à devenir horifontal ; mais nous sommes capables d'avancer plus ou moins vite suivant que nous voulons , & que nous pouvons faire plus ou moins d'effort.

ARTICLE





## ARTICLE II.

*Moyens de rendre le Jeu du Cabestan perpetuel.*

§. I. Pendant que l'on vire le Cabestan vulgaire, & que la partie du cordage qui est amarrée au fardeau s'enveloppe d'un côté sur l'essieu, l'arbre, ou la meche, il y a un homme qui tire à lui le cordage de l'autre côté pour le développer, enforte qu'il n'y a que quatre ou cinq révolutions de cordage dévidées sur l'essieu, & jamais moins d'une. (Suivant un autre avis que j'ai reçu, le cordage fait seulement trois revolutions.)

Les révolutions du cordage n'étant donc pas circulaires mais spirales, & se formant successivement sans pouvoir prendre la place des précédentes, chaque nouvelle spire occupe sur l'essieu une nouvelle place plus voisine de l'un de ses bouts; ainsi après plusieurs tours de la Machine le cordage parvient à ce bout, & ne pouvant plus se dévider sans rétrograder & croiser sa partie qui doit être développée, il faut arrêter le mouvement de la Machine pour *choquer*, c'est-à-dire, pour reporter les spires du cordage à l'autre bout de l'essieu, opération qui étant répétée souvent, emporte beaucoup de tems, & fait perdre une partie de l'effort déjà fait: cette partie de l'effort déjà fait qui est perdue par l'interruption du virement, est apparemment celle qui avoit produit tout le mouvement que la Machine, le cordage & le fardeau avoient avant l'interruption; car il faut ensuite produire un mouvement pareil, à nouveaux frais.

Lorsque le cordage passe sur un point fixe pour venir à l'essieu, il ne peut être toujours parallèle à lui-même, mais il doit faire avec l'essieu des angles différens pendant qu'il en parcourt la longueur. Soit  $BC$ , *Fig. 22.* égale à la circonférence de l'essieu,  $AB$  égale au diamètre du cordage, & l'angle  $ABC$  droit; si l'angle du cordage & de la partie de l'essieu cylindrique qu'il va embrasser, est plus petit que  $BAC$ ,

*Fig. 22.**Prix.* 1741.

X

le cordage doit à chaque tour de la Machine avancer transversalement à lui-même sur l'essieu, d'une quantité plus grande que son épaisseur. ( On peut observer pareille chose dans l'entortillement de la chaîne des montres sur le tambour. ) Si l'angle susdit est plus grand que  $BAC$ , le cordage doit porter sur la partie déjà roulée, ce qui fait perdre un peu de force, & frotte sur elle, ce qui gâte le cordage.

Il y a apparence que c'est pour empêcher que les spires du cordage ne s'écartent les unes des autres, que l'arbre du Cabestan vulgaire est figuré en cône tronqué : mais si on fauve par là un inconvenient, on retombe dans celui que je viens de décrire ; outre cela le *moment* du fardeau étant variable, & celui de la force motrice constant, la variation de vitesse, tant du mouvement angulaire de la Machine, que du mouvement absolu des travailleurs, ne peut recompenser la variation de l'effort qu'ils doivent faire conjointement en sorte que l'effet soit toujours un *maximum*, d'autant plus que c'est vers la fin de chaque reprise, & lorsqu'ils sont moins frais, qu'ils doivent faire plus d'effort.

La longueur de l'essieu est modique, la partie destinée à recevoir le cordage n'est que de trois pieds, suivant le dessein qu'on m'a envoyé. Plus la partie du cordage devidée autour de l'arbre feroit de revolutions & occuperait de place, moins il en resteroit à parcourir au cordage, & la nécessité de choquer reviendrait plus fréquemment. Or si l'essieu étoit uni, & que le fardeau fût, par exemple, centuple de l'effort que peut faire le developpeur, il faudroit que le cordage fit au moins cinq revolutions, comme il résulte des Observations & calculs du §. 4. de l'art. 1. du préambule. On a donc revêtu l'arbre de taquets angulaires qui résistent beaucoup plus à l'échappement du cordage, que ne feroit un arbre nud ; & par ce moyen on épargne de la place pour faire faire à la Machine environ deux tours de plus qu'elle ne feroit sans cela entre chaque interruption. Mais l'angle de ces taquets est nuisible au cordage, dans lequel il s'enfoncé ; & il peut encore l'offenser en ce que le cordage

se detendant notablement & venant à se raccourcir, ne peut demeurer toujours colé au même point, & doit froter sur l'angle du taquet.

Avant de chercher le remède à ces inconvéniens, j'observe que la simple interruption du mouvement du Cabestan n'en est pas un aussi grand qu'elle paroît d'abord, surtout si elle est courte ; car elle procure aux manœuvres un rafraîchissement qu'ils peuvent racheter par une plus grande contention pendant qu'ils travaillent. D'ailleurs ce soulagement leur est peut-être assez nécessaire pour qu'ils le prennent, quoique leur Machine pût jouer sans cette interruption ; c'est ce qui dépend de la grandeur des efforts qu'ils doivent faire. ( Les presseurs s'arrêtent souvent pour reprendre haleine, quoique le repos de leur vis rende plus difficile l'ébranlement qui doit suivre. ) Enfin il n'y a peut-être aucun des moyens qui rendent le Cabestan perpétuel, qui ne soit sujet à quelque inconvénient, ou qui ne rende la Machine plus composée, d'un volume plus embarrassant, d'une construction plus difficile, &c. C'est pourquoi afin de ne rien négliger, j'indiquerai dans l'article suivant un moyen d'abréger l'interruption du jeu du Cabestan.

§. II. Tous les moyens de rendre le Cabestan perpétuel conviennent dans un point, qui est de faire en sorte que la partie du cordage qui s'étend du fardeau à l'essieu, & qui doit s'envelopper, soit dans une position constante à l'égard des appuis du Cabestan. Or si le cordage ne fait pas moins d'une révolution sur l'essieu, il n'y a que deux voyes à prendre pour obtenir cette situation du cordage ; l'une est de faire glisser continuellement sur l'essieu la portion du cordage roulée autour de lui, de la faire, dis-je, glisser suivant la longueur de l'essieu, vers le lieu où se fait le développement ; ce qui peut s'exécuter en plus d'une manière qu'il est inutile de détailler ici, parce que cette voye est sujette à plusieurs inconvéniens généraux.

En premier lieu, il faut un surcroit de force pour con-

X ij

traindre le cordage de glisser sur l'essieu. 2°. Chaque point du cordage étant poussé ou tiré par deux forces, l'une qui est dans un même plan avec l'axe, par laquelle on veut le contraindre de couler suivant la longueur de l'arbre, & l'autre qui provient du fardeau, & qui est perpendiculaire à celle là; ce point ne peut céder à la première de ces forces, qu'il ne cède en même-tems à l'autre, suivant ce qu'on a dit à la fin du §. 2. de l'art. 1. du préambule. Ainsi la vitesse du fardeau étant moindre que la vitesse du point extrême du rayon mené de l'axe du Cabestan à l'axe du cordage, on perdrait une partie de l'effort destiné à amener le fardeau. 3°. Le cordage ayant commencé à couler en travers de l'essieu, ne s'arrêtera peut être pas lorsqu'on arrêtera le mouvement de la Machine; car dans cette circonstance du mouvement commencé, la réaction parallèle d'un essieu poli par le frottement continuel du cordage, seroit très-petite: ainsi on seroit en danger de perdre une partie de l'effort déjà fait, à moins qu'on ne multipliât les spires du cordage, jusqu'au nombre de 8 ou 9, comme il résulte du calcul donné pour exemple à la fin du §. 4. de l'art. 1. du préambule. Enfin le frottement du cordage sur l'essieu consumera le cordage; la durée de ce frottement sera d'autant plus longue, que l'on aura augmenté le nombre des spires du cordage, &c.

§. III. Le second moyen de rendre constante à l'égard des appuis la situation du cordage, c'est de faire avancer l'essieu sur ses appuis en sens contraire, & autant que le cordage avance sur lui. Les leviers moteurs de cette Machine devant changer continuellement de place, ce moyen n'est praticable qu'à l'égard de celles dont l'arbre est horizontal, & convient peu à la manœuvre des vaisseaux; aussi ne la proposai-je que par occasion; voici un cas où elle peut servir.

On tire l'eau des puits profonds dans un sceau dont la corde se dévide autour d'un tourniquet: entre ces puits il y en a de très-étroits, & dont le diamètre est moindre que



la longueur nécessaire au tourniquet ; enforte que le sceau étant au fond du puits , la corde & le sceau heurtent un des côtés du puits , & le sceau venant en haut frotte contre l'autre côté. On veut remédier à cela sans grossir l'essieu , & d'ailleurs on veut faire descendre un sceau pendant qu'un autre monte , ce qui exige une plus grande longueur d'essieu. On y réussira en faisant avancer l'essieu du tourniquet sur ses appuis.

Pour cet effet , il faut pratiquer sur l'essieu une canelure spirale , dont le pas soit égal au diamètre de la corde qu'elle doit recevoir , & dont la coupe soit un petit segment de cercle, *Fig. 23.* une canelure correspondante étant faite sur les soutiens *A, S*, il est évident que l'essieu tournera & avancera sur eux en même - tems , ainsi qu'une vis le fait dans l'écroue. La résistance que feront les appuis au mouvement spiral de l'essieu ne surpassera gueres celle qui s'opposeroit à son mouvement circulaire ; mais il faut avouer qu'elle est un peu plus grande que si l'essieu rouloit sur des pivots d'un diamètre moindre que le sien, & que le moment de la force motrice est aussi moindre pour la vaincre ; c'est là le plus grand défaut de cette forme. L'intervalle des appuis *A, S*, ne doit pas excéder celui qui est nécessaire pour laisser passer les deux bouts de la corde. Le levier moteur de la Machine étant hors des appuis , ce qui expose l'essieu à se renverser , & l'appui *A* à être trop chargé , on peut faire dans l'essieu un trou où l'on plantera une broche de fer *BC*, qui portera sur un troisième appui , dont la distance au soutien *S* sera égale à la longueur de l'essieu.

§. IV. Lorsque le cordage fait moins d'une revolution sur l'essieu , il est évident qu'il peut garder une situation constante à l'égard des appuis & de l'essieu lui-même. On peut remarquer cela en différentes Machines qui servent à élever les eaux, nommées *chapelets* , & *chaînes sans fin*: on peut encore observer pareille chose dans les poulies.

Mais le fardeau étant très-grand relativement à la force de l'homme qui bande le cordage en le développant , on

suppose que l'essieu ne peut amener le cordage par son *action parallele*, si le cordage ne fait plus d'une revolution sur lui. Cela étant, il faut diviser la quantité necessaire de revolutions en plusieurs parties moindres qu'une révolution entière, & distribuer ces parties alternativement sur deux essieux cylindriques paralleles, en transportant le cordage de l'un à l'autre, (à peu-près comme on distribue le cordage des mouffes,) en sorte que la partie du cordage qui embrasse l'essieu, soit dans un plan perpendiculaire à l'essieu, & que la partie qui est dans l'air entre les deux essieux leur soit oblique.

- Fig. 24.* Cette distribution du cordage peut se faire en deux manieres. Les cercles *ABED*, *abed*, *Fig. 24*, *25*. sont les sections de deux cylindres; *AEIX*, *aeix*, *Fig. 26*, & *27*. sont des sections des mêmes cylindres paralleles à leurs axes *AX*, *ax*. Le cordage *PB* ayant passé entre les arbres, *Fig. 24*, *26*, & s'étant roulé sur le premier en *BED*, peut retourner entre les arbres, & se rouler sur le second en *bed*, revenir entre eux, & passer autour du premier en *FIG*, ensuite autour du second en *fig*, &c. ou bien le cordage *Fig. 25*. *PB* ayant embrassé le premier arbre en *BED*, *Fig. 25*, *27*. peut aller du même côté *Dd*, au second arbre faire la demi-revolution *deb*, revenir du côté *bF*, pour passer sur le premier arbre en *FIG*, retourner au second en *gif*, de là au premier en *HOL*, &c.

Dans la premiere disposition du cordage, on observera que le cordage se croisant en *C* entre les arbres & ne devant pas se toucher, ses portions *BED*, *FIG*, *HOL*, sont necessairement éloignées au moins de toute l'épaisseur du cordage, au lieu que dans la seconde les demi-révolutions *BED*, *FIG*, *HOL*, peuvent être fort proches, (on ne les a représentées comme elles sont, que pour éviter la confusion,)

- Fig. 24.* c'est pourquoi si *Db*, *Fig. 24* est égale à *Dd*, *Fig. 25*. l'obliquité du cordage à l'égard de l'essieu est une fois plus grande dans la premiere disposition que dans la seconde, Or quoiqu'on puisse faire garder au cordage sa position *bed*

dans un plan perpendiculaire à l'essieu , nonobstant son obliquité en  $D b$ ,  $d F$ , on ne peut empêcher que cette obliquité ne cause un petit dechet sur l'énergie de la Machine ; ainsi la premiere disposition est inférieure en ce point à la seconde ; d'ailleurs le tronçon de l'essieu destiné à recevoir le cordage , doit être plus long dans celle-là que dans celle-ci , ce qui n'est pas indifférent.

Dans l'une & l'autre disposition du cordage , les essieux sont beaucoup plus chargés que n'est l'essieu unique du Cabestan vulgaire , parce que dans chaque passage le cordage les tire de deux côtés. Cette augmentation de charge mérite attention , soit par rapport au dechet que causent les frottemens , soit par rapport au danger de faire courber les essieux : or les essieux sont moins chargés dans la premiere disposition que dans la seconde pour trois raisons ; ainsi la premiere est en ce point préférable à celle-ci. 1°. Dans la premiere disposition le cordage fait sur chaque essieu une plus grande partie de revolution que dans la seconde ; il doit donc faire moins de passages sur l'essieu dans celle-là , & par consequent , &c. 2°. Le cordage  $B P$  étant tendu également par le poids , la partie  $D b$ , *Fig. 24.* est moins tendue que la partie  $D d$ , *Fig. 25.* & ainsi de suite. 3°. Les directions  $B P$ ,  $D b$ , faisant un angle en  $C$ , *Fig. 24.* la charge résultant du concours des tensions de  $B P$  &  $D b$ , est moindre que la somme de ces tensions , au lieu que dans la *Fig. 25.* la charge composée des tensions de  $B P$  &  $D d$ , est à peu - près égale à leur somme

*Fig. 24.**Fig. 25.**Fig. 24.**Fig. 25.*

Il est facile de calculer l'augmentation de la charge de nos essieux ; mais avant que de proposer un exemple de ce calcul , il faut fixer la maniere dont la force motrice doit être appliquée à la Machine ; car elle peut ou être appliquée à chaque essieu , ( soit médiatement , soit immédiatement , ) ou ne l'être qu'à un seul  $A E I X$  : dans le second cas l'essieu  $a e i x$  ne seroit point principe du mouvement du cordage ; au contraire , c'est de lui qu'il recevrait le sien ; il ne serviroit alors qu'à renvoyer le cordage sur le premier essieu ; ainsi

il ne faudroit comprendre dans le nombre de revolutions necessaire à l'action parallele pour amener le cordage, que celles qui se font sur l'essieu *AEIX* unique moteur du cordage : le nombre des passages du cordage sur chaque essieu seroit plus grand, & par conséquent la charge des essieux seroit plus augmentée dans ce cas que dans le premier. Je suppose donc que la force motrice est appliquée à chaque essieu.

Soit le fardeau *M* centuple de la force *V* employée à bander le cordage par le manoeuvre qui le développe, la charge de l'essieu du Cabestan vulgaire, seroit  $M + V = 101,000$  : soient nécessaires quatre révolutions. Dans la seconde disposition du cordage, cette quantité doit être partagée en huit portions, parce que le cordage passera quatre fois sur un essieu, & autant de fois sur l'autre ; le cordage fera sept trajets d'un essieu à l'autre, dans lesquels sa tension sera en progression géométrique si les essieux sont égaux ; c'est pourquoi je prens entre *M* & *V* sept moyennes géométriques *N, O, P, &c.* au premier passage du cordage, le premier essieu sera chargé de la quantité  $M + N$  ; au premier passage sur le deuxième essieu, celui-ci sera chargé de la quantité  $N + O$  ; au second passage le premier essieu sera chargé par la somme  $O + P$ , &c. ainsi le total de la charge du premier essieu sera égal à la somme du fardeau & des sept moyennes proportionnelles *N, O, &c.* la charge totale du second sera égal à la somme des sept moyennes & de la force *V*. Je cherche les moyennes géométriques par leurs logarithmes.

<i>Log.</i> 2,00, <i>M</i> = 100,000		<i>Log.</i> 1,00, <i>Q</i> = 10,000
1,75, <i>N.</i> 56,234		0,75, <i>R.</i> 5,623
1,50, <i>O.</i> 31,623		0,50, <i>S.</i> 3,162
1,25, <i>P.</i> 17,784		0,25, <i>T</i> 1,778

La charge du premier essieu est  $100,000 + 126,205$ , celle du second est  $126,205 + 1,000$ .

La même quantité de révolutions étant divisée en six parties pour la première disposition du cordage, il ne faut prendre

prendre que cinq moyennes proportionnelles entre  $M$  &  $V$ . J'ai trouvé par une opération, partie calcul, & partie construction mécanique, que la charge du premier essieu étoit seulement 164, 05, & celle du second, 76, 15.

Ce n'est pas un inconvénient, mais un avantage, à mon avis, relativement aux grands efforts qu'on fait quelquefois avec le Cabestan, que la combinaison de deux essieux à chacun desquels il convient d'appliquer la force motrice; car en réunissant pour ainsi dire deux Cabestans en un seul, elle donne lieu d'augmenter le nombre des manœuvres qui le servent. Considérons maintenant en détail différens moyens d'appliquer la force motrice à chaque essieu. Si on veut que les essieux soient éloignés, il est nécessaire de partager les Travailleurs en deux troupes, & d'en appliquer une aux barres que l'on mettra à chaque essieu. Pour faire ce partage on observera que les tensions du cordage entre chaque passage étant exprimées par les termes de la progression  $\div M. N. O$ , &c. la force nécessaire pour mouvoir le premier essieu, est à celle qui est requise au second (le reste étant égal) comme  $M - N + O - P + Q$ , &c. est à  $N - O + P - Q + \&c.$  c'est-à-dire, quand les passages du cordage sont en nombre pair, comme  $M$  est à  $N$ . Il faut mettre cette proportion entre les troupes de manœuvres, sinon il faudroit augmenter la quantité des révolutions du cordage. La troupe qui doit servir au second essieu étant moindre que celle qui est nécessaire au premier, on peut donner à celui-là moins de diamètre, & à ses barres moins de longueur qu'à celui-ci dans la même proportion où sont les troupes de manœuvres, qui auront ainsi autant d'espace avantageux l'une que l'autre pour se placer.

L'incommodité qui peut se trouver dans l'éloignement des essieux, c'est que les manœuvres sont obligés de passer deux fois à chaque tour par dessus plusieurs brins de cordage, ce qui nuit à l'effort qu'ils devroient faire; mais cette incommodité n'est pas considérable, si le cordage ne fait que trois révolutions au plus. Un autre défaut de l'éloigne-

Prix. 1741.

Y

ment des effieux , c'est qu'on ne peut remédier si aisément à l'augmentation du frottement causée par l'excès de la charge des effieux.

Si la sujettion du lieu destiné à loger le Cabestan , ou quelque autre raison , oblige à approcher les effieux , on observera d'abord qu'ils doivent être assez voisins pour que les manoeuvres puissent les enfermer dans le cercle qu'ils décrivent autour du centre de leur mouvement. La force motrice ne peut être appliquée en ce cas immédiatement à chaque effieu , sinon en mettant des barres aux bouts opposés *A, x*, ce qui est plus facile à faire à l'égard du virevau qu'à l'égard du Cabestan ; je n'estime pas cependant que cela soit impossible , puisque le Cabestan vulgaire a des barres au dessus & au dessous du pont.

Mais on peut appliquer la force motrice aux deux effieux , ou immédiatement à l'un, & médiatement à l'autre, ou médiatement à chacun. Dans la première disposition du cordage *Fig. 24.* l'un des effieux étant garni de barres à l'ordinaire, on peut ajouter à chaque effieu une roue dentée , & faire engrener l'une dans l'autre ces roues, dont le diamètre doit être en même raison que celui des effieux , afin que le cordage aille de l'un à l'autre avec la même vitesse ; il est clair que cela est faisable dans cette disposition , parce que les effieux virent en sens contraire suivant l'ordre des lettres *B E D, b e d*.

*Fig. 25.* Dans la seconde disposition du cordage *Fig. 25.* les effieux virent en même sens suivant l'ordre des lettres *B E D, d e b* ; on peut mettre entre les deux arbres garnis chacun d'une roue dentée , un troisième arbre *CK* garni d'un pignon ; & afin que les manoeuvres enferment plus facilement les effieux principaux dans leur circuit, ce sera à ce troisième arbre qu'on mettra les barres. Je réserve à l'article 5 , à montrer que dans cette disposition d'effieux on peut rendre le frottement égal & moindre même que celui du Cabestan vulgaire.

§. V. Je n'ai point encore déterminé la quantité de révolutions que le cordage doit faire autour des effieux, & c'est ce

qu'il s'agit de faire maintenant. J'ai déjà dit que le fardeau étant centuple du contrepoids, il faudroit que le cordage fit au moins cinq revolutions ; mais il est important qu'il en fasse moins pour plusieurs raisons dispersées dans cet écrit, & faciles à rassembler.

On ne peut parvenir à diminuer la quantité des revolutions du cordage, sans augmenter le rapport de l'action parallele exercée par l'essieu sur le cordage à la force centrale. Or cette action parallele ne peut excéder certain rapport à la pression perpendiculaire de la surface qui touche la corde ; il reste donc qu'on fasse la pression perpendiculaire différente de la force centrale, & plus grande qu'elle. En voici un premier moyen dont l'exposition éclaircira ce que je viens de dire, ( on a un modèle de ce moyen dans le petit essieu de bois, dont les broches de cuisine sont garnies, ) outre la diminution du nombre des revolutions que ce moyen procure, il sert encore à empêcher que l'obliquité des portions du cordage qui sont hors des essieux, ne les fasse envelopper obliquement sur l'essieu. ( Je fais abstraction de cette obliquité dans les calculs suivans. )

Ce moyen consiste à former autour de l'essieu autant de canelures que le cordage y doit faire de passages, lesquelles soient éloignées autant que la solidité nécessaire à la Machine, & que la disposition du cordage l'exigeront, dont la section *ABba*, *Fig. 28.* soit un trapeze tronqué du triangle isoscele *ACa*, & qui soient telles que le cordage puisse porter sur leurs côtés *AB*, *ab*, sans jamais toucher à leur fond *Bb*. J'ai déjà montré art. 1. §. 2. du préambule, qu'un canal *ACa*, *Fig. 4.* mû suivant *HG*, avoit une force capable d'entraîner avec lui un corps rond tiré directement en sens contraire avec une force *OF*, & poussé outre cela vers le fond du canal par une force *OG* ; c'est *OG*, que j'ai nommé ensuite force centrale ; *OP* est la pression perpendiculaire de l'un des côtés du canal. Il faut à présent déterminer le rapport des côtés du triangle *ACa* ; je vais le faire dans cet exemple.

*Fig. 28.**Fig. 4.*

Y ij

Fig. 4.

Le fardeau est centuple du contrepoids, on veut que le cordage fasse seulement trois revolutions ; je trouve dans la 2<sup>e</sup> Table du § 4. de l'art. 1. du préambule, que l'action parallèle ou la différence de tension, c'est à-dire  $HG$ , Fig. 4. doit être à la force centrale, c'est-à-dire  $OG$ , comme 1 est à 4, 09477578. L'action  $HG$  est double de l'action parallèle  $RP$ , exercée par l'un des côtés ; ainsi  $OG$  doit être à  $RP$ , comme 8, 18955156, est à 1. Or on a observé §. 4. du 1. art. du préambule, que la médiocre action parallèle  $RP$  exercée par le bois, n'étoit à la pression perpendiculaire  $OP$ , que comme 1 est à 7, 0626. Donc  $OG$  doit être à  $OP$ , &  $Aa$  à  $AC$ , comme 8, 1896, est à 7, 0626.

Plus le triangle  $ACa$  feroit aigu, moins il faudroit de revolutions ; mais je ne conseille pas de faire le côté  $AC$  beaucoup plus long que la base  $Aa$ , à cause des inconvéniens où l'on tomberoit, dont il suffit d'expliquer une partie ; sçavoir, que la compression  $PO$  se faisant de chaque côté du canal, & devenant très-grande par l'augmentation de  $AC$ , à mesure que le cordage en abordant la canelure ressentiroit cette double compression, il y cederait en s'aplatissant un peu, & prendroit ainsi un petit mouvement de descente vers le fond du canal : ce mouvement changeroit la direction de la réaction parallèle, & l'empêcheroit d'être opposée directement à l'effort émané du fardeau : le frottement offenserait le cordage, & poliroit les côtés du canal ; en sorte que leur capacité de réagir parallèlement diminueroit. Si le risque de gâter le cordage est bien grand, on peut négliger ce premier moyen de diminuer le nombre des revolutions du cordage, & employer le suivant.

§. VI. Ce moyen consiste en partie à ne pas faire porter le cordage immédiatement sur le bois des essieux, mais sur des matières dont l'action parallèle soit plus grande que celle du bois, tel est le cuir doux, le feutre, &c. ces matières étant flexibles & capables de se mouler sur le cordage, reçoivent les inégalités qui s'y trouvent, & lui adherent plus fortement.



J'ai revêtu un rouleau d'une vieille peau de bazane sèche & mince ; un cordeau bandé par un poids de 9 liv.  $\frac{1}{2}$  & par un contrepoids de 20 onces , lequel faisoit une révolution & demie autour de ce rouleau , étant mis en mouvement , ne continuoit qu'à peine à glisser sur la peau. J'en ai conclu que le moindre rapport de l'action parallèle de la peau à la pression perpendiculaire , étoit comme 1 à 4 , 6466. Le même cordeau ayant été fixé quelques instans , le même poids de 9 liv.  $\frac{1}{2}$  ne pouvoit entraîner le contrepoids réduit à 4 onces ; j'en ai inferé que l'action parallèle étoit alors à la pression perpendiculaire , environ comme 1 à 2 , 6. Enfin lorsque je tournois le rouleau pour élever le poids , un contrepoids de 12 onces bandoit toujours assez le cordeau pour l'empêcher de glisser sur le rouleau ; un contrepoids de 10 onces ne suffisoit pour cet effet , que quand je tournois le rouleau fort lentement : la médiocre action parallèle étoit dans le premier cas à la pression perpendiculaire , comme 1 à 3 , 7117 ; dans le second , comme 1 à 3 , 4634 : on peut prendre un milieu , & la faire comme 1 à 3 , 6.

A s'en tenir là , il résulte de ces observations & du calcul enseigné §. 4. de l'art. 1. du préambule , qu'un cordage étant bandé du côté qu'on le développe avec une force cent quatre-vingt-sept fois moindre que le fardeau , on n'auroit besoin que de trois révolutions de ce cordage sur des essieux garnis des matières dénommées , pour amener certainement le cordage & le fardeau ; si l'on bande le cordage avec une force égale à  $\frac{1}{78}$  du fardeau , deux révolutions & demie suffiront pour le faire obéir aux essieux.

Mais on peut faire encore plus : on formera autour des essieux deux ou trois canelures , dont la section soit un parallélogramme  $MNnm$  , *Fig. 29.* on attachera sur les bords  $M, m$  , un ou plusieurs cuirs forts , qui se courbant en  $KAk$  , feront une canelure demi-ronde , dont la face convexe ne doit que peu ou point toucher les faces de la canelure carrée  $MNnm$  , & dont la face concave  $KAk$

Y iij

fera garnie de cuir doux , ou de vieux chapeaux ; un cordage dont le diamètre soit un peu moindre que  $Kk$  , étant placé dans cette canelure , chacun des côtés de la canelure fera tiré & bandé par la moitié de la force centrale  $OG$ . Cette force  $\frac{1}{2} OG$  est à la somme des compressions perpendiculaires , que la canelure est capable d'exercer sur le cordage , comme le rayon est à la demi-circonférence par le §. 3. de l'art. 1. du préambule ; d'où il suit que la somme des compressions perpendiculaires , sera environ  $\frac{3}{2}$  de  $OG$ . On a trouvé ci-dessus que la médiocre action parallèle , étoit à la pression perpendiculaire comme 1 à 3, 6 ; donc la somme  $HG$  des actions parallèles que la canelure exercera sur le cordage , sera à la force centrale  $OG$  , environ comme 1 à 2, 4. Ainsi deux révolutions & demie du cordage suffiront pour l'amener , & avec lui un fardeau qui seroit six cens quatre-vingt-cinq fois plus grand que la force avec laquelle on bande le cordage en le développant. Deux révolutions suffiront pour amener un fardeau cent quatre-vingt-huit fois plus grand que la même force.

Je crois qu'il est possible que le canal de cuir ait la fermeté nécessaire pour soutenir le cordage sans se rompre & sans céder. Soit le rayon de l'essieu du Cabestan de vingt-cinq pouces , une tranche du canal d'un pouce de largeur prise du côté le plus chargé , ne doit soutenir qu'un poids  $OG$  de quatre cens livres si le fardeau est de dix mille livres , & chacun des bouts de cette tranche sera bandé avec une force de deux cens livres.

Un avantage particulier de cette construction , c'est que le canal de cuir peut servir à des cordages de différentes grosseurs sans que le fardeau les fasse échapper ; car si les petits cordages ne sont pas comprimés par la canelure dans leur demi-circonférence , en récompense chacun des côtés de la canelure est bandé par une force plus grande que la moitié de  $OG$  ; d'ailleurs il n'est pas nécessaire de produire sur les moindres cordages une action parallèle aussi grande que sur les gros , ceux-là étant naturellement destinés à traîner les moindres fardeaux.

§. VII. J'avois crû que s'il y a assez de place sur certains vaisseaux pour y loger deux Cabestans, il y en a assez pour y loger deux essieux ; d'ailleurs les essieux pouvant être si proches, que les manœuvres les enferment dans leur circuit, il me sembloit qu'on pouvoit les situer dans le même lieu qu'occupe un seul Cabestan vulgaire. Mais l'ami dont j'ai déjà parlé, que j'ai prié de s'informer de ce qui concerne le Cabestan pour m'en instruire, & à qui j'ai communiqué ma pensée de doubler l'essieu, m'a mandé que ce projet seroit difficile, & peut-être impossible à exécuter, à cause de la petitesse & de la contrainte du lieu où l'on assuroit que le Cabestan est situé dans les vaisseaux. Cette objection dont je ne saurois bien juger fautive d'avoir vû un vaisseau de mes propres yeux, m'a fait penser aux moyens capables de retenir un cordage dans un seul passage sur l'essieu, lequel soit moindre qu'une révolution ; il est facile d'en imaginer quelques-uns sur le modèle de ces Machines mentionnées ci-dessus, dont la chaîne ne passe qu'une fois sur l'essieu ; mais un cordage souffriroit trop de frottement, si l'on employoit de tels moyens.

En voici un qui n'offensera pas beaucoup le cordage ; mais il est moins simple que celui de la duplication de l'essieu. *KAC*, Fig. 30. est la section perpendiculaire d'une ceinture capable d'embrasser les trois quarts ou environ d'un cordage déterminé ; cette ceinture composée d'autant de bandes de cuir fort, qu'il est nécessaire pour résister à la tension marquée ci-dessous, & revêtue dans l'intérieur de cuir doux ou de feutre, peut avoir environ deux pouces de largeur. Elle est repliée & fermement attachée sur les faces *IL*, il des barres très-solides *KILM*, *Cilm* situées dans le plan *KAC* qui passe par l'axe *XE* de l'arbre, & appuyées sur l'arbre en *LM*, *lm* sur un bout arrondi, en sorte qu'elles puissent tourner autour de ce bout, afin que la ceinture s'ouvre autant qu'il faut pour recevoir & laisser sortir le cordage : un ressort doux, placé sous chaque barre ou dans la ceinture même, donne ce jeu de dilatation à la ceinture. Dans

Fig. 30.

la systole de la ceinture, les barres sont parallèles aux côtés  $OD$ ,  $od$  du rhombe  $ODGg$ , tel que  $oD$  est à  $oG$ , comme huit à six. La ceinture est garnie, vis-à-vis de son centre, de deux espèces d'oreilles, qui s'appuyent ainsi que les barres sur des clavettes fichées dans l'arbre, desquelles elles reçoivent l'effort perpendiculaire au plan  $KAC$ , nécessaire pour amener le cordage. L'arbre est formé par la révolution de la figure  $LMNGnml$  autour de l'axe  $XE$ , & garni dans toute sa circonférence de barres portant des ceintures contiguës, semblables à celle qui vient d'être décrite, lesquelles forment ensemble une espèce de canal dans lequel passe le cordage.

Voyons maintenant ce qui doit arriver quand on tournera cet arbre. Il est évident que le cordage venant à rencontrer le fond d'une ceinture, la poussera vers l'axe par sa force centrale & s'y enfermera. Soit cette force  $= 7\frac{1}{3}$ ; alors chacune des barres sera poussée & repoussera avec une force parallèle à elle-même, qui sera à une certaine partie de la force centrale, sçavoir six, comme le côté  $oD$  du parallélogramme est à sa diagonale  $oG$ , c'est-à-dire, par la construction, comme huit est à six, ou simplement comme huit. La force impulsive de chaque barre se décomposera en deux autres, l'une perpendiculaire à la ceinture, & l'autre parallèle à sa tangente. La première, qui comprimera la ceinture en  $KV$ , & médiatement le cordage, est dans la construction proposée, environ égale à la moitié de la force impulsive de la barre, & par conséquent vaut quatre. La seconde force servira à bander la ceinture, & fera à la force impulsive environ comme sept à huit. Or l'action parallèle de la ceinture sur le cordage, ne peut devenir perpendiculaire au plan  $KAC$ , que la force qui bande la ceinture ne soit à la compression perpendiculaire que la ceinture opérera sur le cordage, comme le rayon est à l'arc  $KAC$ , c'est-à-dire, environ comme sept à trente-deux; d'où il résulte que la compression totale du cordage émanée de la force impulsive des barres, peut valoir jus-

qu'à

qu'à environ quarante. Il nous reste une partie de la force centrale dont il faut montrer l'emploi.

Si les clavettes fichées dans l'arbre sont dans un plan qui passe par l'axe, elles ne transmettent pas sur les oreilles annexées à la ceinture, un effort précisément perpendiculaire au plan  $KAC$  de la ceinture, mais un effort qui lui est un peu oblique, & qu'il faut décomposer en deux, l'un perpendiculaire au plan  $KAC$ , & égal à la somme  $HG$  des actions parallèles, l'autre parallèle au plan  $KAC$  égal & opposé à la partie de la force centrale qui reste, sçavoir à  $1 \frac{1}{3}$ . Cette dernière partie sert encore à bander la ceinture dans l'intervalle d'une oreille à l'autre, & la compression perpendiculaire que le cordage en reçoit, vaut environ deux; ainsi toute la compression perpendiculaire du cordage peut valoir quarante-deux. Or l'action parallèle médiocre des matières qui touchent le cordage, est à la compression perpendiculaire comme 1 est à 3, 6. Elle vaut donc dans notre cas  $11 \frac{2}{3}$ ; la force centrale étant  $7 \frac{1}{3}$ , elles sont l'une à l'autre comme 35 est à 22, comme 1 est à  $\frac{22}{35} = 0,628571428$ ; d'où il suit (& du §. 4. art. 1. du préambule) à cause du voisinage des ceintures qui les rend presque équivalentes à un canal continu, que si le cordage fait autour de l'arbre  $\frac{22}{35}$  d'une révolution, un fardeau cinq-cens-trente-sept fois plus grand que le contrepoids pourra être amené par le Cabestan. Si le cordage ne faisoit qu'une demi-révolution sur l'arbre, je trouve 2, 1714767 pour le logarithme du fardeau qui fera 148, 4 fois plus grand que le contrepoids. Un avantage de cette construction, c'est que si le manoeuvre qui bande le cordage en le développant se sentoit prêt à être vaincu, il peut tout à coup augmenter la quantité de la révolution du cordage sur l'essieu, & l'empêcher ainsi de s'en détacher.

Il est facile de reconnoître ce qu'il y a d'arbitraire dans la construction proposée, & qui peut être changé sans préjudice, ou même à l'avantage de l'effet désiré. La principale attention que l'on doit avoir, est d'empêcher l'ex-

Prix. 1741.

Z

ension de la ceinture ; on pourroit dans cette vue la composer d'une chaîne plate. Il faut aussi faire aux clavettes un petit cran qui retiendra les barres ou les oreilles, pour empêcher la ceinture de se trop ouvrir.

§.VII. J'ai dit que les ceintures attachées aux barres dont l'arbre est revêtu, étoient contiguës ; il y a sur cela une petite remarque à faire. J'ai trouvé par le calcul que le diamètre de la ceinture dans sa systole *KAC*, Fig. 31. est à son diamètre dans sa diastole *kac* environ comme 200 à 228, & que l'arc *kac* est égal environ à  $2 \times (90^{\text{d.}} + 28^{\text{d.}} 34')$  la perpendiculaire *AB* sur *KC*, est à celle *ab* sur *kc* comme 1707 à 1685. Les barres étant prises d'une longueur médiocre, & le diamètre du cordage étant supposé de six pouces huit lignes, j'ai trouvé mécaniquement que la différence *Aa* des distances du fond de la ceinture à l'axe dans sa systole & dans sa diastole, étoit environ d'un pouce & demi ; d'où il suit que cette distance étant supposée d'un pied & demi, les ceintures voisines qui seroient contiguës dans leur systole, seroient éloignées d'environ une ligne dans leur diastole. Les ceintures qui passeront de la diastole à la systole, seront encore plus éloignées l'une de l'autre. On peut craindre que cet écartement & le rapprochement qui se fait ensuite, ne soit nuisible au cordage ; mais j'estime au contraire qu'il est utile, en ce qu'il permet au cordage qui se courbe en se dévidant, de s'accourcir dans sa partie concave, pendant qu'il est contraint de s'allonger dans sa partie convexe.

### A R T I C L E III.

#### *Sur l'usage de la Tournevire.*

La Tournevire est un cordage médiocre que l'on dévide sur l'essieu du Cabestan, & garni de nœux assez proches auxquels est faite successivement avec des *garcettes* une certaine longueur du cordage amarré à l'ancre, lequel est beaucoup plus gros que la Tournevire. Quelques Matelots

dénouent les garcettes du côté que la Tourneviere s'enveloppe, & d'autres en substituent de nouvelles du côté que le cordage fort de l'eau. Ce seroit presque en vain que l'on auroit trouvé des moyens de rendre le jeu du Cabestan perpétuel, si la médiation de la tourneviere étoit d'une nécessité absolue pour amener le cordage. Car outre que les nœuds de la tourneviere s'accordent peu avec les moyens proposés, j'ai peine à croire que les Matelots soient aussi prompts qu'on le dit à lier & délier les garcettes, & que cette opération n'oblige pas à ralentir le mouvement de la machine. Il est vrai au moins que ceux qui la font, pourroient servir utilement ailleurs; ainsi il y auroit quelque chose à gagner à ne point employer la Tourneviere. Voyons donc s'il est possible de s'en passer.

Les raisons de l'usage qu'on en fait, sont, à ce qu'on m'a mandé, 1°. la roideur du gros cordage de l'ancre causée tant par sa grosseur que par le gaudron dont il est plein, laquelle empêche qu'il ne se roule aisément sur l'arbre. 2°. Le danger de froisser le cordage sur l'essieu. Je crois qu'il y en a une troisième; sçavoir, que le cordage ayant jusqu'à six pouces de diamètre, les révolutions qu'il feroit sur l'essieu, couvrieroient une grande partie de sa longueur, & il auroit si peu d'espace à parcourir en se dévidant, qu'il faudroit choquer à chaque instant.

La dernière raison cesse si on dévide sans fin le cordage au même lieu, de quelque maniere que ce soit qu'on l'exécute.

Le seconde raison n'est considérable qu'en supposant que l'essieu est revêtu de taquets; mais on peut & on doit retrancher leur partie qui régné au long de l'essieu, & ne conserver que celle qui recevant les *élinguets*, sert à fixer l'essieu & à donner du relâche aux manœuvres. C'est en partie à dessein d'éviter le froissement & d'empêcher les mauvais effets du frottement du cordage, que j'ai proposé de le loger dans des canaux ou ceintures revêtues de matieres mollasses: je compte que le cordage n'en recevra

Z ij

pas plus d'atteinte (je pourrois dire qu'il en recevra moins) qu'il n'en souffre de sa jonction à la tournevire, de son passage sur les écubiers, &c.

La raison qui subsiste pour obliger à employer la tournevire, c'est celle tirée de la roideur du cordage, & du risque de le gâter en le courbant; car cette raison se subdivise ainsi que je vais l'expliquer, afin qu'on en juge mieux. Quand on courbe un cordage, la partie concave doit s'accourcir, & la convexe s'allonger; mais cet accourcissement & cet allongement ne sont pas semblables à ceux que souffriroit un bâton dont les fibres sont parallèles; car les brins dont le cordage est composé étant spiraux, en sorte que le même brin se trouve alternativement dans la partie concave, & dans la partie convexe du cordage courbé, la portion du brin qui est dans le côté convexe, ne souffre pas une extension de ses fibres aussi grande que celle que reçoit ce côté considéré comme un tout; & la portion qui est dans le côté concave, ne s'accourcit pas non plus autant que ce côté, mais celle-ci est forcée de prêter quelque chose à l'autre, ce qui ne peut se faire sans un mouvement sourd des parties internes du cordage. Or ce mouvement brise le gaudron, & réciproquement le gaudron, ainsi que l'adhésion des brins causée par la traction du fardeau, empêchent ce mouvement d'être aussi grand qu'il seroit nécessaire pour que les brins ne s'allongeassent ni ne s'accourcissent aucunement. Il faut donc pour courber un cordage roide, une force capable de donner à ses brins l'extension dont ils ont besoin dans leur portion qui est dans le côté convexe, & cette force est toujours perdue sur l'effet désiré, qui est le transport d'un fardeau. *baAD* est un cordage roulé autour d'un cylindre. *DAd* est un cercle qui a pour circonférence la ligne moyenne de la portion de cordage roulée. Si quelque force est nécessaire pour courber le cordage, l'axe *ab* de sa portion étendue en droite ligne, n'est pas une tangente du cercle *DAd*; mais elle en doit être éloignée plus ou

Fig 32.



moins, suivant que la force nécessaire pour courber le cordage est grande ou petite. Comme  $Ca$  distance du centre du cylindre à l'axe  $ab$ , est à la différence  $Ca - CA$ , ainsi la force qui fait équilibre avec le fardeau qui bande le cordage, est à la partie de cette force employée à courber le cordage. Autant de fois le cordage passe de la situation droite à la situation courbe, autant il faut de surcroîts de force semblables à celui que je viens d'assigner. C'est un des inconvéniens de la duplication des essieux, dont je suis bien aise d'avertir. On observera que le cordage ne touche pas le cylindre aussi-tôt qu'il passe à l'état de courbure; mais il y a quelque espace  $fg$  qui n'est pas couvert ni comprimé, quoiqu'il semble l'être. J'ai négligé de faire état de cet espace dans les calculs de l'article précédent.

Je n'examinerai point ici s'il y auroit une structure du cordage avantageuse pour son roulement sur l'essieu du Cabestan; mais je me restraints à dire qu'on diminuera les inconvéniens causés par la roideur du cordage, si on le dévide sur un arbre plus gros que l'ordinaire: or si on veut doubler les arbres, & pratiquer la disposition du cordage représentée, *Fig. 25. & 27.* il est possible, ( je parle en général ) d'employer de gros arbres, ou plutôt des tambours (*peritrochia*,) sans augmenter la force motrice, ni le rayon auquel elle est appliquée, parce que l'on augmentera le diamètre de la roue dentée que portent les arbres à proportion qu'on les augmentera eux-mêmes; ainsi il n'y a aucun changement à faire à l'arbre mitoyen.

*Fig. 25.  
27.*

Le dessein de parer les mauvais effets de la roideur du cordage, n'est pas le seul motif qui doit exciter à employer de gros arbres; leur grosseur a encore d'autres avantages. 1°. Plus l'arbre sera gros, moindre sera la charge des canaux, & la compression perpendiculaire du cordage dans une étendue donnée. 2°. Plus aussi sera long le séjour du cordage sur la partie à laquelle il sera appliqué, ce qui sert à augmenter l'action parallèle, & à empêcher d'autant plus sûrement le cordage de s'échapper en glissant. Enfin la ré-

Z. iij

sistance parallele des appuis des arbres au mouvement de leurs pivots , requiert un moindre surcroît de force motrice pour être vaincue.

Si la grosseur du cordage de l'ancre empêche absolument de le dévider sur le Cabestan , on pourroit choisir entre l'un de ces moyens.

Le premier seroit d'amarrer à l'ancre deux cordages également longs , mais inégaux en grosseur , qui conjointement assureroient le vaisseau contre les coups de mer , & dont le moindre qui seroit égal à la tournevire ordinaire , serviroit à amener le gros cordage avec l'ancre : ces deux cordages seroient joints d'espace en espace avec des nœuds de corde assez lâches , que l'on délieroit à mesure qu'ils se presenteroient.

L'autre moyen seroit d'imiter avec les deux bouts de la tournevire l'action d'un homme qui tire une corde par l'action alternative de ses bras : on placeroit le Cabestan sur l'arrière du vaisseau ; on attacherait au cordage de l'ancre à des intervalles égaux à la distance du Cabestan à l'avant du vaisseau , de fortes boucles ou anneaux de corde ; on armeroit d'un bon crochet chaque bout d'une tournevire , qui seroit plus longue que l'intervalle des boucles du cordage , de la quantité requise pour former les révolutions nécessaires de la tournevire sur l'essieu ; un des bouts de cette tournevire étant roulé sur un des bouts de l'essieu du Cabestan , on feroit le cordage avec le crochet annexé à l'autre extrémité de la tournevire , & on l'ameneroit aussi près du Cabestan qu'il seroit possible ; pendant ce mouvement , l'autre bout de la tournevire se développeroit , & on le porteroit sur l'avant pour accrocher la boucle suivante du cordage : alors on vire-roit le Cabestan en sens contraire du mouvement précédent ; la partie de la tournevire répondante au premier crochet , se développeroit à son tour , & étant dégagée de la première boucle du cordage , seroit transportée sur l'avant du vaisseau , pour y saisir une troisième boucle : alors on vire-roit le Cabestan dans le premier sens , &c. & ainsi de suite , un

des crochets de la tournevire ameneroit le cordage , & seroit alternativement porté sur l'avant du vaisseau , cependant la tournevire monteroit & descendroit alternativement sur l'essieu.

En se servant ainsi la de tournevire , il seroit superflu de mettre des élinguets autour de l'essieu pour l'arrêter ; car si on en avoit besoin , on pourroit le faire lorsque les deux bouts de la tournevire seroient accrochés au cordage. Au reste , il est sensible que l'interruption du mouvement qui seroit à chaque mutation pourroit être fort courte.

## ARTICLE IV.

*Touchant l'inégalité des efforts qu'on est obligé de faire avec le Cabestan.*

Le Cabestan sert à lever des ancrs & autres fardeaux de poids très-différens , & lorsqu'on leve l'ancre , il faut plus d'effort pour la détacher du fond , que pour l'amener en haut , après qu'elle est détachée : or si on étoit réduit à n'avoir qu'un seul Cabestan de forme vulgaire pour produire les différens efforts , je dis que l'effet ne seroit que rarement un *maximum*.

Supposons que l'effet étoit un *maximum* , lorsqu'un certain nombre d'hommes , dont la moyenne distance du centre du Cabestan étoit  $D$  , & qui remplissoient tout l'espace avantageux  $E$  , appartenant à cette distance , amenoit un certain fardeau  $F$  : s'il s'agit d'amener ensuite un autre fardeau  $f$  , qui soit , par exemple , moitié du premier ; ou on diminuera le nombre des travailleurs , & dans ce cas , quoique l'effet puisse être encore un *maximum* relativement au nombre restant de manœuvres , il ne fera pas tel par rapport au total de la force qu'on pouvoit employer : ou on les gardera tous dans ce cas , afin que l'effet fût un *maximum* , il faudroit que le fardeau  $f$  reçût une vitesse double de celle avec laquelle  $F$  a été transporté , & partant il faudroit que la vitesse an-

gulaire du Cabestan fût doublée: or cela est impossible, car si on laisse les manœuvres à leur première distance  $D$  du centre, il faudroit qu'ils marchassent une fois plus vite que la première fois, & qu'ils fissent en même-tems un effort souble de celui qu'ils faisoient pour amener le fardeau  $F$ ; mais c'est ce qu'ils ne peuvent faire, ainsi qu'il résulte de l'art. 1. §. 2. & de l'hypothèse, que le transport du fardeau  $F$  étoit un *maximum*. Il suit du même article que pour obtenir le *maximum* désiré, ils devroient marcher avec la même vitesse absolue que la première fois, & par conséquent s'approcher une fois davantage du centre du Cabestan; mais ils ne peuvent le faire sans préjudice de l'effet, parce qu'ils ne peuvent se placer tous dans le lieu avantageux qui appartient à cette distance diminuée, puisqu'il n'est que moitié de celui  $E$ , qu'ils emplissoient la première fois.

Si au contraire le fardeau  $f$  est plus grand que le fardeau  $F$ , on peut bien avoir un *maximum* en diminuant la vitesse angulaire de la Machine, & en éloignant les manœuvres de son centre; mais alors ils ne rempliront pas tout l'espace avantageux de leur distance augmentée, ce qui seroit un défaut d'une autre espèce, consistant en ce que la Machine auroit plus de volume qu'il n'est absolument nécessaire, & que son arbre seroit trop gros par rapport au grand fardeau  $f$ .

Puisqu'il est de l'intérêt des Navigateurs de ménager le tems dans plusieurs occasions, ils doivent accélérer le plus qu'ils peuvent le transport des fardeaux, & par conséquent ne rien (ou très-peu) retrancher de la force motrice qu'ils ont dans leur disposition: le seul moyen qu'ils ont dans ces circonstances pour obtenir le *maximum*, & pour observer les proportions requises à cet effet, c'est de faire le rayon de l'arbre en raison à peu-près réciproque au fardeau qu'ils veulent amener. Or le jeu d'un Cabestan étant rendu perpétuel, cela se peut faire directement, ou par équivalent.

En premier lieu on pourroit faire sur l'arbre ou sur les deux arbres, dans la hauteur égale à celle des effieux vulgaires,

gaires, trois ou quatre étages de diamètre différens : on dévideroit sur le gros bout les cordages servants aux moindres fardeaux, & sur le bout opposé, ceux qui servent aux plus grands, &c. On apperçoit sans doute que cette distribution des cordages qui est utile pour donner plus de vitesse aux moindres fardeaux, a l'inconvénient d'être contraire à l'ordre naturel, eu égard à la différente grosseur des cordages; car cet ordre demanderoit que les plus gros, (c'est-à-dire, ceux qui servent aux plus grands fardeaux) fussent dévidés la plus grosse portion de l'essieu.

On évitera cet inconvénient dans la disposition des arbres & du cordage des *Figures 25. & 27.* en faisant virer les deux gros arbres *ABED, abed*, à l'aide d'un arbre mitoyen, auquel soient ajustés des pignons de différens diamètres. Si on prend cet équivalent, les arbres ou tambours *ABED, abed*, pourront être fort courts, & occuper très-peu de place, enforte qu'on aura la commodité de mettre des barres à chaque bout de l'arbre mitoyen, ce qui est avantageux ou pour loger un grand nombre de travailleurs, ou pour donner moins de longueur aux barres, & de grosseur aux pignons de l'arbre mitoyen.

*Fig. 25.  
27.*

#### ARTICLE DERNIER.

*Sur la résistance que les appuis du Cabestan. font  
au virement de ses pivots.*

Si la réaction parallele est utile pour arrêter les corps les uns sur les autres; si par exemple elle fixe le cordage sur l'essieu du Cabestan, & si elle affermit les pieds des hommes & des animaux qui meuvent les Machines & les voitures; en récompense elle nuit au mouvement relatif des corps, & consume en pure perte une partie notable de la force motrice des Machines. J'ai cherché les moyens de l'augmenter, & d'en profiter dans ce qu'elle a de bon; je vais maintenant essayer d'éviter, ou au moins de diminuer, ce qu'elle a de mauvais.

*Prix. 1741.*

A a

La grandeur de la force consumée par la résistance parallèle ou frottement des Machines, dépend en partie de la grandeur de la charge des appuis ; j'ai déjà fait quelques observations sur ce sujet dans le premier article, & je n'en répéterai rien ici. J'ajoute seulement qu'il y a une contrariété au sujet de la grosseur des pivots : lorsque la direction du fardeau est plus voisine d'un pivot que de l'autre, la solidité de la Machine demanderoit que ce pivot fût plus gros que l'autre ; mais l'intérêt de ménager la force motrice exigeroit au contraire que ce pivot fût plus petit : il est certain qu'il faut avoir égard par préférence à la solidité ; supposons donc qu'on fait tourner une Machine sur un pivot fort gros : voici un remède contre l'excès de la résistance que souffre ce pivot.

*Fig. 33.* Le cercle  $DAB$ , *Fig. 33.* est la section d'un gros pivot, le cercle  $Dab$  est la section d'un cylindre dont la longueur est égale à celle du pivot, & dont le diamètre est arbitraire ; ce cylindre porte, & peut tourner sur deux tourillons, dont le cercle  $PRE$  est la projection ; la droite  $DRE$  est la projection du plan dans lequel est la direction de la charge du pivot  $AB$  ; ce plan rencontre obliquement la surface du tourillon en  $E$ , en sorte que l'angle  $PER$  est égal à l'angle du même nom de la Figure première ; ce plan passe par  $D$  le lieu du contact des deux cylindres, & rencontre moins obliquement la surface du pivot  $DAB$ , qu'il ne fait celle du tourillon  $PRE$ . Lorsqu'on fera tourner le pivot  $DAB$ , je dis qu'il ne glissera pas sur le cylindre  $Dab$  ; mais qu'il l'entraînera, & le contraindra de tourner sur son tourillon  $PRE$ . (J'en omets la preuve, parce que je suis pressé par l'approche du terme fatal.)

Or si le pivot de la Machine étoit contraint de glisser à l'ordinaire sur un corps fixe en  $e$ , la charge de ce pivot seroit dirigée suivant  $re$ , à peu-près parallèle à  $DRE$ , & seroit avec le rayon  $Ce$  un certain angle  $per$ . Je dis d'abord que cet angle seroit plus grand que l'angle  $PER$ , parce que la vitesse angulaire de la Machine étant supposée égale dans

Les deux cas , la vitesse relative du pivot  $DAB$  sur un point fixe  $e$ , seroit plus grande que celle du tourillon  $PRE$  sur son appui , & partant la réaction parallele que souffriroit le pivot  $DAB$ , seroit plus grande que celle que souffre le tourillon du cylindre, &c. En second lieu, en supposant que les angles  $per$ ,  $PER$ , sont égaux, je dis que la distance de la charge  $DRE$  au centre  $C$ , est à peu-près à la distance de  $re$  au même centre, comme le rayon  $KE$  du tourillon est au rayon  $KD$  du cylindre ; ainsi la puissance motrice a un moment plus grand pour mouvoir le pivot sur le cylindre mobile , que pour le mouvoir sur un point fixe, &c.

Pour situer le cylindre sous le pivot, il faut connoître à peu-près la direction de la charge du pivot, l'article 2. du préambule enseigne ce qu'il y a à faire pour la trouver ; pour empêcher le pivot de s'échapper de dessus le cylindre, il faut mettre à ses côtés  $A, B$  deux appuis fixes qui porteront, en cas de besoin, la force qui pourroit faire échapper le pivot de côté ou d'autre.

La direction du cordage qui se dévide sur le Cabestan ; ne fait pas toujours le même angle avec la quille du vaisseau ; puisque ce cordage passe tantôt par un écubier, & tantôt par un autre ; ainsi la direction de la charge des pivots du Cabestan n'est pas fixe : on peut remédier à cet inconvénient , ou en changeant la situation des appuis du cylindre  $Dab$ , à chaque fois que la direction du cordage est chargée, en sorte que la ligne  $CK$ , qui joint les centres du cylindre & du pivot, fasse toujours un même angle avec la direction de la charge ; ou en faisant porter le pivot sur deux cylindres, en sorte que la direction variable de la charge passe entre les deux cylindres ; ou enfin on se contentera de placer le cylindre, en sorte que la ligne  $CK$ , qui joint son centre à celui du pivot, tienne un milieu entre toutes les directions variables de la charge du pivot. Dans ce dernier cas, l'un ou l'autre des appuis fixes du pivot, lesquels doivent être paralleles à  $CK$ , portera une partie plus ou moins grande de la charge du pivot ; mais le cylindre en

A a ij

portera encore une bonne partie , & ne fera pas inutile à la force motrice pour l'aider à vaincre le frottement.

Fig. 25. 27. Il me reste à montrer la construction des appuis du Cabestan composé des trois arbres représentés , Fig. 25. 27. & à prouver que nonobstant l'excès de la charge de chacun des arbres extérieurs sur celle de l'essieu du Cabestan vulgaire , le frottement de cette Machine ne seroit pas plus grand que celui de celle-ci.

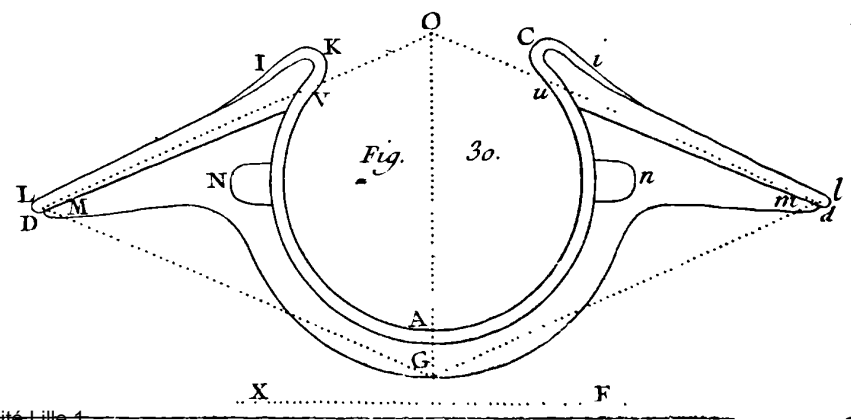
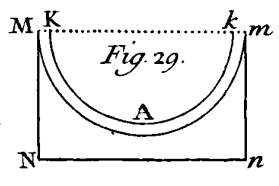
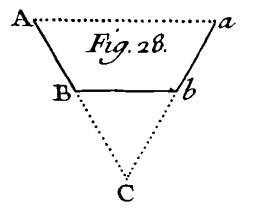
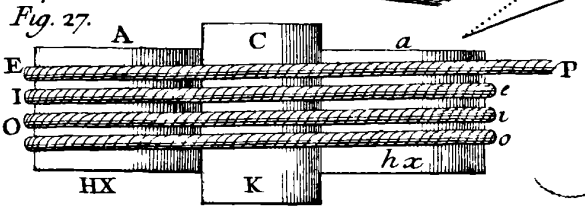
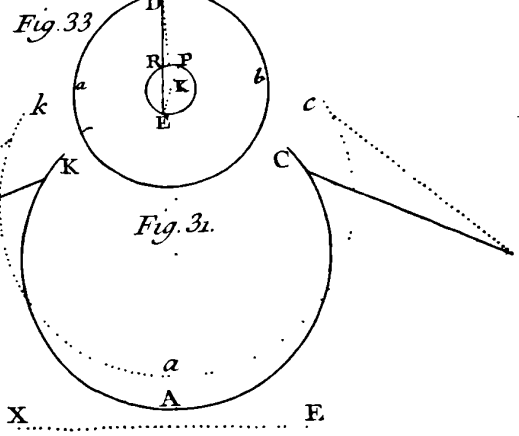
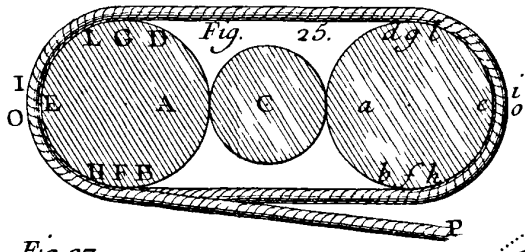
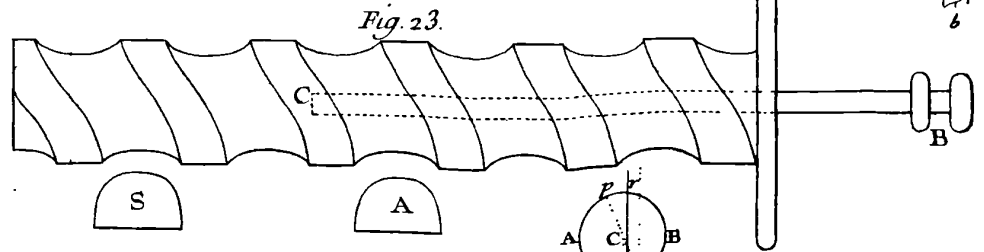
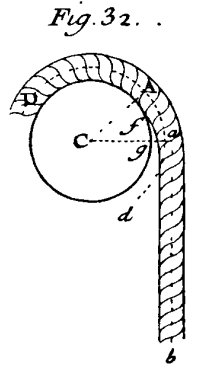
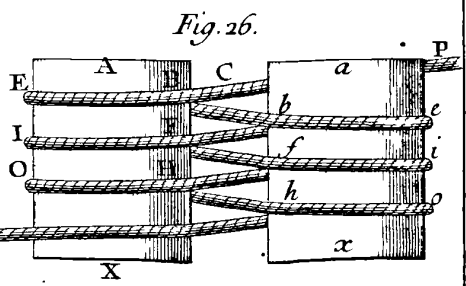
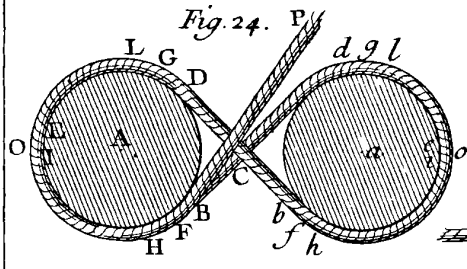
## S U P P L E M E N T

### A LA PIÈCE PRÉCÉDENTE.

J E craignois il y a deux ans que ce ne fût pour moi une témérité que d'entreprendre d'écrire sur le Cabestan ; mais qu'aurois-je pensé si j'eusse vû alors le Recueil des Machines approuvées par l'Académie , ou si j'eusse seulement connu la Machine à remonter les bateaux de M. Boulogne , dans laquelle deux essieux combinés servent à un dévidage non interrompu ? Certainement je me serois abstenu d'une entreprise fondée principalement sur cette même idée ; idée que l'Académie connoissoit avant qu'elle proposât son prix , & qu'elle jugeoit apparemment dès-lors impraticable sur mer. Ou si j'eusse persisté dans ce téméraire dessein nonobstant cette considération , je me serois bien gardé d'avancer nuement comme j'ai fait, aucune des choses déjà proposées par d'autres ; mais j'en aurois fait honneur aux Inventeurs. C'est pour réparer ce manquement que je fais les Notes suivantes. Je prie l'Académie de croire qu'il a été involontaire ; elle peut voir par le commencement de l'article 2. de mon préambule , que j'ai toujours été disposé à rendre justice à autrui.

Comme il ne me reste presque aucune espérance de succès , à raison de *la multiplicité des vûes qu'il auroit fallu rem-*







*plir ici*, vûes dont je suis peu instruit, & auxquelles je suis peu capable de répondre quand je les connoïtrois toutes ; j'ai crû inutile, ou pour parler sincèrement, je n'ai pas eu le courage de refondre mon écrit, quoiqu'il en eût besoin, & qu'il contienne plusieurs superfluités. Je me borne à quelques Additions, & à la correction d'une faute très-grossiere, que je prie l'Académie de regarder comme non-avenue ou d'excuser ; il me semble qu'elle a déjà eû pareille indulgence pour quelque piece qu'elle a bien voulu couronner.

*Note pour le §. 1. de l'article premier du Préambule.*

M. Muffchenbroek dans son Essai de Physique, chap. 9. §. 347. pag. 184. contredit positivement la proposition que je révoque ici en doute ; sçavoir, que le frottement (c'est ce que j'ai nommé réaction parallele) est le même, soit que la surface comprimée par le même poids soit grande ou petite, » Un même corps, dit-il, qui ne cesse de con-  
 » server sa même pésanteur, a un frottement différent,  
 » suivant la différence de la grandeur de sa surface qui  
 » produit le frottement. Il y a certaine surface qui étant  
 » chargée de cette pésanteur, est sujette au moindre frot-  
 » tement ; & toutes les autres surfaces, soit qu'elles soient  
 » plus grandes ou plus petites que la précédente, sont su-  
 » jettes à un plus grand frottement, comme je l'ai ap-  
 » pris par toutes les expériences bien faites. » Cependant  
 je doute que cette prétention de M. Muffchenbroek soit  
 tout-à-fait certaine ; car lui-même avertit, page suivante,  
 » qu'il y a quelques irrégularités dans une des expériences  
 » qu'il rapporte, & qu'il a remarqué souvent de sembla-  
 » bles irrégularités dans les expériences qu'il a faites pour  
 » connoître le frottement sans qu'il pût en voir la raison,  
 » sinon qu'il soupçonnoit la diversité des parties. » Pour  
 moi je soupçonne que ces irrégularités apparentes, ainsi  
 que les inégalités les plus notables de frottement observées

A a iij

par notre Auteur, provenoit de l'inégalité du séjour qu'il laissoit faire l'un sur l'autre aux corps qu'il éprouvoit; & je m'étonne qu'un Phisicien aussi curieux qu'il est d'expériences, n'ait pas fait attention à une cause si sensible de variation du frottement. M. Perraut l'avoit bien remarquée autrefois; (je suis bien aise de trouver un témoignage de cet habile Académicien, pour confirmer ce que j'ai avancé.) » Dans les Machines où il y a frottement, dit-il, page 30. du tome I. du Recueil des Machines de l'Académie, il faudra que ce qu'on ajoute pour faire trébucher, aille toujours croissant par la même proportion que le poids du fardeau sera augmenté; & cela va assez loin, *principalement quand le mouvement est interrompu, car alors la résistance croît de près de moitié*, ainsi que l'expérience le fait voir dans la roue d'une grue, parce que lorsqu'un homme y marche, s'il s'arrête, il est obligé de monter bien haut pour la remettre en train, ce qui arrive *parce que les inégalités des parties qui se touchent, ont le loisir de s'engager les unes dans les autres*, ce qui ne leur arrive pas lorsqu'elles sont en mouvement. «

Au reste, dans toutes les expériences de M. Musschenbroek, le rapport du frottement à la charge comprimante de la surface qui frotte, est bien moindre que M. Belidor ne l'a observé dans l'épreuve qu'il a faite en élevant peu à peu un plan incliné, sur lequel il paroît que le corps qui devoit glisser, avoit séjourné assez long-tems; & ces expériences de M. Musschenbroek approchent beaucoup de celles que j'ai faites, sur-tout si l'on fait certaine réduction aux expériences que cet Auteur a exécutées avec son *tribometre*. Car *les cavités ou bassinets qui reçoivent les essieux de cette machine, sont un peu moindres que des demi-cercles parfaitement ronds & polis par dedans où l'essieu peut se mouvoir, mais presque sans le moindre jeu.* « Cela étant, les essieux ne portent pas seulement sur le fond des bassinets, mais encore sur les côtés, & agissent sur eux à la maniere du coin; c'est pourquoi la somme des

compressions des différens points où les effieux touchent les bassinets, est nécessairement plus grande que la charge du tribometre; c'est à cette somme qu'il faut comparer le frottement. Il est difficile de sçavoir au juste combien cette somme excède la charge du tribomètre; j'estime donc que l'une est à l'autre environ comme quatre à trois; cela supposé, là où M. Muffchenbroek dit que le frottement est un sixième de la charge, sçavoir dans le cas où le tribomètre chargé de trois livres, portoit sur des bassinets de cuivre rouge non huilés; il faut évaluer le frottement à un huitième seulement de la véritable charge des bassinets; & dans le cas où ces mêmes bassinets étoient huilés, le frottement n'étoit qu'un onzième environ de leur compression. Je ne crois pas qu'il soit nécessaire d'étendre la preuve de la nécessité de la réduction dont je parle; mais je citerai encore M. Perraut pour mon garant: il observe page 15. du Recueil des Machines de l'Académie, » Qu'il » se rencontre moins d'obstacle au mouvement de l'effieu » lorsqu'il ne touche qu'en deux endroits de l'appui *E, F*, » *Fig. 34.* que lorsqu'il est engagé dans une cavité ronde. *Fig. 34.*

*Note pour le §. 3. du même Article.*

M. Sauveur a fait un Mémoire sur le frottement d'une corde autour d'un cylindre immobile, *Mémoires de l'Académie de l'année 1703. page 305.* Il y prouve que les pressemens des différentes parties du cylindre par la corde, sont comme les ordonnées d'une logarithmique. J'avois quelque souvenir de cette proposition, lorsque j'ai composé cet article.

*Correction pour le dernier Scholie du §. 1. de l'Article second du Préambule.*

La précipitation avec laquelle j'ai rédigé cet Article que je n'avois pas eu d'abord dessein de composer, m'a fait

commettre dans le Scholie du Théoreme 5. du §. 1. une faute très-grossiere, dont je ne me suis apperçu que le lendemain de l'envoi de mon Mémoire. Elle est dans cette proposition : » Si toutes les puissances sont disposées . . . on » trouvera que la somme des puissances qui sont d'un côté » de la ligne  $AS$ , Fig. 35. est à la somme des puissances qui » passent de l'autre côté, comme la somme des perpendi- » culaires d'une part est à la somme des perpendiculaires » d'autre part. » Je devois dire que chaque puissance étant multipliée par la perpendiculaire qui lui répond, la somme des produits des puissances qui passent d'un côté de  $AS$ , est égale à la somme des produits des puissances qui passent de l'autre côté de cette ligne. Mon erreur consiste en ce que j'ai pensé que cette égalité se résolvoit dans l'analogie ci-dessus exprimée.

Voici la preuve sommaire de l'égalité que je viens d'énoncer pour le cas où trois puissances  $KP$ ,  $OF$ ,  $IB$  sont appliquées au levier  $AZ$ , & soutenues en équilibre par deux résistances  $AR$ ,  $ZD$ .

L'une & l'autre de ces résistances peut être conçue comme équivalente à trois autres, qui soient chacune paralleles à l'une des trois puissances, & capables de faire deux à deux un équilibre particulier avec l'une desdites puissances. Par exemple  $ZD$  peut être conçue comme équivalente à  $Z\beta$  parallele à  $IB$ , &c. à  $Z\varphi$  parallele à  $OF$ , &c. & à  $Z\pi$  parallele à  $KP$ , &c.

La supposition que chacune de ces résistances combinée avec une autre résistance appliquée au point  $A$ , seroit capable de faire équilibre avec une des puissances, donne ces trois égalités  $Z\beta \times AZ = IB \times AI$ ,  $Z\varphi \times AZ = OF \times AO$ ;  $Z\pi \times AZ = KP \times AK$ . L'autre position, sçavoir que la seule résistance  $ZD$  équivaut à ces trois résistances  $Z\beta$ ,  $Z\varphi$ ,  $Z\pi$ , qui sont dans un même plan avec elle par l'hypothese du scholie, donne cette égalité facile à prouver par la mécanique commune  $Z\beta \times \sinus DZ\beta =$   
 $Z\varphi$

$Z\phi \times \sin. DZ\phi + Z\pi \times \sin. DZ\pi$ , dans laquelle substituant les valeurs de  $Z\beta$ ,  $Z\phi$ ,  $Z\pi$ , on aura l'égalité  $IB \times AI \times \sin. DZ\beta = OF \times AO \times \sin. DZ\phi + KP \times AK \times \sin. DZ\pi$ . Maintenant il est aisé de voir par ce qu'on a dit dans le Théorème 5. que chacun des produits  $A\phi \times \sin. DZ\beta$ ,  $AO \times \sin. DZ\phi$ ;  $AK \times \sin. DZ\pi$ , est proportionnel à la perpendiculaire qui seroit menée du point compé- tant de la ligne  $AS$  sur chacune des directions des puissances, donc; &c.

*Note pour le §. 2. de l'art. II. du préambule.*

Non seulement la Théorie de M. Varignon est insuffisante pour déterminer la charge des appuis du Treuil ; mais qu'il soit permis de le dire, elle est viciée. » Soient, dit-il, » Sect. 4. Théor. 19. pag. 272. de sa Méth. posthume, deux » puissances quelconques  $P, R$ , appliquées au Treuil, sui- » vant telles directions qu'on voudra, posées dans des plans » perpendiculaires à l'axe de la Machine. 10. Ces deux puis- » sances  $P, R$ , agiront ensemble sur cette Machine, comme » si elles étoient dirigées suivant un même plan perpendicu- » laire à l'axe de cette même Machine » &c. Il faut distinguer : ces puissances agiront pour faire tourner la Machine, comme si elles étoient ; &c. cela est vrai ; ces puissances agiront ensemble sur cette Machine pour en charger les appuis, comme si elles étoient, &c. cela est faux, puisque M. Varignon suppose que ces puissances sont situées en différens plans.

*Note pour le §. 2. de l'article I. du Mémoire.*

M. de la Madelaine a déjà proposé, to. II. pag. 3. du Recueil des Mach. de l'Acad. de se servir de bricoles pour tirer les barres du Cabestan, assurant que quatre hommes feront plus d'effet à l'aide de ces bricoles, que huit distribués sur la longueur de la barre.

Prix. 1741.

B b

*Addition à l'article II. du Mémoire.*

§. VIII. Voici deux autres moyens de fixer un cable dans seul passage sur l'arbre du Cabestan.

*Fig. 36.* En premier lieu on pourroit former autour de cet arbre une gorge comme *ABC, abc, Fig. 36.* que l'on garniroit de matières flexibles, propres à recevoir le cable sans l'offenser; on revêtiroit l'autre bout de l'arbre de taquets *EF, ef*, un peu concaves par leur extrémité *F, f*, collée ou clouée à un anneau de cuir, & mobiles entre des clavettes de fer, le long de l'arbre; enforte que l'anneau de cuir pût s'approcher & s'éloigner de la face *AB, ab* de la gorge: un petit ressort situé sous chaque taquet, produiroit l'éloignement; pour opérer l'approche, on appliqueroit au pont du vaisseau, & ce du côté opposé à celui d'où vient le cable, & où on le cueille, une portion d'anneau de matière solide & polie, sous laquelle les bouts *E* d'une partie des taquets seroient forcés de glisser successivement à mesure qu'on viroiroit le Cabestan. Il est visible que pourvû que le bout *D* de l'arbre opposé aux taquets, soit bien appuyé sur l'un des ponts, & que l'anneau solide appliqué à l'autre pont ne puisse s'écarter de celui-là, la partie des taquets qui passera sous cette portion d'anneau, pourra comprimer le cable à tel point qu'on voudra sur la gorge pratiquée autour de l'arbre, & que l'autre partie des taquets n'étant point serrée, laissera au cable la liberté de se placer dans cette gorge, & d'en ressortir pour être cueilli. On retiendroit infailliblement le cable par ce moyen; mais il seroit sujet à l'inconvénient d'un frottement excessif, tant sur le bout *E* des taquets, que sur le bout *D* de l'arbre.

*Fig. 37.* On sauveroit cet inconvénient en partie, en changeant quelque chose à la disposition précédente: on pourroit donner au bout *Gg* de l'arbre, *Fig. 37.* une figure conique *GH, gh*, & tailler les bouts *E* des taquets en biseau, qui eût la même inclinaison que cette figure conique, afin qu'il pût s'appli-



quer à sa surface, & glisser sur elle: le bout *F* du taquet seroit contraint de s'approcher de la gorge *AB*, lorsque son bout *E* seroit poussé vers le centre de l'arbre, sçavoir de *G* en *H*; au contraire le bout *F* s'éloigneroit de la gorge *AB*, lorsque le bout *E* seroit repoussé de *H* en *G*. Pour donner ce mouvement alternatif aux taquets, 1°. On appliqueroit au pont du vaisseau, & ce du côté opposé à celui d'où vient le cable, & où on le cueille, un demi-collier *IKOL*, *Fig. 38.* qui étant rencontré en *IK*, par la face extérieure des taquets, les feroit glisser de *G* en *H*, & qui les retiendroit en *H*, en les embrassant étroitement par sa cavité *KOL*, pendant que l'arbre feroit un demi-tour, &c. 2°. On garniroit chaque taquet d'une languette de fer terminée par un mentonnet tourné vers l'axe, & on appliqueroit au pont du côté d'où vient le cable, une pièce comme *MNPQ*, formée en coin en *MN*, & *PQ*, & également épaisse en *NP*, laquelle élèveroit chaque mentonnet par sa partie *MN*, en même-tems qu'elle l'éloigneroit de l'axe de l'arbre, & le soutiendrait ensuite par sa partie *NP*, &c.

*Fig. 38.*

Si les taquets parvenus en *H* ne comprimoient pas suffisamment le cable, il n'y auroit qu'à placer sur la face *AB*, *ba* de la gorge quelques bandes d'étoffe; on augmenteroit ainsi la compression du cable autant qu'il seroit nécessaire. Au lieu de retenir les taquets en *H*, en les enfermant dans la cavité *KOL*, on pourroit les arrêter par de petits pènes, &c. Cela sauroit encore une partie du frottement; mais tout cet équipage seroit peut-être trop sujet à se déranger.

En second lieu, l'arbre du Cabestan étant cylindrique, & y ayant creusé une canelure demi-ronde pour recevoir le cordage, on pourroit disposer autour de cet arbre plusieurs essieux beaucoup moindres que lui, *Fig. 39.* lesquels auroient chacun une canelure presque demi-ronde, & dont les pivots pourroient être pressés à discretion vers l'axe de l'arbre, afin de comprimer le cordage autant qu'il seroit nécessaire entre la canelure de l'arbre & celle des petits essieux. Il faudroit que l'arbre, ainsi que les essieux qui l'environnent,

*Fig. 39*

B b ij

fussent garnis de dents , qui engrenassent les unes dans les autres , afin que les petits essieux reçussent leur mouvement de l'arbre même ; car cela étant ainsi , les compressions opposées exercées sur le cordage par les petits essieux & par l'arbre , contribueront également à saisir le cordage & à l'amener ; mais si les petits essieux ne recevoient leur mouvement que du cordage , il est évident que leur pression réciproque ne serviroit aucunement à amener le cordage , mais seulement à les faire tourner ; ainsi la compression du cordage par l'arbre qui seroit seule utile , devoit être une fois plus grande que dans l'autre disposition , ce qui augmenteroit considérablement le frottement auquel cette forme de Cabestan est encore sujette.

*Note pour l'article V. du Mémoire.*

M. Du Mondran a proposé dès l'année de faire porter les essieux des Machines sur des rouleaux , afin de diminuer le frottement ; & M. Caron a exécuté cela dans sa Machine à remonter les batteaux.

*Addition pour le même article.*

Le tems me manqua en 1738. & je laissai mon écrit imparfait ; il me restoit à montrer que le frottement du Cabestan à double essieu , ne seroit pas plus grand en disposant ses appuis de certaine façon , que celui du Cabestan simple , quoique la charge de chaque essieu de celui-là fût plus grande que celle de celui-ci.

Voici la description de cette forme d'appuis. J'ai dit §. 4. de l'art. II. que l'arbre mitoyen entre les deux essieux devoit porter un pignon qui engrene dans la roue dentée de chaque essieu ; je devois plutôt dire que chaque essieu doit avoir deux roues dentées parfaitement égales , sçavoir une à chaque extrémité , & que l'arbre mitoyen doit aussi avoir deux pignons égaux. La forme convenable à toutes ces pièces,

est d'être divisées dans leur épaisseur en deux portions, l'une dentée, & l'autre sans dents; le diamètre de celle-ci doit être moindre que celui du cercle extérieur de la portion dentée, mais plus grand que celui de son cercle intérieur; en sorte que les roues étant engrenées dans les pignons, leurs portions non dentées se touchent, & roulent librement l'une sur l'autre.

Maintenant *BD bd*, *Fig. 39.* est une pièce de bois très-solide, ou même de fer, percée en trois endroits; sçavoir au milieu, d'un trou rond dans lequel l'arbre mitoyen tourne aisément, & de deux trous oblongs vers les extrémités pour y recevoir les pivots des essieux: ces trous sont oblongs pour deux raisons; l'une, afin que les essieux s'approchent librement l'un de l'autre, jusqu'à ce qu'ils touchent le pignon de l'arbre mitoyen; l'autre, afin qu'on puisse garnir cet arbre de différentes paires de pignons de la grandeur convenable aux besoins différens: pareille pièce recevra les pivots de l'autre extrémité des essieux; l'une & l'autre sera mobile autour de l'arbre mitoyen, afin de pouvoir être située selon sa longueur parallèlement au cordage, qui peut être dirigé vers différens endroits, & sera annexée aux ponts du vaisseau par ses deux bouts dans le rem de son service.

*Fig. 39.*

Il est évident que le cordage qui embrassera les essieux, approchera leurs roues de l'arbre mitoyen, & les comprimera sur son pignon; mais cette compression, quelque grande qu'elle soit, ne causera aucun frottement.

Les frottemens qui auront lieu, seront, 1°. entre les pivots des essieux, & l'un des côtés, par exemple *B*, & *b*, des trous oblongs; mais ces frottemens seront peu d'obstacle, puisqu'en eux-mêmes ils sont seulement proportionnels aux compressions des côtés *B*, *b*, lesquelles ensemble sont égales à la force qui bande le cable, & que le rayon du pivot pouvant être fort petit en comparaison de celui de la roue dentée, on a un grand moment pour les vaincre.

2°. L'arbre mitoyen souffrira aussi quelque frottement, mais petit, parce qu'il provient seulement de la différence

**B b ij**

des forces contraires , avec lesquelles l'arbre mitoyen doit agir sur chacune des roues dentées pour leur imprimer le mouvement circulaire , & avec lesquelles il réagit pour soutenir leur pression. On peut même réduire à l'égalité ces forces contraires exercées par l'arbre mitoyen , & ce , en plaçant obliquement en travers de chaque trou oblong une barre qui soutienne une partie de la tendance d'un des essieux , & qui augmente celle de l'autre ; ce qui étant fait , l'arbre mitoyen n'aura presque aucun frottement , & celui des pivots des essieux sera très-peu augmenté.

On trouve , dit-on , de grands inconvéniens à doubler les essieux ; par exemple , on croit qu'ils seront exposés à être courbés. J'estime que ce danger n'a lieu qu'au cas qu'on les fasse trop longs , & qu'on fasse faire au cordage beaucoup de révolutions , ce qui n'est pas nécessaire si l'on fait sur l'essieu des canelures , & qu'on les garnisse de feutre ou d'étoffe , &c.

M. de la Madelaine a proposé un Cabestan à lanterne , afin d'augmenter l'effort de cette Machine ; mais par-là il rend son opération trop lente : l'application de roues dentées que je propose , a un autre objet , & n'est point sujette à cet inconvénient. On a encore objecté à M. de la Madelaine , qu'une dent de son Cabestan pourroit manquer , ce qui jetteroit l'équipage dans l'embarras. Comme l'effort nécessaire pour amener le cable sera distribué sur quatre roues dentées dans la forme que je propose , l'inconvénient en question me semble peu à craindre.

*A Troyes , ce 30. Août 1740.*

*F I N.*

Fig 34

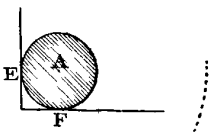


Fig 36

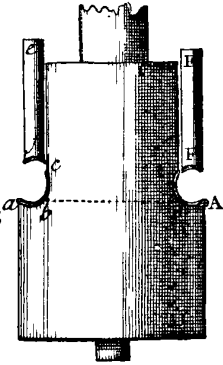


Fig 37.  
N° 1.

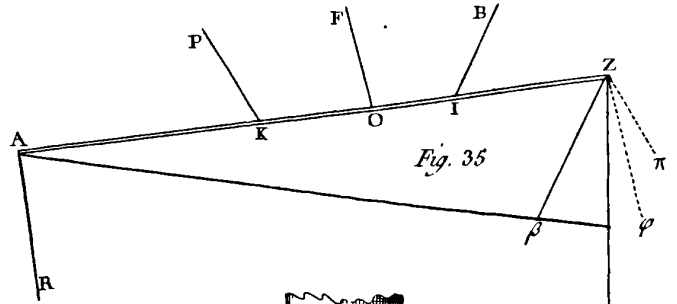
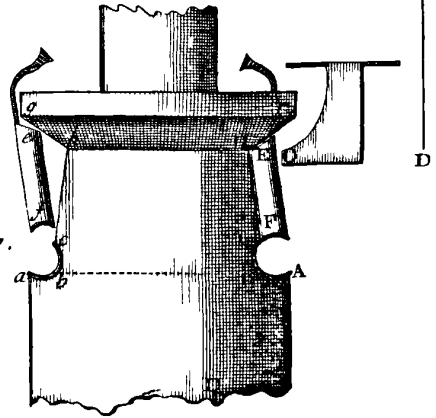


Fig 35

Fig 38

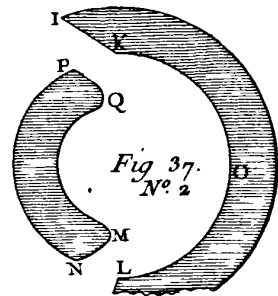
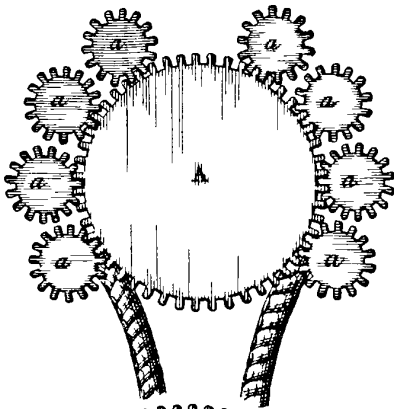
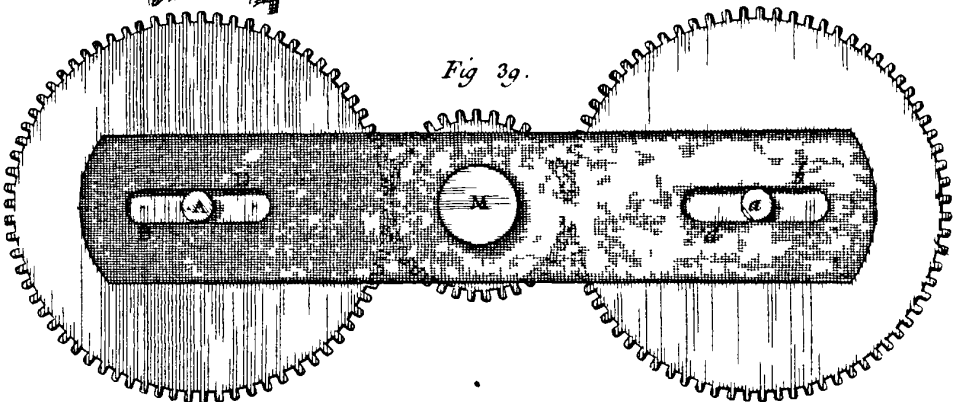


Fig 37.  
N° 2

Fig 39.





# MEMMOIRE

SUR LE

## CABESTAN.

*Piece qui a concouru au Prix de l'Académie  
Royale des Sciences.*

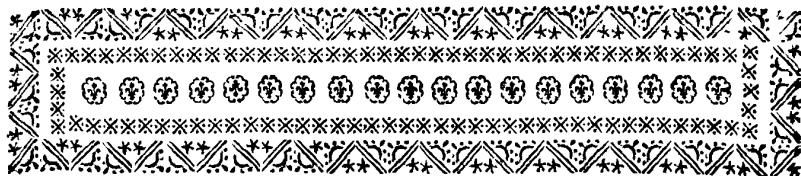
---

*Deus non projicit simplicem.*

Par M. DE PONTIS, Officier des Galeres, Correspondant  
de l'Académie Royale des Sciences.

**MEMOIRE**





# MEMOIRE

SUR

# LE CABESTAN.

---

*Deus non projicit simplicem.*

---

**I**L seroit difficile de concevoir une Machine plus simple que le Cabestan ; & après bien des réflexions , il m'a paru qu'on ne pouvoit lui en substituer une autre dans les bâtimens de mer qui fût moins embarrassante , dont la manœuvre fût plus aisée , & qui occupât moins de place dans un navire , où l'on sçait que l'espace est si précieux ; qu'on ne peut être trop attentif à le ménager avec tout le soin & l'œconomie possible.

Plusieurs tentatives que j'ai faites à ce sujet , & quelque usage que j'ai des mécaniques & de la navigation , n'ont servi qu'à me confirmer dans l'opinion où je suis , qu'on ne peut rien imaginer qui soit plus propre aux divers services d'un vaisseau que le Cabestan.

C'est ce qui m'a déterminé à lui donner la préférence , & à m'attacher à chercher avec soin les moyens de le perfectionner , ou du moins de remédier par des dispositions simples aux inconvéniens qu'on reproche à cette machine pour pouvoir en rendre la manœuvre moins pénible & moins interrompue.

*Prix.* 1741.

Cc

Le principal inconvénient du Cabestan , c'est la nécessité où l'on est de perdre un tems considérable à choquer\* ; & il paroît qu'on pourroit y remédier aisément si l'on vouloit seulement mettre à profit les avantages qu'on peut tirer des différens Cabestans qu'on a sur tous les grands vaisseaux , & qu'on fait servir à différentes manœuvres.

Il faudroit pour cela au lieu d'un seul Cabestan , en employer deux pour la même manœuvre ; on prévien droit par-là l'inconvénient qu'il y a à choquer , & l'on s'en ser viroit avec toute la diligence possible.

On verra dans peu qu'il n'est point de vaisseau , quel que petit qu'il soit , qui ne puisse avoir un double Cabestan qui n'occupera pas plus de place que celle qu'on a coutume de donner à cette machine. Mais avant que d'en parler , examinons en premier lieu quel est l'effet que peuvent produire ces deux Cabestans employés à la même manœuvre : nous verrons ensuite quels sont les changemens que cela demande dans l'intérieur des bâtimens.

## I.

Fig. 1.  
2.

Pour attirer le fardeau  $P$  (Fig. 1. & 2.) vers le point  $R$  ; soit qu'on veuille le soulever ou bien le faire glisser sur un plan horizontal , on se sert ordinairement d'un seul Cabestan tel que  $AB$  , par le moyen d'une corde  $EHO$  qui fait le fardeau  $P$  au point  $E$  , & qui fait trois ou quatre tours sur le Cabestan après avoir passé sur une poulie  $H$  , vers le point  $R$  où l'on veut attirer le poids : mais la corde descendant de sa grosseur à chaque tour , il arrive que quand elle est parvenue tout-à-fait au bas au point  $B$  , le Cabestan ne peut plus virer , & l'on est obligé de choquer , c'est-à-dire , de prendre des bosses , de dévirer le Cabestan , de hauffer le cordage au plus haut de la fusée vers le point  $A$  ; de virer de nouveau jusqu'à ce que les

\* On appelle *choquer* , la manœuvre qu'on est obligé de faire , lorsque le cordage étant descendu , après plusieurs tours , au plus bas de la fusée , il empêche le Cabestan de pouvoir virer : on verra dans un moment quelle est cette manœuvre.

bosses ne fassent plus de force, d'ôter ces bosses, & enfin de continuer la manœuvre jusqu'à ce que le cordage soit descendu au bas du Cabestan; auquel cas il faut choquer de nouveau, & perdre un tems considérable à prendre des bosses, à dévider, & enfin à faire la même opération qu'on vient de décrire pour élever le cordage au haut du Cabestan.

Mais il me paroît qu'on pourroit éviter la plus grande partie de ces inconvéniens, & rendre la manœuvre bien moins interrompue, par le moyen d'un second Cabestan  $CD$ , qui aidera à soulever le fardeau & à l'approcher du point  $R$  par l'effet d'une corde  $EGF$  attachée à ce fardeau au point  $E$ , & qui fait plusieurs tours sur le Cabestan après avoir passé sur une poulie  $G$  vers le point  $R$ ; ainsi les deux Cabestans s'entraideront & serviront autant l'un que l'autre à faire venir le poids au lieu marqué.

Et pour que la manœuvre ne soit que très-peu retardée, & presque point interrompue, il n'y a qu'à observer une seule chose en commençant; sçavoir, que le cordage qui est roulé sur l'un des deux Cabestans  $AB$ , ne soit élevé qu'au milieu de sa hauteur, comme il paroît dans la figure, tandis que le cordage qui est roulé sur l'autre se trouvera au plus haut de la fusée  $CD$ : par ce moyen la manœuvre ne sera presque pas interrompue; car en virant ces deux Cabestans ensemble, il est bien certain qu'on attirera le poids vers le point  $R$ ; & comme on vire ces deux Cabestans en même tems, le cordage du premier Cabestan  $AB$  descendra en même tems que celui du second  $CD$ , enforte que lorsque le premier cordage  $EHO$  sera descendu tout-à-fait au bas de la fusée  $AB$ , le second  $EGF$  n'aura parcouru que la moitié de la fusée  $CD$ : alors le premier Cabestan  $AB$  ne pourra pas virer à la vérité; mais comme rien n'empêche le second de virer, & qu'il virera en effet, tout l'effort du poids se fera sur cette corde  $EGF$ ; la première  $EHO$  restera donc lâche, & dans le moment on pourra soulever cette corde jusqu'au haut de la fusée  $AB$ ,

C c ij

& faire virer les deux Cabestans ensemble.

Alors la premiere corde fera au haut du Cabestan  $AB$  ; tandis que la seconde fera au milieu de la fusée  $CD$  ; & quand cette seconde corde  $EGF$  sera arrivée au bas , & que ce Cabestan ne pourra plus virer , la premiere corde fera au milieu du Cabestan  $AB$  ; & comme on continuera à le faire virer , la force se fera sur cette corde  $EHO$  , tandis que le second Cabestan  $CD$  sera arrêté , ce qui fera que la corde  $EGF$  restera lâche , & qu'on pourra la soulever aisément jusqu'au haut de la fusée  $CD$  : alors rien n'empêchera que les deux Cabestans ne virent ensemble , & en continuant cette manœuvre , on attirera enfin le poids  $P$  , sans qu'il y ait eu beaucoup d'interruption dans l'opération.

Le fuseau du Cabestan sur lequel se dévide la corde , est ordinairement fait en forme de cône tronqué , comme en la *Figure 1*. & il est évident que cette figure est favorable pour faire remonter aisément le cordage au haut de la fusée , & que cela donne de la facilité à choquer.

Il n'est pas douteux que la manœuvre qu'on propose ici ne puisse être executée avec deux Cabestans de cette forme ; il n'y a qu'un seul inconvénient qui est bien léger ; cet inconvénient est que la premiere corde étant vers le milieu du Cabestan  $AB$  , dans un point où la fusée a , par exemple , deux pieds  $\frac{1}{2}$  de diamètre , tandis que la seconde corde est au haut du Cabestan  $CD$  , où la fusée n'a que deux pieds de diamètre , les deux cordes se raccourcissent inégalement à chaque tour ; & comme il faut pour que cette manœuvre se fasse avec succès , que les Cabestans se partagent à peu près les efforts , il faudroit les faire tourner avec des vitesses différentes , afin de faire en sorte que les deux cordes se raccourcissent toujours également , ce qui ne paroît pas renfermer de grandes difficultés : cela arrive même tous les jours dans cette manœuvre , par une mécanique toute simple & toute naturelle ; car les matelots qu'on y emploie , accoutumés à faire un certain effort dans cette manœuvre , marchent très-vîte lorsque la corde est au haut de la fusée .

Fig. 1.<sup>re</sup>

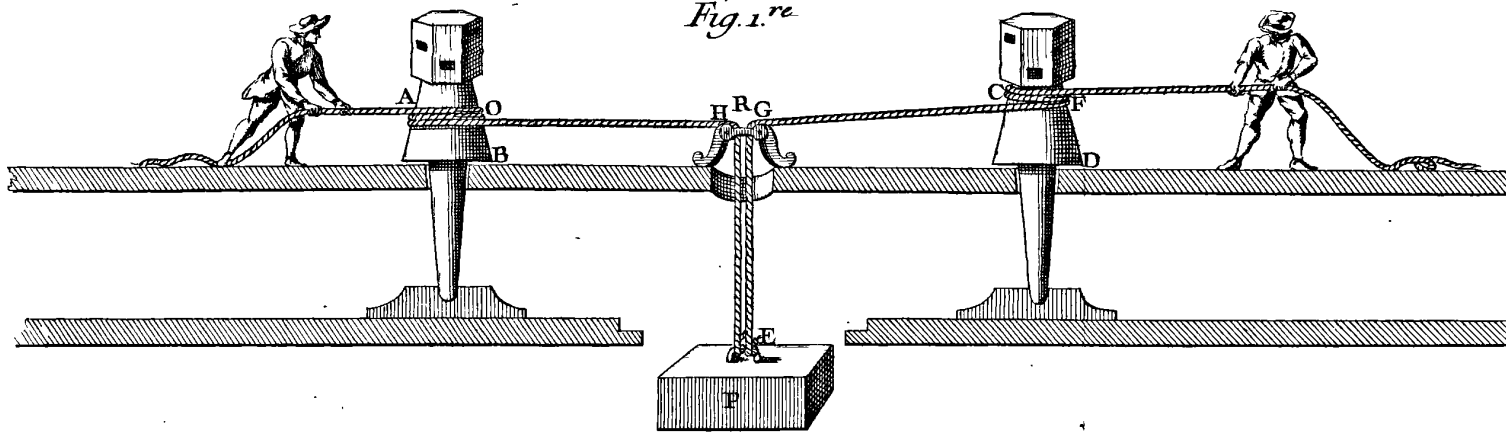


Fig. 3.

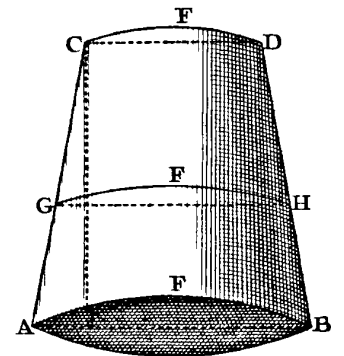
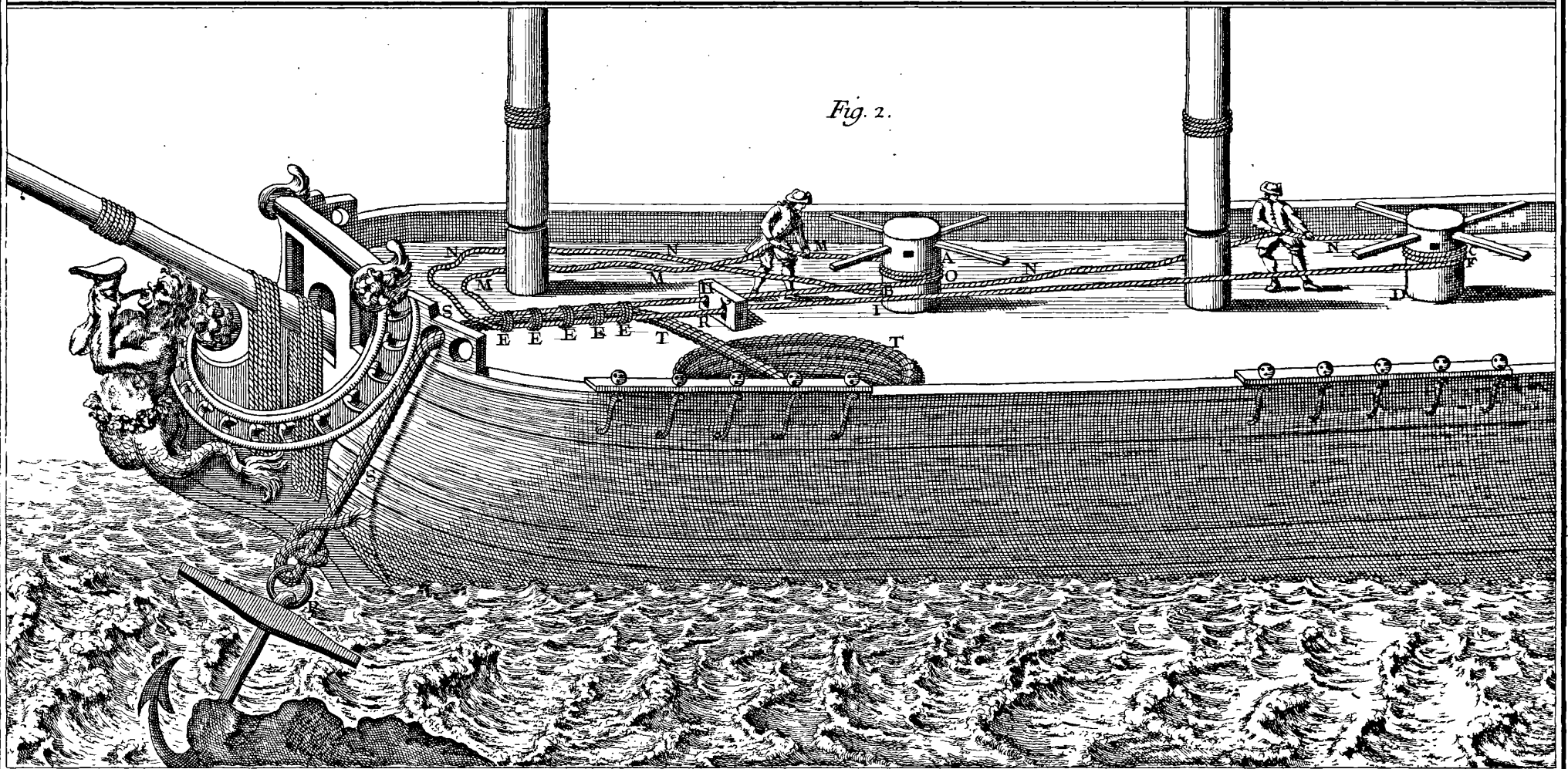


Fig. 2.





& diminuent petit à petit cette vîtesse à mesure que la corde descendant , la résistance du poids augmente , ce qui les oblige à faire toujours de plus grands efforts , jusqu'à ce que la corde soit au bas du Cabestan.

Mais pour lever toutes les difficultés , il paroît qu'on pourroit faire les fuseaux de ces Cabestans en forme de cylindre , tels à peu près qu'on les voit , *Fig. 2.* où l'on représente l'appareil pour lever l'ancre. Je crois même que cela fera plus avantageux , plus simple , & plus commode ; plusieurs raisons me font adopter cette forme.

*Fig. 2.*

1°. Les Matelots agiront toujours avec une force uniforme , & ne seront pas obligés de l'accélérer de moment en moment , comme ils font quand le Cabestan est de figure conique ; & en conséquence de cela ils seront moins fatigués , & en état de continuer plus long-tems & sans interruption , cette manœuvre qui ne fera presque point pénible.

2°. On pourra diminuer le diamètre du Cabestan , & conséquemment les hommes auront plus d'avantage sur le poids.

3°. Le Cabestan ayant moins de diamètre , occupera moins de place dans le bâtiment , & par conséquent il y causera moins d'embarras.

Ce raccourcissement du diamètre , mérite cependant qu'on y fasse quelques réflexions : car si on le faisoit extrêmement petit , les Matelots auroient à la vérité un avantage extrêmement grand sur le poids ; mais le poids ne montant que bien peu à chaque tour , il faudroit une infinité de tours pour le faire monter sur le pont ; de sorte qu'on avanceroit peu l'ouvrage en y employant beaucoup de tems : ainsi il y a un milieu à garder , pour que la manœuvre se fasse promptement en conservant cependant tout l'avantage possible aux Matelots.

Pour cela il faut considérer que dans le Cabestan ordinaire dont la figure est conique , le cordage descend de sa grosseur à chaque tour que fait le Cabestan , & enfin qu'il arrive au bas du Cabestan après un certain nombre de tours ,

C c ii)

suivant que le cordage est plus ou moins gros.

Ce sera la même chose dans le Cabestan cylindrique que je propose ici ; & voici la seule chose qu'il y a à observer.

*Fig. 1.* Le poids  $P$  monte de 100 pieds , par exemple , dans l'espace de tems qui est nécessaire pour faire descendre une corde de trois pouces de diamètre , au bout de laquelle il est attaché , du point  $A$  au point  $B$  , *Fig. 1.* qui représente le Cabestan ordinaire.

*Fig. 2.* Il faut faire le Cabestan cylindrique , tel que dans le même intervalle de tems , un cordage égal , c'est-à-dire , de 3 pouces de diamètre , étant parvenu de  $A$  en  $B$  , (*Fig. 2.*) fasse monter ou approcher le poids  $P$  de la même quantité de 100 pieds ; & il est évident que cela arrivera dans un Cabestan cylindrique , dont la surface contournante sera égale à celle du cône tronqué du Cabestan ordinaire ; car la corde en descendant passe sur tous les points de la surface contournante , & les cent pieds de cordages qui y passent dessus , ne sont que la quantité de ce cordage qu'il faudroit pour envelopper la fusée , & couvrir tous les points de sa surface contournante.

Or pour trouver la valeur du diamètre que doit avoir un cylindre qui aura sa surface contournante égale à celle du cône tronqué dont la hauteur sera la même , il n'y a qu'à prendre la somme du plus grand & du plus petit diamètre du cône tronqué , la multiplier par le côté du même cône , & diviser le tout par le double de sa hauteur perpendiculaire.

*Fig. 3.* DEMONSTRATION. Pour le prouver , soit  $ABCD$  le cône tronqué , (*Fig. 3.*)  $CFD$  , sa plus petite circonférence sera supposée  $= a$  ,  $AFB$  sa plus grande circonférence  $= b$  ,  $BD$  son côté  $= c$  ,  $CE$  sa hauteur perpendiculaire  $= h$  , &  $GFH$  la circonférence inconnue du cylindre cherché  $= x$ .

L'expression de la surface contournante du cône tronqué , est  $\overline{CFD + AFB} \times \frac{1}{2} BD$  , ou algébriquement  $\frac{1}{2} ac + \frac{1}{2} bc$ .

L'expression de la surface contournante du cylindre ;



fera  $CFH \times CE$ , ou plutôt algébriquement  $hx$ ; or par la supposition, ces deux expressions sont égales, enforte que  $\frac{ac+bc}{2} = xh$ ; &  $x = \frac{ac+bc}{2h}$ , ce qui donne la valeur toute connue de la circonférence cherchée du cylindre; mais les circonférences de cercles sont en même raison que leurs diamètres, d'où il suit que le diamètre  $CH$  de la circonférence  $x$ , ou du cylindre qui aura les conditions définies, sera égale à la somme des deux diamètres  $AB + CD$  multipliée par le côté  $BD$  du cône, le tout divisé par le double de sa hauteur perpendiculaire  $CE$ , ce qu'il falloit prouver.

Ainsi dans un vaisseau de moyenne grandeur, de 60 canons par exemple, où le gros Cabestan duquel on se sert pour lever l'ancre, a environ 3 pieds de diamètre à son gros bout, 2 à son petit, 3 pieds de hauteur perpendiculaire, & à peu-près 3 pieds 5 lignes, ou 437 lignes pour son côté, il faudra multiplier  $3^2 + 2^2$ , ou 720 lignes, somme du plus grand & du plus petit diamètre, par 437 lignes son côté, & diviser le tout par 6 pieds, qui est le double de sa hauteur perpendiculaire; ce qui donnera 2 pieds 6 pouces 4 lignes, pour le diamètre d'un cylindre dont la surface contournante sera égale à celle du cône tronqué du Cabestan ordinaire, au moyen de quoi on fera (ce me semble) la manœuvre plus promptement, & avec plus d'avantage.

Je dis plus promptement, parce qu'il passera sur ce Cabestan autant de cordage qu'il en passe sur un Cabestan ordinaire, dans un tems donné; & que si l'on se sert de deux Cabestans au lieu d'un, on gagnera tout le tems qu'il faut employer à choquer.

Je dis de plus qu'on s'en servira avec plus d'avantage; & voici ce que j'entends: il faudra moins de monde à chacun de ces Cabestans, qu'il n'en faut à ceux de figure conique; car dans les derniers on est obligé d'employer autant de Matelots, que si le Cabestan étoit par-tout égal à son gros bout.

Il est vrai qu'ils n'ont pas beaucoup de peine au commencement, lorsque la corde est au haut de la fusée ; mais comme la corde descend, & qu'ils sont obligés de redoubler leurs efforts de moment en moment, & que la corde parvient enfin au bas, c'est-à-dire, au plus gros bout, on est obligé de mettre autant de monde sur les barres que si la corde étoit toujours dans cet endroit pénible du Cabestan.

Au lieu que celui que je propose ayant un moindre rayon, donnera plus d'avantage aux Matelots : il est vrai qu'ils feront des efforts uniformes, & tels à la fin qu'au commencement ; mais aussi l'on pourra y mettre moins de monde, ou si l'on y employe le même nombre d'hommes, on leur rendra cette manœuvre beaucoup moins pénible ; on en jugera encore mieux par le détail où l'on va entrer tout à l'heure.

Ainsi toutes nos observations se réduisent à deux choses ; la première, c'est de faire les fuseaux des Cabestans en forme de cylindre, plutôt que de figure conique ; la seconde qui est bien plus essentielle encore, consiste à se servir de deux Cabestans au lieu d'un pour la même manœuvre. Il est aisé de voir par ce qui a été dit précédemment, & par la seule inspection des *Figures 1 & 2.* tout l'avantage qu'on pourra en retirer, soit pour soulever de grands fardeaux, soit pour lever l'ancre, soit enfin pour tous les différens services du vaisseau, qu'on fera facilement en disposant à propos toutes les manœuvres.

Voilà quel est l'effet qu'on doit attendre de ces deux Cabestans ; voyons de quelle façon on pourra les placer dans les navires, & examinons en même-tems s'il n'y a point d'inconvénient à s'en servir, & si l'équipage d'un vaisseau pourra suffire à fournir le nombre de Matelots nécessaires à cette manœuvre, telle qu'on la propose.

## I I.

Il n'est point de grand vaisseau comme sont les vaisseaux de guerre, qui ne portent plusieurs Cabestans,

Les

Les vaisseaux du premier & du second rang , c'est-à-dire , les vaisseaux à trois ponts , & les vaisseaux à deux ponts & demi du premier ordre , portent trois Cabestans.

Le premier & le plus fort Cabestan se pose entre le mât d'artimon & le grand mât ; il a deux rangs de barres , l'un sur le premier , & l'autre sur le second pont.

Le second Cabestan est moins gros que le premier , & n'a qu'un rang de barres ; il se pose entre le mât de misaine & le grand mât , sur le second pont , à peu-près vers le milieu du bâtiment.

Le troisième est à peu-près de même grosseur que le second ; il n'a qu'un rang de barres , & se pose sur le gaillard d'avant , à huit ou neuf pieds du mât de misaine.

Les vaisseaux du troisième , quatrième , & cinquième rang , c'est-à-dire , les vaisseaux de 60 canons , & au-dessous ; & les frégates ordinaires , ont le premier & le dernier de ces deux Cabestans ; ainsi dans tous ces bâtimens , où il y a au moins deux Cabestans , l'un à l'avant , & l'autre à l'arrière , la manœuvre qu'on vient de proposer pourra être exécutée sans difficulté , & il est même étonnant que l'on n'ait pu reconnoître encore de quelle importance ces deux Cabestans peuvent être pour s'entraider l'un l'autre. Il suffira pour pouvoir s'en servir avec plus de succès , de tâcher de faire ces deux Cabestans d'égale grosseur ; c'est-à-dire , qu'il faudra que le Cabestan de l'avant soit pareil à celui de l'arrière , & qu'il ait comme lui deux rangs de barres s'il est possible , ce qui fera d'autant plus avantageux , qu'on aura par-là le moyen d'y placer un plus grand nombre de Matelots , qui sont souvent oisifs , & presque toujours inutiles pendant cette manœuvre , sur-tout dans les navires tels que les vaisseaux de guerre , qui ont un équipage très-nombreux. Il pourroit cependant se trouver quelques difficultés à donner deux rangs de barres au Cabestan de l'avant ; & en ce cas on pourroit tout simplement faire un Cabestan à l'Angloise à un seul étage , ( comme en la *Figure 4.* ) ob-

*Fig. 4.*

Prix. 1741.

D d

poupe : ces sortes de Cabestans ont l'avantage de pouvoir porter un plus grand nombre de barres que les autres, ce qui donne le moyen de faire la même force, & de placer autant de monde sur un seul & même pont, que si le Cabestan étoit fait, selon l'usage ordinaire, avec deux fusées : ainsi on n'emploiera pas moins de monde, & on ne fera pas moins de force sur ce Cabestan, que sur celui de l'arrière, qu'on pourra laisser à deux étages si l'on veut.

Quoiqu'on sçache qu'il y a toujours sur un vaisseau beaucoup plus de monde qu'on n'en a besoin pour faire cette manœuvre, il n'est pas inutile de faire remarquer, qu'il ne faudra pas un nombre beaucoup plus grand de Matelots pour faire la manœuvre des deux Cabestans, tels qu'on les propose ici, qu'il n'en faut pour le Cabestan, tel qu'il est aujourd'hui ; pour cela nous avons besoin d'entrer dans quelque détail.

Un vaisseau de 60 canons, a quatre cens hommes d'équipage au moins ; son gros Cabestan a 35 à 36 pouces de diamètre ; il a deux rangs de barres, & on peut placer à chaque rang huit barres de dix pieds de long, & quatre hommes à chaque barre, ce qui fait en tout soixante-quatre hommes.

Voyons à présent quel sera le fardeau auquel ces soixante-quatre hommes seront capables de résister, quand la corde est au bas du Cabestan.

On a déjà dit que la barre avoit 10 pieds de long, & qu'il y avoit quatre hommes à chaque barre ; mais ces quatre hommes ne peuvent pas se mettre tous à l'extrémité de la barre ; il faut qu'ils se rangent tout au long de cette barre, enforte que chaque homme occupe environ un pied & demi sur cette barre, ce qui fait 6 pieds pour les quatre hommes.

Il est évident que la force moyenne de ces quatre hommes, se réunit entre le second & le troisième ; de sorte qu'on peut considérer que la force des quatre hommes est appliquée en un seul point, placé entre le second & le troi-

sième de ces hommes , c'est-à-dire , à trois pieds plus près du centre , que l'extrémité de la barre ; ainsi la force de ces quatre hommes est comme si elle étoit réunie , & appliquée à l'extrémité d'un levier de 7 pieds.

La fusée du Cabestan a dans cet endroit-là, 36 pouces de diamètre , ce qui fait 18 pouces de rayon ; par conséquent , le poids auquel on a à résister , est censé agir par un levier de 18 pouces , tandis que les hommes agissent sur un levier de 7 pieds, ou 84 pouces.

Les Principes de Méchanique nous apprennent , que le rayon du Cabestan , est à la partie de la barre , comprise depuis l'axe du Cabestan jusqu'au point où est appliquée la force moyenne des quatre hommes , comme la force de ces quatre hommes est au poids qu'ils peuvent soulever , & mettre en équilibre avec leurs forces.

Or le rayon du Cabestan est de dix-huit pouces ; la partie de la barre , comprise entre l'axe du Cabestan & le point où se réunit la force moyenne des quatre hommes , est de 84 pouces ; & l'effet de la force d'un homme , qui pousse dans cette attitude sans se fatiguer , sera supposé de 25 livres , ce qui donne 100 livres pour la somme des forces des quatre hommes.

A présent pour sçavoir quel est le poids qu'ils souleveront , je n'ai qu'à faire cette proportion : 18 pouces , rayon du Cabestan , est à 84 pouces , partie de la barre , comprise depuis l'axe du Cabestan jusqu'au point où est appliquée la force moyenne des quatre hommes , comme 100 livres , qui exprime la force de ces quatre hommes , est au poids que soutiendront ces hommes , qui est , par cette proportion , de 466 livres ; & comme nous avons dit que le Cabestan avoit 8 barres à chaque pont , il faut multiplier les 466 livres par 8 ; ce qui donne 3728 livres pour l'effort des 32 hommes , qu'il y a sur les 8 barres du premier pont , & un effort double , c'est-à-dire , de 7456 livres , pour l'effort total des soixante-quatre hommes employés aux deux rangs des barres.

Voyons à présent quel effort feront trois hommes seu-

D d ij

lement appliqués aux barres du Cabestan que je propose. Nous avons trouvé que ce Cabestan devoit avoir environ 30 pouces de diamètre, ce qui donne 15 pouces de rayon; les barres de ce Cabestan auront comme les autres 10 pieds de long, enforte que trois hommes y occuperont 4 pieds & demi, & leur force moyenne qui est au milieu de cette distance, se trouvera placée sur la barre, à 7 pieds 9 pouces de l'axe du Cabestan, ce qui donne 93 pouces pour la distance de la force moyenne des trois hommes à l'axe du Cabestan.

La force des trois hommes sera évaluée 75 livres; & par conséquent 15 pouces, rayon du Cabestan cylindrique, sera à 93 pouces, distance de la force moyenne à l'axe de ce Cabestan, comme 75 livres, force des trois hommes, est à 465 livres, qui exprime le poids qu'ils peuvent tenir en équilibre.

Trois hommes feront donc 465 livres de force à chaque barre de ce Cabestan, tandis que quatre en font 466 au Cabestan ordinaire, ce qui approche beaucoup de l'égalité; ainsi on peut dire que trois hommes font autant de force à ce Cabestan, que quatre peuvent en faire au Cabestan ordinaire.

Il faut rappeler ici qu'on a dit qu'il y aura deux Cabestans, qui s'aideront à tirer le poids, & se partageront les efforts. Ce ne sera que dans certains momens, où un seul Cabestan sera chargé de tout le poids; & comme ce n'est que pour quelques instans, & que pendant le tems seulement qui est nécessaire pour soulever la corde qui sera parvenue au bas du fuseau, il est probable, & je suis même persuadé, qu'il suffiroit de placer deux hommes à chaque barre du Cabestan que je propose, pour que cette manœuvre se fit, sans exiger de grands efforts de leur part; & de cette façon, il ne faudroit pas plus de monde pour les deux Cabestans, qu'il en faut aujourd'hui pour faire cette manœuvre avec un seul: d'autant mieux qu'il faut considérer, que la manœuvre à laquelle on employe le plus souvent le Cabes-

tan , est lorsqu'on est obligé de lever l'ancre ; au moins est-ce cette manœuvre qui exige les plus grands efforts ; mais ces efforts ne sont pas bien grands , quand il n'est question que de soulever l'ancre ; ils ne sont bien considérables que quand il est question de faire laisser l'ancre , c'est - à - dire , quand il faut arracher le fer enfoncé dans une terre tenasse , ou embarrassé sous quelque roche dure & pesante , ( comme dans la *Figure 2* ; ) & comme cela n'arrive que dans un certain moment de la manœuvre , que quand on est à pic , c'est-à-dire , que quand l'ancre est à plomb sous l'avant du navire , on prendra ses mesures pour faire force sur les deux Cabestans pendant ce moment pénible de la manœuvre ; au moyen de quoi on enlèvera l'ancre bien plus facilement , & on fera un effort bien plus considérable , quand même on ne mettroit que deux hommes sur chaque barre des deux Cabestans , qu'on n'en fait aujourd'hui en y en mettant quatre. Mais encore une fois , ce n'est pas ordinairement ce qui manque , que les hommes dans les navires ; & si deux Matelots ne suffisent pas , rien n'empêchera qu'on n'en mette trois à chaque barre , & même davantage si l'on veut.

*Fig. 2.*

On a supposé jusqu'à présent , que les deux Cabestans étoient séparés , & qu'ils étoient placés sur le même pont , l'un à l'avant , & l'autre à l'arrière du navire ; mais il n'importe pas qu'ils soient placés en un lieu plutôt qu'en un autre , & l'on choisira le plus commode ; il est même certains petits bâtimens où l'on n'a pas assez d'espace pour y établir deux Cabestans sur un même pont ; mais il y en aura toujours assez pour les poser l'un sur l'autre , & cela produira précisément le même effet , si l'on observe les mêmes proportions. On va voir dans un moment que ce double Cabestan , n'occupera pas plus d'espace que le Cabestan ordinaire : pour en juger mieux , il est à propos de remarquer de quelle manière sont faits les Cabestans ordinaires ; en voici la description.

*AABCCDE*, (*Figure 5.*) n'est qu'une seule pièce de

*Fig. 5.*  
D d iij

bois qui fert d'axe , sur lequel tourne le Cabestan. Lorsqu'on ne trouve pas de pièce d'une longueur suffisante , on l'emortoise avec une seconde , de sorte que cela fait le même effet , que si ce n'étoit qu'une seule pièce. Ce Cabestan a , comme on peut le voir dans la figure , deux étages , qui sont séparés par les bordages du Pont *PP* : mais on conçoit aisément qu'il tourne tout entier , soit qu'on introduise les barres ou manivelles dans les trous *CC* , qui sont dans la tête d'enbas dans l'entrepont , ou qu'on les introduise dans les trous *AA* , qui sont dans la tête d'enhaut sur le pont.

La partie supérieure *AAB* , est extérieure sur le pont ; & l'autre partie *CCDE* , est dans l'entrepont ; toute la Machine est retenue dans des trous ronds , pratiqués dans chacun des deux ponts , dans lesquels l'axe passe , & peut tourner librement. L'extrémité inférieure porte sur une savate , ou carlingue *G* , dans laquelle on place un crapaud de cuivre , sur lequel porte tout le Cabestan , au moyen d'un bouton de fer que l'on met au bout *E*.

On fait les Cabestans à deux étages , pour deux raisons : 1°. Parce qu'on peut y placer un plus grand nombre de barres , & y employer plus de monde. 2°. Parce qu'on se sert indifféremment de l'une ou de l'autre des deux fusées , selon que la manœuvre en est plus à portée : mais dans les petits navires , quoique le Cabestan soit tel qu'on vient de le décrire , c'est-à-dire , quoiqu'il ait deux étages , on ne se sert jamais que du premier. C'est dans la cloche supérieure *AAB* , qu'on introduit les barres sur lesquelles on place les hommes destinés à cette manœuvre ; la partie inférieure *CCD* , qui est sous le gaillard d'arrière , n'y est d'aucun usage ; ce n'est que pour la forme qu'elle est placée là ; ce n'est absolument que par conformité avec les grands vaisseaux ; car on ne garnit jamais de barres cette fusée , quoiqu'on pût le faire sans difficulté.

Voilà quel est le Cabestan ordinaire ; or si l'on fait en sorte que ces deux fusées , dont l'une est inutile , & ne sert uniquement qu'à la décoration , puissent tourner séparément



l'une de l'autre, on aura un double Cabestan très-propre aux manœuvres dont on vient de parler. Il me paroît qu'on peut y réussir aisément, & rendre cette Machine très-solide. Voici quelle est mon idée.

*MDABC*, (*Figure 6.*) sera la première pièce du Cabestan, que l'on placera dans le lieu le plus bas, où l'on est accoutumé de placer cette Machine, c'est-à-dire, entre les deux ponts. Cette première pièce ne diffère pas beaucoup du Cabestan ordinaire à un étage; on a observé seulement de le faire cylindrique, & il n'y a de plus que la flèche *MD*, qui sera de la longueur d'un pied & demi, ou deux pieds environ; au haut de cette flèche, il y aura un bouton de fer *M*. Cette flèche & l'axe *BC*, doivent être faits d'une seule pièce de bois, s'il est possible, ou tellement emmortoisés ensemble, que l'un ne puisse tourner sans l'autre: il seroit encore mieux que cette flèche fût d'un fer bien poli, pour diminuer le frottement.

*FFGG*, (*Fig. 7.*) sera la seconde pièce du Cabestan, que l'on placera sur la première: cette pièce doit avoir un petit rebord ou bourlet *GG*, de 2 à 3 pouces; elle sera creusée dans le centre *LLL*, de façon que la flèche *MD*, puisse y entrer, & s'y mouvoir facilement. Kest un crapaud de cuivre au fond du trou, dans lequel entrera le bouton de fer *M*, lorsque les deux pièces seront posées l'une sur l'autre, comme on peut le voir dans la *Figure 8.* où ces deux pièces sont en place l'une sur l'autre.

On voit que la première pièce est placée solidement dans l'entrepont, où elle est retenue par un trou *EE*, fait exprès dans les bordages du pont, & appuyée sur une carlingue *H*, qui a un crapaud de cuivre, sur lequel tourne la première pièce du Cabestan, au moyen d'un bouton de fer *C*, placé au bas de son axe. Quant à la seconde pièce, voici comment elle est arrêtée. *RR* est une grande écoutille, par où peut passer aisément cette pièce supérieure du Cabestan, quand elle est ouverte. On a dit que cette pièce doit avoir un rebord de deux à trois pouces, qui forme une espèce

- de bourlet ; ainsi quand les deux pièces seront une fois mises en place l'une sur l'autre , on fermera l'écouille avec un
- Fig. 8. 9.* porteau bien fort  $QQ$  , ( *Fig. 9. & 8.* ) qui aura un trou rond dans le milieu , assez grand pour que la pièce supérieure puisse y tourner sans obstacle , mais assez petit cependant pour que le bourlet  $GG$  , ( *Fig. 7. & 8.* ) empêche cette pièce de pouvoir se dégager , ou même d'être soulevée par quelque accident , ainsi qu'on peut le voir dans la
- Fig. 8.* *Figure 8.* qui représente la coupe ou profil de cette Machine. Le porteau sera retenu par plusieurs coignets de bois  $TT$  , qui s'engageront dans de bonnes & fortes mains de fer  $SS$  ; ce qui achevera de rendre cette Machine très forte & très-solide , en lui conservant cependant l'avantage d'être facilement démontée & remontée au besoin.

Au moyen de cela , la partie supérieure pourra tourner indépendamment de l'inférieure ; & n'y ayant rien qui les empêche de se mouvoir ensemble , ou séparément , toutes les fois qu'on voudra , on pourra par le secours de cette Machine , faire toutes les manœuvres qu'on voudra : il ne sera question que de se servir des deux fuseaux de ce double Cabestan , de la même façon que l'on feroit , si les deux Cabestans étoient sur le même pont ; ce qu'on fera fort aisément , si l'on donne aux cordages que l'on employera , une direction convenable , & cela ne dépend que de quelques poulies placées à propos. Je crois qu'il est inutile de s'étendre davantage là-dessus ; ce qui a été dit , fait assez sentir de quelle façon on pourra disposer sa manœuvre , pour qu'elle se fasse avec toute la diligence possible.

- Fig. 8.* On pourroit encore , & peut-être même avec plus de succès , faire enfilet les deux Cabestans  $AA$  &  $BB$  , ( *Fig. 10.* ) par un grand per ou axe de fer  $CD$  , bien poli , autour duquel ces deux Cabestans tourneroient librement au moyen des boucles de cuivre  $FF$  , que l'on placera au haut , & au bas de chaque Cabestan , pour qu'il ne se fasse de frottement que dans ces parties là.  $LL$  sont des coussinets de fer de figure conique , sur lesquels portent les Cabestans , pour qu'il

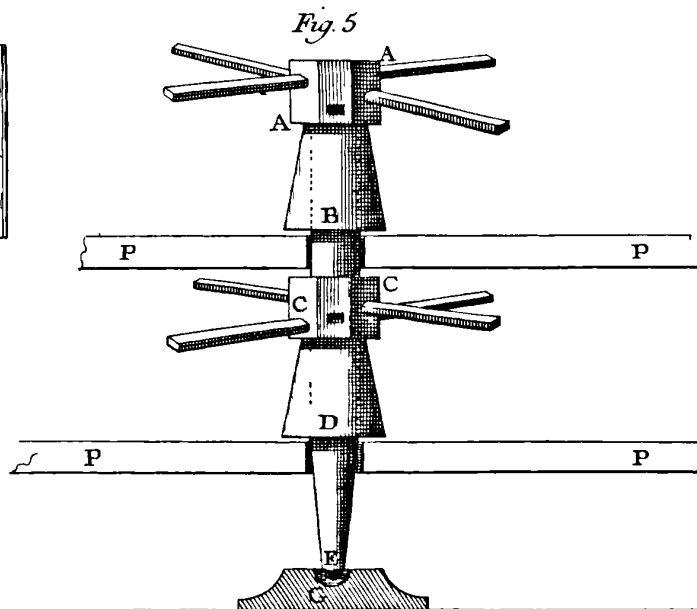
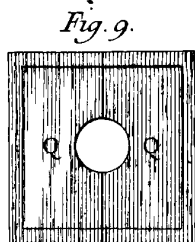
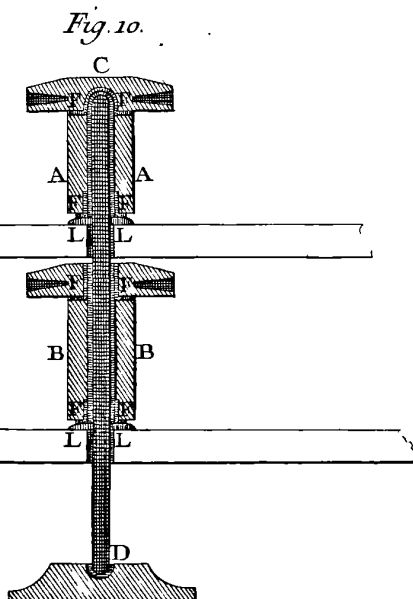
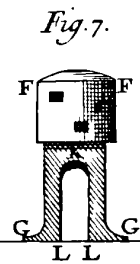
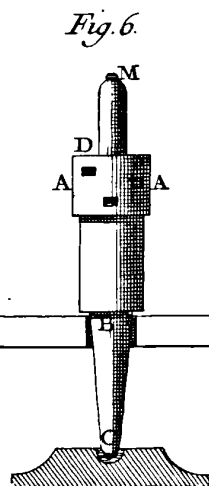
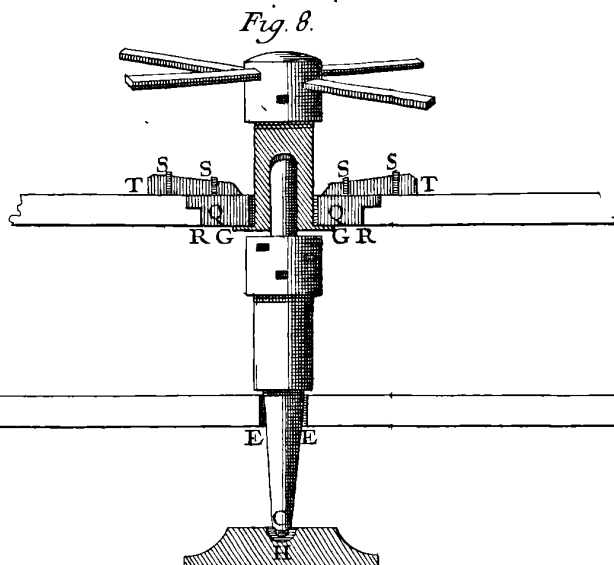
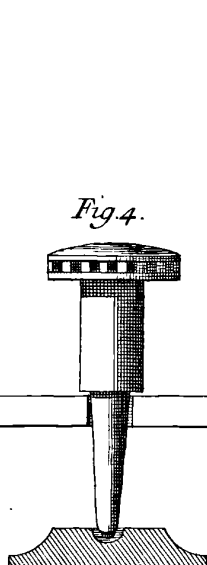
qu'il s'y fasse moins de frottement que sur le pont. On voit que la tête de ces Cabestans doit être faite comme celle du Cabestan à l'Angloise, (*Fig. 4.*) sans quoi on ne pourroit pas y introduire les barres : on en voit le profil, (*Fig. 10.*) Enfin on pourra s'y prendre de plusieurs façons différentes, & l'on doit être assuré du succès, pourvû qu'on se procure deux Cabestans qui puissent virer indépendamment l'un de l'autre. *Fig. 4. Fig. 10.*

Nos Observations se réduisent donc, 1°. à faire les Cabestans cylindriques, & 2°. à en employer deux pour chaque manœuvre, où l'on est obligé de se servir de cette Machine. On pourra dans les grands vaisseaux, les laisser dans la place qu'ils occupent, ou même dans un lieu plus commode, si on le juge à propos. Il suffit de les faire d'égale grosseur, ainsi qu'on l'a vû, (*Figure 2.*) A l'égard des petits navires où l'on est obligé d'économiser l'espace, on pourra faire cette Machine sur les modèles qu'on a donnés, (*Fig. 8. 8. & 10.*) au moyen de quoi, on fera facilement toutes les manœuvres du Cabestan, & avec toute la diligence possible. *Fig. 2. Fig. 8. 10.*

*F I N.*

*Prix. 1741.*

*E c*





# RECUEIL

DE DIFFERENTES EXPERIENCES,  
ESSAIS ET RAISONNEMENS

SUR LA

MEILLEURE CONSTRUCTION

## DU CABESTAN;

Par rapport aux usages auxquels on l'applique  
dans un Vaiffeau.

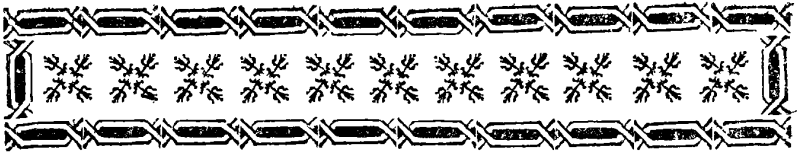
*Piece qui a concouru au Prix de l'Académie  
Royale des Sciences.*

---

*Quando non potest fieri id quod vis, id velis quod fieri possit.*

Par M. FENEL, Chanoine de Sens.





# RECUEIL

SUR LA

## MEILLEURE CONSTRUCTION DU CABESTAN.

---

*Quando non potest fieri id quod vis, id velis quod fieri possit.*

---

**J**E divise cet Essai en trois Parties.

Dans la *premiere*, après avoir décrit en peu de mots le Cabestan & ses avantages, j'expliquerai la maniere dont on s'en sert actuellement, principalement par rapport aux ancrés; & je détaillerai les inconvéniens connus de cette Méthode, auxquels je joindrai quelques nouvelles considérations: je déterminerai enfin quel est le point précis de la difficulté du Problème qui est à résoudre, & je tâcherai de faire voir dans quelles bornes on est resserré pour en venir à bout, desquelles il est absolument impossible de sortir.

Dans la *seconde Partie*, (qui n'est que *préparatoire* à la troisième, & dont j'aurois pu, absolument parlant, supprimer une grande portion,) j'explique la nature de la courbe *Helice*, autant que je crois que mon sujet le demande; puis je fais application de ces principes à l'*enroulement des Cordes sur un treuil ou essieu perpendiculaire*: & je propose une Machine nouvelle pour joindre invinciblement le ca-

E e ij.



ble de l'ancre avec le cordage du Cabestan, & pour éviter par-là de se servir des Garcettes.

Dans la *troisième Partie* enfin, ( qui est proprement la seule essentielle, ) j'explique différentes Méthodes que j'ai inventées, & toutes éprouvées, pour éviter les inconvéniens proposés dans le Problème; à quoi j'ai joint en différens endroits quelques réflexions & remarques, notamment sur un moyen facile d'augmenter considérablement le nombre des hommes qui virent sur le Cabestan, à la partie du virage qui a le plus de circonférence.

## PREMIERE PARTIE.

**L**E Cabestan des vaisseaux est un essieu de bois, de forme à peu près cylindrique, qui est posé verticalement, & qui étant arrêté fermement en plusieurs endroits, tourne sur lui-même avec facilité, au moyen de plusieurs barres que l'on y emmanche horizontalement, & que plusieurs hommes poussent circulairement.

Voyez ci-après sur la partie de cet essieu qu'on appelle *cloche*.

On voit par cette définition ( qui est très-générale, ) que je veux donner une notion qui convienne à toutes sortes de Cabestans: soit *immobiles*, soit *fixes*; soit *volants*, soit *mobiles*; soit *grands* ou *doubles*; soit *petits* ou *simples*; soit que les barres y soient en plus grand ou en moindre nombre; soit que ces barres soient à l'Angloise ou non, ( *a* ) &c.

L'usage du Cabestan est pour tirer ou lâcher des fardeaux considérables par le moyen de la corde qui s'enroule ou se déroule sur son arbre, treuil, axe, essieu, tambour, cloche, fusée; ce sont tous termes synonymes que j'emploierai indifféremment.

( *a* ) Les barres à l'Angloise, sont celles qui ne traversent pas la tête du Cabestan de part en part, mais qui ne sont proprement que des demi-barres qu'on emmanche dans une tete faite expres, & qui est plus grosse que la cloche du Cabestan.

L'avantage de cette Machine consiste 1°. en sa simplicité, qui ne peut être plus grande qu'elle est dans son espèce ; d'où il suit qu'elle est sujette au moins d'accident qu'il est possible.

2°. En sa situation verticale, qui étant conforme à la position la plus avantageuse que les fibres du bois puissent avoir pour ne pas souffrir d'effort, la rend très-durable & très-solide.

3°. Enfin, principalement par rapport à la manœuvre, en ce que l'on peut augmenter la force motrice de cette Machine à volonté, en allongeant les barres tant qu'on le veut ; & en mettant outre cela dans certains Cabestans de doubles ou secondes barres, dans le prolongement de ces Cabestans ; par le moyen de quoi on double toute la force qu'on avoit déjà. (a)

La manœuvre ordinaire du Cabestan est elle, principalement pour les ancres :

On prépare un cordage d'une grosseur convenable, en y faisant exprès des grosseurs de distance en distance, ( au moyen d'un entrelassement de fil de carret ; ) cela s'appelle des *fusées* ; on garnit cette corde sur la partie supérieure du tambour ou treuil du Cabestan destinée à cet effet, & qu'on appelle *Cloche*, parce qu'elle est un peu plus grosse par le bas que par le haut, ( enforte qu'elle forme un cône tronqué en cet endroit ; ) on lui fait faire un tour & demi sur la Cloche, & même jusqu'à deux tours & demi ; puis on joint les deux bouts de cette corde ensemble, ( ce qu'on appelle *aiguilleter*, ) en telle sorte que cette corde puisse d'un bout à l'autre successivement rouler aisément autour de la cloche, sans qu'il y ait jamais plus de deux tours & demi de cette corde sur cette cloche ; car tandis qu'un côté s'enroule, l'autre se déroule, & ainsi toujours. Les choses en cet état, on attache en plusieurs endroits le cable qui porte le fardeau qu'on veut attirer ( ou lâcher ) avec les fusées de la

(a) Ces avantages ne se trouvent pas dans le virevaut horizontal, dont on ne peut allonger les barres à volonté.

branche inférieure de la tournevire, & cela au moyen de certaines cordes qu'on appelle *garcettes*, que plusieurs hommes destinés à cela employent à joindre le cable & la tournevire ensemble, & à les tenir affujettis l'un contre l'autre à force de mains, tant qu'il est nécessaire; puis on tourne le Cabestan, qui attirant à soi la Tournevire, amène en même tems le cable & le fardeau, (ou les lâche selon le sens dans lequel on tourne.) A mesure que l'opération avance, les nœuds des *garcettes* approchent du Cabestan, & s'éloignent du point d'obstacle; il faut donc faire de nouveaux nœuds qui tiennent unis ensemble le cable & la tournevire, le plus près qu'il est possible de ce point d'obstacle; pour cet effet, un de ceux qui tiennent les *garcettes* les plus prochaines du Cabestan, lâche son nœud, & va porter ce nœud au-delà de tous les autres, ce que chacun d'eux fait à son tour pareillement; ainsi tous les nœuds successivement changent de place à proportion que la tournevire attire le cable à lui; ainsi par cette opération alternative du changement des *garcettes* & des nœuds, & par l'enroulement & le déroulement successif des parties de la tournevire sur la cloche, le fardeau est attiré autant qu'on en a besoin.

### REFLEXIONS SUR CETTE MANŒUVRE.

Il est évident que cette manœuvre est très-ingénieuse & subtile; mais c'est cette subtilité même, qui fait voir que ce n'est pas la première qui ait été mise en usage à cet égard: & que c'est un perfectionnement de quelque autre méthode plus grossière & plus difficile en même tems.

En effet l'idée la plus simple est sans doute d'enrouler la corde qui tire le fardeau autour du treuil, & cela jusqu'à ce qu'on ait amené le fardeau au point où on le veut avoir; & non pas d'employer deux cordes, l'une qui tire le fardeau, & l'autre qui attire celle-ci: d'ailleurs il ne se présente pas d'abord à l'esprit d'imaginer une sorte de corde qui soit *perpétuelle*, pour ainsi dire, & qui tourne sans cesse  
autour

autour du même treuil , enforte que la partie qui est dessus le treuil , s'en éloigne ensuite , & y revienne enfin par une succession continuelle. C'est donc ici un perfectionnement ; mais il est important de sçavoir ce qui l'a causé.

C'est qu'on a vû sans doute que les cables qui portent immédiatement le fardeau , sont trop gros pour être enroulés autour d'un treuil ordinaire ; il falloit pour remédier à cela , donner à ce treuil un diamètre monstrueux , & diminuer d'autant par conséquent la force des leviers ; ensuite quand la corde étoit parvenue en s'enroulant jusqu'au bas du treuil , on ne pouvoit continuer l'opération qu'en *rendo-  
doublant* le cordage , & en l'enroulant sur les tours de cordes déjà garnies autour du treuil ; cela ne pouvoit se faire sans faire remonter la corde , ce qui en bien des occasions ou est absolument impossible , ou ne peut se faire qu'avec un nouvel effort : enfin quand on l'eût pû faire , on n'auroit gagné par - là autre chose , sinon qu'on eût augmenté le diamètre du cylindre , en multipliant les cordes les unes sur les autres ; & l'on eût par - là diminué la force , qui est la chose dont on a le plus de besoin en cette occasion : de quelque maniere donc qu'on s'y prît , l'ancienne opération avoit des inconvéniens très-grands ; il a donc fallu imaginer celle qui est en usage aujourd'hui , & à laquelle néanmoins il est sûr qu'on n'est venu que par degrés.

Cette opération moderne (quelque ingénieuse qu'elle soit) a néanmoins quelques inconvéniens.

1<sup>o</sup>. Le principal est que dans les fréquentes manœuvres où l'on se sert du Cabestan , le cordage attaché au poids qu'on veut lever ou traîner , se dévide sur l'essieu de cette Machine , de maniere qu'à chaque tour ce cordage descend de toute sa grosseur , & qu'après plusieurs tours il parvient au bout du Cabestan , & qu'il faut le rehausser ( ou *choquer* ) pour éviter qu'il ne s'embarresse ; par-là on ne sçau-  
roit se servir du Cabestan , qu'on ne soit obligé de *choquer* plusieurs fois , & à chaque fois qu'on *choque* , il faut arrêter le mouvement de la Machine ; prendre des *bosses* ( ou *treffes* ,

Prix. 1741.

F f

Premier  
program-  
me de MM.  
de l'Acadé-  
mie Royale  
des Scien-  
ces.

&c.) sur le cordage; *dévire* le Cabestan, pour *mollir* (ou lâcher) la partie du cordage qui est sur l'essieu, relever le cordage, le roidir de nouveau, & enfin ôter les *bosses* pour remettre le Cabestan en état; cette opération souvent répétée, emporte beaucoup de tems, & dans plusieurs rencontres un tems précieux, & elle fait toujours perdre une partie de l'effort déjà fait.

Second  
program-  
me de la  
même Aca-  
démie.

Ce sont ces inconvéniens auxquels il s'agit de remédier; & c'est ce qu'il faut faire d'une manière qui n'ôte rien à la solidité & à la simplicité du Cabestan; & par quelque invention, qui soit en même tems expéditive, & d'une pratique tout autrement dégagée d'embarras & à l'abri de tout accident, qu'elle ne devroit être sur terre, où l'on a le loisir, l'espace & les commodités nécessaires pour y remédier: & en cela il faut avoir égard aux diverses circonstances où l'on se trouve sur un vaisseau, & aux hommes qui en exécutent la manœuvre.

Nouveaux  
inconvé-  
niens.

S'il étoit permis d'ajouter quelque chose à ces inconvéniens qui résultent de la manœuvre ordinaire du Cabestan, je dirois qu'il y en a encore quelques-uns qui n'ont point été touchés par les illustres Auteurs du problème, sçavoir:

2°. Que la manœuvre des garcettes (quoiqu'ingénieuse & assez simple) demande le travail de plusieurs hommes, qui sont obligés d'y employer toutes leurs forces, & cela pendant tout le tems de l'opération, ce qui doit être extrêmement pénible, sur-tout quand l'équipage est foible. Outre cela cet emploi des garcettes oblige à faire des fusées ou grosseurs sur la tournevire, ce qui la rend moins traitable & plus difficile à dévider. (a)

3°. Que la hauteur des barres du Cabestan, étant nécessairement proportionnée à celle de l'estomac d'un homme

(a) Joignez à ces difficultés, qu'il est extrêmement difficile de se servir des garcettes, quand le vaisseau souffre de grands roulis ou un tangage considérable; car alors les hommes balancés en divers sens, ne peuvent manquer de changer de situation fréquemment, en sorte qu'ils ne peuvent pas employer toutes leurs forces à tenir les garcettes, (quoique cela fut nécessaire,) leur situation étant d'ailleurs gênée en cette opération, &c.

de moyenne taille , ( afin que les Matelots soient dans la situation la plus avantageuse , pour employer toutes leurs forces à virer ; ) il s'enfuit nécessairement que la cloche du Cabestan doit avoir très-peu de hauteur ; ce qui fait qu'on est obligé de *choquer* plus souvent , parce que le cordage arrive bien plutôt à l'extrémité inférieure de la cloche.

4°. Il y a un dernier inconvénient, qui résulte dans la levée des ancras , du frottement très-considérable que souffre le cable dans l'*écubier*.

Ce dernier ne regarde pas proprement à la vérité le Cabestan , & l'on pourroit remédier à l'un , sans le faire à l'autre ; ainsi cela n'est pas ( à la rigueur ) de l'objet que j'ai entrepris ; j'ai donc résolu de n'en pas traiter dans ce discours : je me contenterai seulement de remarquer que l'expérience répétée , m'a appris qu'un poids pendant au bout d'une corde , ( laquelle souffre des frottemens dans l'infléxion qu'elle fait pour aller gagner la Machine motrice , ) est bien plus difficile à enlever, que le même poids dans toute autre situation , comme quand il est traînant , par exemple , sur un plan horizontal. La différence de ces deux cas est bien plus grande qu'on ne le pense d'ordinaire ; mais je ne puis pas entrer dans tout le détail de cela.

Voilà pour ce qui regarde les difficultés de l'emploi du Cabestan , par rapport aux ancras : à l'égard des autres usages du Cabestan , tels que ceux de lever les mâts de hune , & les grandes vergues , &c. la manœuvre en est différente , parce qu'il s'agit d'enlever ces poids par le moyen des *palans* , dont on met le *garand* à l'un des Cabestans , particulièrement au petit , ou simple , & alors il faut que le Cabestan tire de bas en haut , c'est-à-dire , qu'il amène une corde qui passe dans un lieu plus élevé , ce qui n'est pas sujet aux inconvéniens ci-dessus , quoiqu'il faille toujours concevoir que la corde parvient enfin à l'une des extrémités de l'essieu du Cabestan ; ce qui forme un embarras dont on sentira tout à l'heure l'entière étendue. On parlera à la fin de cet écrit , de ce qu'on peut faire de plus convenable , par

F f ij

rapport à ces objets particuliers , & bien moins importants que ce qui regarde la levée de l'ancre.

Il faut l'avouer ingénument , voilà un des plus difficiles problêmes qui ait jamais été proposé ; aussi faut-il convenir que si l'on peut parvenir à le résoudre , cette résolution fera d'une très-grande utilité.

Quand on ne seroit pas d'ailleurs convaincu de la difficulté de cette question , par des circonstances étrangères au fonds ; il suffiroit pour s'en convaincre , de faire cette réflexion très-simple , que je mets ici , dans la vûe de faire sentir en peu de mots , le point précis dans lequel est tout l'embarras.

Point précis de la difficulté de ce problème.

C'est que quelque Machine qu'on employe , quelque addition qu'on fasse au Cabestan , ( car il est trop simple pour qu'on en puisse rien retrancher , ) quelque nouvelle forme qu'on donne à son Treuil , en un mot de quelque invention qu'on se serve ; il faudra toujours se servir d'un essieu perpendiculaire , autour duquel s'enroule un cordage ; & ainsi on ne pourra jamais empêcher que ce cordage n'arrive enfin à une des extrémités ( soit inférieure , soit supérieure ) de cet essieu ; ce qui constitue essentiellement aujourd'hui la nécessité du *choc*.

Comme cette difficulté est fondée sur l'essence même de la Machine qu'il faut employer , & que d'ailleurs les avantages du Cabestan ( énoncés ci-devant à la page 1 , & 2. ) sont trop grands pour qu'on puisse y renoncer , en construisant une Machine sur une idée toute différente de la sienne ; il faut convenir que l'on se trouve renfermé dans des bornes très-étroites pour la solution du problème.

En effet si on divise ( comme on le doit ) la force qu'on peut appliquer à la Machine , en *force utile* , & en *force superflue* ; & qu'on appelle du nom de la *premiere* , la force qui est réellement employée sans aucune perte à mouvoir le fardeau ; & qu'on nomme *superflue* celle qui n'est employée qu'à surmonter le frottement , ou l'effet de quelque mauvaise construction de la Machine , on verra que toute la force

du Cabestan est utile, sinon en deux points ; c'est-à-dire , le frottement dans les écubiers , & l'arrangement irrégulier des cordes sur le Treuil. ( a ) D'où il s'enfuit que hors ces deux articles , qui sont ( à parler exactement ) étrangers à l'essence du Cabestan, il n'y a rien à perfectionner dans cette Machine ; car si l'on se proposoit d'y donner une plus grande force réelle, ( sans augmenter la puissance ou force mouvante , s'entend, ) ce ne pourroit être qu'en lui faisant perdre à proportion du tems utile , qui est une chose trop précieuse ici pour en rien diminuer.

Si nous raisonnons de même à l'égard du tems qu'il faut employer au jeu de la Machine, & qu'on le divise en *tems utile* , uniquement employé à lever le fardeau , & en *tems superflu* , occupé à ôter les obstacles qui empêchent la Machine de tourner sans interruption. On trouvera pareillement que le tems superflu se réduit au *choc* , & à tout ce qui s'enfuit , & que tout le reste est utile sans aucune diminution. Or ce choc ne peut pas être ôté par une nouvelle construction du Cabestan, comme il a été prouvé ci-devant ; puisqu'il faut nécessairement que la corde parvienne à une des extrémités de l'essieu , dans un tems donné.

Il faut donc renoncer à l'idée de faire une nouvelle Machine , essentiellement différente de l'ancienne ; comme celle-ci est souverainement simple , la composition qui se trouveroit dans l'autre , la rendroit toujours d'un moindre effet, à proportion qu'elle seroit plus composée, ( selon un axiome reçu dans les Mécaniques ; ) d'ailleurs cela la rendroit plus fragile, & sujette à plus d'accidents, auxquels il seroit plus difficile de remédier, qu'à ceux qu'on a voulu éviter en proposant le problème : enfin cette Machine plus composée tiendroit , selon toutes les apparences, plus de place, ce qui est souverainement précieux dans les vaisseaux;

( a ) J'ai déjà dit que je ne voulois point entrer dans la question du frottement dans les écubiers , comme étant étrangère à mon sujet ; à l'égard de l'arrangement irrégulier des cordes sur le treuil , j'en dirai dans la seconde Partie tout ce que j'en crois nécessaire.



on ne peut s'empêcher de mettre dans le circuit nécessaire pour le virage dans l'entrepont, des coffres, des canons, &c. qu'il faut ôter avec bien du travail dans la manœuvre du grand Cabestan; que seroit-ce s'il falloit avoir une Machine plus grande? qui étant fixe, occuperait un terrain destiné à d'autres choses, ou qui étant mobile, ne pourroit pas être déplacée & replacée sans un extrême embarras.

But qu'il faut se proposer dans la solution du problème. Limites précises dans lesquelles on se trouve renfermé.

Il faut donc s'en tenir à trouver, non pas une nouvelle Machine, mais quelque nouvelle manœuvre plus subtile que l'ancienne; qui donne le moyen de pouvoir suppléer au choc, par un tour de main qui puisse mettre en sa place quelque chose qui en tienne lieu; ou bien quelque invention par où le choc se fasse (pour ainsi dire) de soi-même; ou bien une manière pour donner le tems de choquer sans discontinuer le virage; ou enfin quelque adresse, qui au lieu de tous ces embarras du choc, plusieurs fois répétés dans la méthode vulgaire durant une seule & même opération, substitue une ou deux interruptions de virage seulement, dont chacune fera d'un tems très-court.

Voilà les idées que je me suis proposées, que je m'en vais exposer, après avoir averti que je n'en expliquerai aucune, que je ne l'aye éprouvée en petit, & ensuite en grand, sans y épargner la fatigue & la dépense; j'y ai joint des moyens pour substituer au travail des garcettes une Machine fort simple & fort expéditive, qui ne demandera qu'un homme ou deux tout au plus, qui ne fatigueront aucunement, laquelle j'ai éprouvée aussi: quant à la pensée qu'on pourroit avoir de réussir par une nouvelle forme de Treuil, je m'y suis beaucoup arrêté; & non-seulement j'ai examiné ce point à fonds par la spéculation, mais je l'ai réduit en pratique, ayant fait faire des Treuils de toutes sortes de formes imaginables, & les ayant éprouvés ensuite; mais cela m'a convaincu qu'il falloit s'en tenir au Treuil purement cylindrique. J'avois même résolu de mettre ici le détail de toutes ces épreuves instructives; mais je m'en suis déporté, ayant considéré que le problème ne consistoit pas à réfuter les fausses idées.

des autres , mais à proposer quelque chose de meilleur.

Il faut donc s'attacher uniquement à la forme cylindrique , pour le Treuil ; mais comme les cordes s'enroulent sur ce Treuil par une courbe que l'on nomme *hélice* ; il est à propos que j'en dise quelque chose ici , ce que je ferai seulement entant que mon sujet le requiert nécessairement ; & pour cet effet je ne parlerai que des hélices tracées sur des cylindres qui sont droits sur leurs bâses.

## SECONDE PARTIE.

**L'***Hélice en général* est une ligne courbe , qui tourne autour d'un corps solide arrondi , sans jamais rentrer en soi-même , & qui fait ses circonvolutions selon une direction qui n'est pas parallèle à la bâte de ce solide.

L'hélice que j'appelle *régulière* , est une ligne courbe , qui sans jamais rentrer en soi-même , tourne avec uniformité autour d'un cylindre droit , selon une direction qui demeure toujours la même , laquelle n'est point parallèle à la bâte du cylindre.

D'où il suit , 1°. Que chacun de ses tours ou circonvolutions est toujours égal & semblable à chacun des autres tours , & que toutes ses circonvolutions gardent toujours entre elles une même distance.

2°. Que des parties égales de cette courbe sont toujours comprises entre des parallèles à l'axe du cylindre , prises sur la superficie de ce cylindre à volonté.

3°. Que des parties égales de cette courbe sont encore toujours comprises entre des portions égales du cylindre , coupé parallèlement à sa bâte.

4°. Si à quelque point que ce soit de l'hélice , pris à volonté , on mene une tangente , laquelle soit prolongée indéfiniment ; cette tangente fera avec le plan ( aussi prolongé ) de la bâte du cylindre , un angle toujours égal à l'angle

que fera sur ce plan la tangente de tout autre point de la même hélice.

5°. Les sinuosités ou courbures de cette ligne , sont partout de même nature.

6°. Si l'on veut imaginer facilement la génération de cette courbe , il faut concevoir un cylindre droit , auquel soit contiguë verticalement une ligne ou règle immobile ; que l'on conçoive ensuite que ce cylindre se meut également , & uniformément sur son axe ; & qu'en même-tems un point de cette ligne ou règle , monte ou descende sur elle par un mouvement uniforme ; la trace de ce point sur le cylindre tournant , formera la courbe hélice , que je nomme *régulière*.

7°. D'où il s'ensuit que selon qu'on concevra le mouvement de ce point plus lent ou plus prompt , par rapport à celui de la rotation du cylindre sur son axe , on concevra que l'inclinaison de l'hélice sera différente sur la bête du cylindre ; c'est-à-dire , qu'elle sera plus inclinée quand le mouvement du point sera moindre , relativement que celui du cylindre ; & au contraire , &c. Ensorte que si le mouvement du point devenoit infiniment petit , il décriroit un vrai cercle ; & qu'au contraire si celui du cylindre devenoit nul , le point décriroit une ligne droite parallèle à l'axe , sur la superficie du cylindre.

8°. D'où il s'ensuit qu'il peut y avoir une infinité ( je dis *une infinité* ) d'hélices de différentes natures , sur un seul & même cylindre , parce que le mouvement de ce point & du cylindre , peuvent être combinés ensemble d'une infinité de manières diverses.

9°. Et en joignant cette vérité avec l'article 4. ci-dessus , il est clair que si l'on mène une ligne droite qui touche en quelque endroit que ce soit , la superficie d'un cylindre , cette ligne sera la tangente de quelque point d'une hélice possible , dont l'inclinaison de cette tangente à l'horison , constituera la différence d'avec toutes les autres hélices.

10°. Par tout ce que je viens d'exposer , on voit que si  
l'hélice

l'hélice  $ABbH$  Fig. 1. est donnée dans le cylindre  $AFED$ , Fig. 1. & que l'on prenne sur la superficie du cylindre, la parallèle  $BC$  à l'axe de ce cylindre, laquelle soit indéfiniment proche de  $A$ , origine de l'hélice, & qui soit entre un point du circuit de la bête  $ACcD$ , & un point de l'hélice même; si ensuite on prend une autre ligne  $bc$ , aussi parallèle à l'axe, en quel point on voudra nommé  $c$  du circuit de la bête, & que cette ligne aille joindre l'hélice au point  $b$ , on aura la proportion suivante: Comme l'arc  $AC$ , est à la ligne  $BC$ : ainsi l'arc  $ACc$ , est à la ligne  $bc$ . Donc  $AC$ ,  $CB$  étant conçues comme infiniment petites, & par conséquent  $AC$  étant droit, on en déduira aisément l'élément de cette courbe, qui suppose la rectification du cercle, nommant  $AC$ ,  $x$ ; &  $BC$ ,  $a$ ; &  $AB$ ,  $y$ ; on aura toujours  $y = \sqrt{x^2 + a^2}$ , pour l'équation de la courbe hélice régulière.

11°. Par tout ce qui vient d'être dit sur la nature de cette courbe, il est évident que par quelque point que ce soit de la superficie d'un cylindre, il peut passer une infinité d'hélices régulières, différentes, c'est-à-dire, sous toutes sortes d'angles, & sous toutes sortes de directions ou d'inclinaisons; excepté la direction verticale & l'horizontale.

12°. J'appelle *hélice complete*, la révolution entière d'une courbe tournée en hélice, autour du cylindre où elle est formée, enforte que son premier & son dernier point, soient perpendiculairement l'un au-dessous de l'autre, dans une même ligne parallèle à l'axe du cylindre.

13°. Je l'appelle *continuée*, quand outre ce premier tour ou circonvolution, il y a quelque autre partie de cette courbe qui s'étend en dessus ou en dessous d'elle, dans le même cylindre, soit qu'elle s'étende peu ou beaucoup, dans l'un de ces sens, ou dans tous les deux ensemble.

14°. Quand l'hélice est continuée, c'est une nouvelle hélice complete, qui recommence au-dessus ou au-dessous de celle-ci: & partant, cette continuation a la même nature & les mêmes propriétés que la complete, dont elle est la continuation; ainsi on pourra appliquer à celle-ci la

Prix. 1741.

G g

même équation que nous venons de donner de cette courbe, ce qui se prouve ainsi. L'hélice régulière correspond par sa génération à un cercle qui est la circonférence de la bête du cylindre, où elle est engendrée ; partant l'hélice continuée correspondra à un ou à plusieurs cercles parallèles, & semblables à celui de cette bête ; si maintenant on conçoit comme *rectifiés* tous ces cercles, ou leurs arcs, correspondants à une hélice continuée, & que l'on en compose une seule ligne droite, on en conclura cette analogie.

Comme le petit arc de cercle pris sur la circonférence de la bête du cylindre, infiniment près du point de la naissance de l'hélice, est à la ligne droite parallèle à l'axe du cylindre qui joint cet arc au point correspondant de l'hélice : de même la somme des cercles ou des arcs de cercles correspondants à l'hélice continuée, jusqu'à un point donné, est à la ligne droite menée de ce point donné, parallèlement à l'axe du cylindre, jusques à sa bête d'icelui.

15°. J'appelle *hélice redoublée*, celle qui a un nombre entier de tours ou circonvolutions sur son cylindre, sans aucune fraction.

16°. J'appelle un *cylindre capable d'une hélice redoublée*, le cylindre sur lequel une hélice donnée peut être enroulée précisément toute entière sans aucun reste.

*Application de cette théorie à des cordes enroulées sur un Treuil cylindrique perpendiculaire.*

Maintenant pour faire application de cette Théorie à des cordes qui s'enroulent sur des Treuils cylindriques, j'observe :

1°. Que si l'on conçoit une corde actuellement enroulée uniformément & sans vuide autour d'un cylindre, l'atouchement de cette corde sur ce cylindre, tracera une hélice, qui sera par l'hypothèse, *régulière*.\*

\* Dans cette spéculation je regarde les cordes comme étant sans pesanteur, & je ferai ensuite les exceptions nécessaires par rapport à leur pesanteur, à leur

2°. Les cordes qui s'enroulent sur un Treuil , peuvent être en deux circonstances diverses à l'égard de ce treuil ; car ou elles traînent immédiatement après elles leur poids , qui s'approche à proportion du Treuil ; ou elles passent le long de l'extrémité de quelque corps solide , où elles se coudent & se fléchissent , ( ou se plient , ) enforte que le poids va alors directement & immédiatement vers cette extrémité , & que le coude ( ou inflexion ) de la corde devient à l'égard du virement du Treuil , l'obstacle où se trouve la résistance.

3°. Dans l'un & dans l'autre cas , la corde étant suffisamment bandée par le poids qu'elle traîne ou qu'elle enlève , représente une tangente à la superficie du treuil , dans le point où celui-ci fait effort pour attirer la corde.

4°. Et comme l'enroulement successif de la corde sur le treuil , la fait ou monter ou descendre le long de ce treuil , les diverses situations que cela fait prendre à la corde , représentent une suite de tangentes sur ledit treuil ; enforte que le point d'attouchement monte ou descend successivement le long de la superficie du cylindre , toujours dans une seule & même ligne droite , qui est parallèle à l'axe du treuil , laquelle je nomme *la ligne des tangentes*.

5°. D'où il s'ensuit que la corde tendue , dans les diverses situations qu'elle prend en montant ou en descendant sur le treuil , reste toujours dans le même plan , soit que le poids soit traînant & mobile , soit que l'obstacle soit fixe : lequel plan passe par cette ligne parallèle à l'axe du treuil , & par le centre de l'obstacle fixe ou du poids traînant , selon les divers cas.

### P R O P O S I T I O N .

Si l'on donne une corde qui soit précisément de la longueur nécessaire pour égaler toutes les circonvolutions d'une helice redoublée donnée , dont soit capable un cy-

courbure , à leur résistance à être ployées ; & aussi par rapport à leur raccourcissement dans la partie concave , & à leur allongement dans la partie convexe lors de leur enroulement.

G g ij

lindre donné; si l'on attache l'extrémité supérieure de cette corde à un point du sommet du cylindre; qu'ensuite ayant donné à cette corde toute l'extension dont elle est capable, l'on attache à l'autre bout un poids traînant & mobile, sur le plan prolongé de la bête du cylindre, ( lequel poids soit suffisant pour tenir la corde bandée, & qui suive exactement la corde à mesure qu'elle est attirée; ) ensuite que l'on fasse tourner le cylindre sur son axe: Je dis, 1<sup>o</sup>. que cette corde en amenant son poids, sera toujours parallèle à elle-même. 2<sup>o</sup>. Que cette corde s'enroulera exactement selon l'hélice redoublée donnée. Dans le cylindre  $ABCD$ , *Fig. 2* soit conçue décrite l'hélice redoublée  $EP, HGI, QM$ , dont on ne voit que les parties tournées du côté du spectateur. Soit donnée la corde  $EF$  précisément égale à cette hélice redoublée, laquelle soit attachée en  $E$  au cylindre au point où la courbe commence, & que l'autre extrémité de cette corde soit en  $F$ , en sorte que l'exakte tension de cette corde fasse la ligne droite  $EF$ .

*Fig. 2.*

Concevons que la corde donnée est actuellement enroulée entièrement sans aucun vuide ni intervalle sur le treuil, ou colonne  $ABCD$ , on trouvera que cette corde l'entoure ( par l'hypothèse ) depuis  $E$  jusqu'en  $M$ , & que par son attouchement sur le treuil, elle décrit sa courbe  $EP, HGI, QM$ : si maintenant on attache à l'extrémité  $M$  de cette corde un poids suffisant pour la tenir tendue, & qui soit mobile & traînant, & que l'on fasse mouvoir le cylindre uniformément afin de faire dérouler cette corde; si l'on conçoit en même tems que ce poids mobile, à mesure que cette corde se détortille, se meut uniformément sur la ligne  $MF$ , de  $M$  en  $F$ , précisément autant qu'il faut pour tenir cette corde tendue, on trouvera que cette corde dans toutes les situations qu'elle prendra depuis  $M$  jusqu'en  $F$ , en se déroulant, représentera des portions de la courbe développée & rectifiée, & sera précisément égale à cette portion: d'où il suit qu'en quelque point que ce soit de ce développement, on pourra appliquer à la partie développée

& rectifiée l'équation de la courbe, qui est  $y = \sqrt{xx + aa}$ ; ce qui montre que la corde développée fera toujours l'hypothénuse d'un triangle rectangle, dont les deux côtés sont toujours entr'eux en une même raison qui est donnée; & partant chacune de ces parties développées, sera parallèle à toutes les autres parties développées; si maintenant après que cette corde aura été entièrement développée, & qu'elle aura pris la figure & la position de la ligne  $EF$ , on veut faire tourner le cylindre afin de l'enrouler de nouveau, son poids mobile étant toujours à son extrémité, elle s'enroulera sur ce cylindre par des degrés semblables à ceux par lesquels elle a été déroulée, & repassera par les mêmes points en rétrogradant; elle aura donc dans tous les points de son enveloppement la même situation respective que dans ceux de son développement; & ainsi elle sera toujours parallèle à elle-même dans cet enroulement: ce qu'il falloit démontrer en premier lieu. On peut démontrer la même chose par le lemme suivant.

*L E M M E.*

Entre plusieurs hélices qui passent par le même point, la plus inclinée est la plus longue, & la moins inclinée est la plus courte.

Je juge superflu de mettre au long la démonstration qui procède de ce Lemme.

A l'égard de la seconde partie de la proposition; sçavoir que la corde dans ces circonstances s'enroulera exactement selon l'hélice redoublée donnée, on la démontrera en disant que la corde achévera d'être enroulée précisément au point  $M$ , & que par conséquent elle suivra exactement cette courbe qui doit par l'hypothèse se terminer au même point; la déduction de cela doit procéder selon la même méthode que j'ai employée pour la première partie.



## C O R O L L A I R E.

D'où il s'ensuit que quand la corde tendue ne peut pas demeurer parallèle à elle-même, en montant ou en descendant le long du treuil, il est impossible qu'elle décrive sur ce treuil une hélice régulière.

## R E M A R Q U E.

C'est ce qui arrive néanmoins toujours dès que l'obstacle est fixe, (ce qui est le cas le plus fréquent;) en effet cet obstacle est dans le plan horizontal de la bête du treuil, ou il est élevé au-dessus, ou abaissé au-dessous: s'il est dans ce plan, l'angle que la corde fait avec cet obstacle, varie continuellement selon que la corde est haute ou basse. L'angle de la corde avec le treuil varie aussi à mesure de la descente ou de la montée de la corde sur ce treuil; ainsi le triangle formé par la corde, le treuil, & la ligne tirée de l'obstacle au treuil, change continuellement, excepté dans son angle droit; mais cela forme toujours des triangles rectangles dissemblables.

Si l'obstacle est fixe au-dessus ou au-dessous du plan de la bête du treuil, la même variation d'angles arrivera encore; car l'angle de la corde & d'une ligne menée de l'obstacle à la bête, variera selon que la corde sera haute ou basse, & l'angle de la corde sur le treuil variant aussi, il en résultera des triangles toujours dissemblables, ce qu'il falloit démontrer. Et de-là il suit encore que ces hélices irrégulières que les cordes décrivent autour d'un treuil par des angles variables, doivent produire nécessairement dans l'enroulement des inégalités très-sensibles, les tours devant être serrés & pressés dans un endroit, lâches & évafés dans un autre, &c.

D'où il s'ensuit que dans ces variations d'angles il est impossible que la corde décrive jamais d'hélice complète

régulière ; & non-seulement elle ne peut pas en décrire une complete, mais elle n'en peut pas même décrire une portion ; car l'angle variant à chaque instant, la corde commence toujours dans chaque moment une naissance d'hélice, différente de toutes celles qui ont précédé, & qui fera suivie aussi-tôt par une autre encore toute différente, ce qui est évident par tous les principes posés ci-devant.

Or de cela il résulte un grand inconvénient dans l'enroulement des cordes ; & pour le comprendre il faut observer, que jusques ici nous avons considéré toutes ces choses dans la spéculation, ce que nous n'avons pas pu nous empêcher de faire par rapport à la nécessité des démonstrations ; mais maintenant il faut descendre à la pratique, & considérer les cordes non plus sans pesanteur & sans courbure, mais avec ces deux qualités qui leur sont absolument essentielles dans l'état naturel ; à quoi il faut ajouter que les cordes souffrent une violence plus ou moins grande à être enroulées, & résistent à être ployées, laquelle résistance croît dans le rapport des poids dont les cordes sont chargées, c'est-à-dire, d'autant plus à proportion que les poids sont plus considérables, & précisément dans l'occasion où cette résistance est la plus incommode.

Expériences faites par M. Parent.

Or dans ce ployement des cordes, il doit arriver deux choses ; l'une, que la partie concave de la corde (c'est-à-dire, la partie qui touche le treuil) s'accourcit & se comprime en-dedans ; l'autre, que la partie convexe (c'est-à-dire, celle qui est au-dehors) s'allonge ; mais l'accourcissement est plus grand que l'allongement. Car après avoir bien mesuré la corde qu'il faut pour garnir un treuil, on la trouve toujours dans l'exécution, plus courte qu'il ne faut, ce qui est même plus sensible dans les grosses cordes que dans les petites : de-là il doit résulter que quand une corde ne s'arrange pas sur un treuil avec uniformité, c'est-à-dire, en un mot selon une hélice régulière, elle doit être ployée inégalement ; c'est-à-dire, selon un angle dans un endroit,

Autres expériences du même M. Parent.

& selon un autre angle dans un autre ; d'où il suit qu'elle doit être plus comprimée en-dedans dans un lieu , & plus lâche dans un autre ; plus allongée là en-dehors, & moins allongée ici, &c. d'où il doit résulter, 1°. que les fibres de la corde sont inégalement tiraillées, diversement courbées, & doivent par conséquent résister davantage à son ployement, ce que l'expérience fait voir dans le couronnement qui arrive aux cordes fort chargées ; 2°. que la Machine doit avoir plus de difficulté à enrouler la corde dans les endroits où ses tours & circonvolutions sont trop serrées, (a) & notamment quand l'obstacle est assez éloigné pour que l'angle de la corde & du plan soit trop aigu par rapport à l'hélice que décrit actuellement cette corde sur le treuil ; au lieu que si l'on pouvoit faire en sorte que la corde s'enroulât toujours selon une courbe régulière, aucun de ces inconvéniens n'arriveroit, & il ne faudroit pas employer de force superflue pour vaincre ces résistances, laquelle force superflue tourneroit alors en force utile au profit de la Machine.

Il est vrai que dans la pratique on ne peut pas dire qu'on parvienne jamais à rendre les cordes géométriquement parallèles à elles-mêmes dans l'état de leur tension ; car il est impossible absolument qu'une corde (quelque bien tendue qu'elle soit) puisse être jamais parfaitement droite, d'où il suit que les cordes attirées par le treuil, auront toujours une courbure, laquelle sera d'autant plus grande que la corde sera plus longue.

Mais dans la pratique il ne peut jamais résulter d'inconvénient notable de cela ; tout ce qui en arrive, est que les premiers tours de la corde sont un peu moins serrés qu'ils

(a) Remarquez que quoique la Tournevis n'ait qu'un petit nombre de tours, néanmoins cette irrégularité des tours de la corde, peut avoir lieu à son égard, quand l'angle de cette tournevis & du plan, est trop aigu par rapport au pas d'hélice que la grosseur de la tournevis, respectivement au tronc du Cabestan, lui fait décrire sur ce tronc ; car si cet angle est trop aigu, comme il doit souvent arriver au bas, la corde doit tendre à monter & à s'embarraffer par conséquent avec les tours précédens, ce qui fait un obstacle à vaincre.

ne devroient être ; mais la corde s'enroule toujours avec une très-grande aisance & une très-grande facilité , quand on prend les mesures nécessaires pour lui faire faire une courbe régulière , ce que j'ai expérimenté avec une grande satisfaction plusieurs fois.

Quand donc on voudra le faire ainsi , il faudra mesurer exactement le diamètre du treuil , & celui de la corde qu'on veut employer ; & après les avoir combinés ensemble , on en conclura de quelle sorte d'hélice régulière & complète ce treuil est capable , relativement à la grosseur de la corde ; puis on fera le reste comme en la proposition.

Il est vrai que l'on ne peut pas avoir jusqu'ici la longueur géométrique d'aucune hélice , parce que cela dépend de la rectification du cercle ; mais comme on peut approcher aussi près qu'on veut de cette rectification , on peut aussi approcher tant qu'on le voudra de la mesure de la courbe ; ce qui suffit pour la pratique , & n'a pas besoin d'un plus grand éclaircissement.

Avant que de quitter cet examen , il faut observer qu'on voit souvent avec étonnement que des cordes montent sur un treuil , contre leur propre poids & au-dessus de leur centre de gravité , sans qu'on voye sensiblement par quelle mécanique cela arrive ; tandis que dans d'autres circonstances une corde enroulée au bas d'un treuil , ne peut jamais monter sur ce treuil , à moins qu'on n'y emploie une force étrangère : il est absolument nécessaire que j'explique comment cela arrive.

C'est ce qui sera facile à comprendre , si l'on observe que quand une corde est au niveau de l'extrémité inférieure d'un treuil , & qu'elle est tirée par un poids qui est dans le même niveau , il est impossible qu'elle décrive autour de ce treuil autre chose qu'un cercle.

Par conséquent les choses demeurant au même état , il faut que cette corde reste dans le plan de ce cercle , ne pouvant avoir aucune des causes qu'on va voir tout à l'heure occasionner quelquefois sa montée ; & partant elle ne

pourra jamais monter d'elle-même, & il faudra pour cela qu'on y employe une force étrangere.

Mais il en arrive quelquefois tout autrement quand la corde a déjà commencé à décrire une courbe hélice, (sur-tout quand celle-ci est fort inclinée & rampante, & non pas roide, & que la corde est assez longue;) car alors la corde continue à monter sur les tours ou circonvolutions déjà enroulées, quoique cela se fasse contre son propre poids, & qu'en cela son centre de gravité monte (à ce qu'il semble) de lui-même & sans violence, & qu'il n'y ait point de nouvelle puissance actuelle qui en soit la cause, ce qui semble contraire au principe de Méchanique.

Mais l'étonnement cessera, quand l'on considérera que la corde monte en ce cas là par deux raisons fort simples & fort sensibles. La premiere est que par l'hypothese il y a déjà une partie de cette corde enroulée sur le treuil, selon une circonvolution *hélitique*, que les parties de cette corde qui sont les plus prochaines de l'endroit où elle commence à se tendre, sont disposées par conséquent sur un plan incliné en cette sorte: *AB, CD*, *Fig. 3.* sont les tours de la corde déjà enroulés sur le treuil, 10. *EF*, sont les parties de la corde qui ont été dernièrement enroulées, & qui sont les plus proches de l'endroit *G* où la corde commence à se tendre; cette corde étant par elle-même roide\*, (& d'autant plus roide qu'elle est plus grosse,) reçoit dans la partie *EF* une direction inclinée ascendante, qui dispose ses parties subséquentes vers *G* à s'élever un peu; elle ne reprend pas ensuite la figure droite vers *H* tout d'un coup & angulairement; mais insensiblement & en forme d'arc; la partie *B* de la corde inférieure, qui est plus élevée que *A*, se trouve justement dans le creux de cet arc, & le treuil continuant à tourner, la corde se trouve prête à monter sur *B*, & elle y monte effectivement.

20. Quand même il arriveroit que la corde souffriroit en *G* quelque frottement contre le bord supérieur de la partie *B*, cela n'empêche pas que la corde ne monte,

*Fig. 3.*

\* J'oppose  
roide à mou.

pourvû que ce frottement ne soit pas trop grand , ni l'engrènement d'une de ces cordes sur l'autre trop considérable ; ce qui en deux mots arrive , parce que la corde supérieure a plus de facilité à continuer son mouvement vers le haut de *B* , que dans toute autre direction , & que la partie *B* repousse par sa curvité même , la corde au-dessus d'elle.

J'avois projeté de m'étendre beaucoup sur cette difficulté dans cet ouvrage , & d'expliquer les limites de cette élévation possible de la corde sur un treuil quelconque , c'est-à-dire , les bornes d'inclinaison , & les relations d'angles qui sont nécessaires pour faire cet effet , ou pour l'empêcher ; mais cela auroit tenu trop de place , & auroit paru trop étranger à mon sujet , c'est pourquoi je me contente d'en avoir dit ce peu qu'on vient de lire.

Je viens maintenant à la description d'une Machine que j'ai inventée pour suppléer aux garcettes , & pour plusieurs autres effets qu'on verra dans la suite ; cela est nécessaire pour l'explication de mes Méthodes d'éviter le choc , ou d'y suppléer.

Cette Machine ( qui est entièrement de fer , & que j'appelle *ferre-cable* à cause de son effet , qui est de serrer ou presser le cable d'une manière invincible , ) est en général composée de deux parties que j'appelle *parois* ; de deux traverses , d'un écrou , & d'une vis. Outre cela chacune de ses parois a une queue ou prolongement par derrière , qui est chargé de deux crochets.

Dans la partie inférieure de chacune de ses parois , est creusé horizontalement , & selon sa longueur , une espèce de canal ou de rainûre large & profonde , selon la proportion de la grosseur du cable qu'on y veut presser ; cette rainûre est semblable dans chacune des deux parois ; cette rainûre sera cavée selon une portion de courbe elliptique , & pourra être piquée de façon que les petites éminences qui résulteront de ce piquage , s'opposent à la retraite du cable. L'une de ces deux parois a vers sa partie supérieure deux attaches ou barres en forme de parallépipède , qui

H h ij

y sont fermement attachées vers ses deux extrémités, & qui en sortent suffisamment pour entrer juste dans deux trous que l'on a laissés tout exprès dans la paroi opposée. Dans cette première paroi il y a encore un trou rond entre les barres ou attaches, par lequel passe une vis qui va s'insérer dans un écrou, qui est dans la paroi opposée, entre les deux ouvertures dont on vient de parler.

Enfin chacune de ces parois a derrière soi une allonge chargée de deux crochets, sçavoir un vers le milieu, & l'autre à son extrémité.

Ceux de l'extrémité sont faits de sorte que quand la Machine est en état, ces deux crochets se joignent parallèlement, & n'en font, pour ainsi dire, qu'un seul. Les crochets du milieu sont tout différens; ils ne doivent pas être dans une direction parallèle à leurs parois; ils ne doivent pas être non plus à angles droits sur ces parois; mais ils doivent être de biais, comme on le voit dans la *Figure* première *G & H*.

Après avoir expliqué chacune des parties en détail, il faut en expliquer l'assemblage; on fait entrer les barres ou attaches de l'une des parois, dans les ouvertures correspondantes de l'autre, & l'on laisse assez d'espace entre ces parois, pour laisser passer entre elles le cable qu'on veut presser. Ensuite le cable étant entre les deux rainûres inférieures des deux parois, on les approche l'une de l'autre au moyen de la vis qui est faite exprès pour cela.

Cette vis ferre les deux parois l'un contre l'autre, & les approche parallèlement au moyen des deux parallépipèdes qui sont aux deux côtés de la vis & de l'écrou, & qui ne permettent pas aux parois de prendre une situation oblique: on continue à ferrer la vis par le moyen de l'attache ou manche marqué *L*, (*a*) & cela jusqu'à ce que le cable soit comprimé entre les deux rainûres des parois autant qu'il le peut être, en sorte que de rond qu'il étoit au-

(*a*) Ce qui sert à ferrer la vis dans son écrou, doit plutôt être appelé la clef, c'est cette clef qui est marquée *L* dans les figures.

paravant, il devienne ovale, c'est-à-dire, que s'il étoit coupé transversalement en cet état, la section seroit une ellipse.

La vis n'est pas employée seule à ferrer le ferre-cable, on y employe aussi deux coins; ces coins s'infèrent dans des trous pratiqués dans les attaches ou barres plates, ci-dessus décrites, à l'extérieur de la paroi, où est l'écrou de la vis; la distance qui doit être du commencement de ces trous à l'intérieur plat de l'autre parois, est de l'épaisseur d'une des parois jointe à la distance qui se trouvera entre les deux parois quand le cable sera suffisamment comprimé; or cette distance d'entre les deux parois variera suivant la grosseur des cables à comprimer; c'est pourquoi on se contente de dire ici que pour un cable de six pouces de circonférence, cette distance sera de 38 parties égales de 400 au pied.

L'usage de cette Machine est tel. Le ferre-cable étant proche de l'endroit où l'on en a affaire, on le pose sur le cable, & l'on comprime celui-ci dans la Machine, autant qu'il le peut être; alors le cable prend la forme ovale que l'on voit dans la *Figure* septième, où la Machine est représentée en dessous, quoiqu'on ne la puisse jamais voir en cet état, quand elle ferre le cable.

La Machine étant ainsi ferrée, & le cable y étant pressé, les deux crochets qui sont à l'extrémité de l'allonge des deux parois, se trouveront côte à côte l'un de l'autre, comme on le voit en la *Figure* première, & ne feront pour ainsi dire, qu'un seul crochet; c'est dans ce double crochet, que l'on attachera le cordage que l'on substituera à la tournevire.

Les crochets qui sont sur le milieu du prolongement de chaque paroi, (& que je nomme *crochets de l'avant*, ou *crochets latéraux*,) auront un tout autre usage. C'est à ces crochets qu'on attachera les chaînes ou les cordes, dont on voudra se servir, quand on aura dessein d'arrêter le cable; il est visible que l'opération en sera très-prompte & facile: ce la fournira deux attaches toutes prêtes, & qui seront invinciblement liées au cable.

H h iij

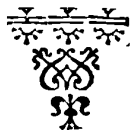
*Fig. 7.*

*Fig. 1.*



Le cable étant ferré dans cette Machine d'une manière invincible , l'on pourra également s'en servir , soit qu'on veuille l'attirer ou l'arrêter ; si c'est pour l'attirer , le cordage qui tient lieu de tournevire , fera accroché dans le double crochet de l'arrière ; ce cordage étant attiré vers le Treuil du Cabestan , amenera le cable en même-tems : quand on voudra arrêter le mouvement du cable , on le fera en amarant sur les crampons de l'avant les cordes ou les chaînes nécessaires pour cela. Au contraire , quand on voudra de nouveau attirer le cable , on décrochera les chaînes ou cordes attachées aux crampons de l'avant , & qui tenoient auparavant le cable en état ; & alors le ferre-cable pourra être attiré par le cordage du Cabestan. On réitérera ces opérations alternativement selon qu'on en aura besoin.

On pourroit donner au ferre-cable , plusieurs formes en apparence différentes de celles qu'on vient de proposer , mais qui reviendroient toujours au même effet : on a fait les calculs nécessaires pour déterminer la grosseur & toutes les mesures des parties de cette Machine , relativement aux diamètres de toutes sortes de cables ; & cela est joint à une explication plus ample de la quatrième Méthode qu'on donnera ci-après , dans laquelle le ferre-cable est essentiel ; mais l'on n'a pas eu le tems de les faire copier ; si Messieurs de l'Académie le souhaitent , on leur fera tenir tout cela , avec les Machines qu'on a fait exécuter,



---

## TROISIEME PARTIE.

### LE MEME.

**S**I une corde est enroulée de quelques tours au milieu d'un Treuil , enforte que les deux extrémités de ce Treuil soient vuides , & que les deux bouts de cette corde soient flottans , l'un au-dessus , & l'autre au-dessous de ce qui est déjà enroulé :

Je dis que si on veut continuer d'enrouler les deux bouts de cette corde , il faudra successivement tourner le Treuil en sens contraire , c'est-à-dire à droite , & ensuite à gauche , ou bien à gauche , & ensuite à droite.

Soit une seule & même corde , *DEFGHI* , *Pl. 1. Fig. 4.* *Pl. 1.* qui soit enroulée de quelques tours *g, f* au milieu du Treuil *abc* , *Fig. 4.* & que ses deux bouts *de* & *hi* , soient flottans , *Fig. 4.* l'un au-dessus de ce qui est déjà enroulé *gh* , & l'autre au dessous ; je dis que si on veut continuer d'enrouler les deux bouts de cette corde , il faut tourner successivement en sens contraires ; sçavoir de *b* en *a* , pour garnir la partie *de* , & de *a* en *b* , pour garnir *hi* sur le Treuil.

*Per se patet attendenti.*

### COROLLAIRE.

D'où il suit que si l'on divise la hauteur d'un Treuil en deux parties égales , & que l'une de ces moitiés soit garnie entièrement d'une corde , dont le bout soit assez long pour garnir l'autre moitié , qui est vuide ; si l'on tourne dans un sens contraire à celui qui a servi à enrouler la premiere moitié , on enroulera la partie restante de cette corde sur la seconde moitié , & l'on déroulera la partie déjà garnie sur la premiere moitié.

Fig. 5.

Soit le Treuil  $ABCD$ , Fig. 5. divisé en deux parties en  $EF$ ; que l'une de ces moitiés, ( par exemple la supérieure, ) soit entièrement garnie de cordes, & que l'autre soit vuide; mais qu'il y ait encore assez de cordage pour garnir l'autre moitié de ce Treuil  $EFC D$ .

Je dis que si on tourne ce Treuil dans un sens contraire à celui qui a servi à enrouler la corde sur la partie supérieure, c'est-à-dire, si l'on fait tourner cet essieu de  $AC$  en  $BD$ , on fera deux choses à la fois : on déroulera la partie déjà garnie, & l'on enroulera la partie vuide d'autant que l'on dégarnira l'autre.

*Per se patet attendenti.*

*Premiere Méthode pour éviter le Choc.*

On prendra un cordage qui soit assez long pour enrouler la moitié du Treuil du Cabestan donné, & pour atteindre outre cela deux fois à l'endroit le plus éloigné où ce cordage doit être joint au cable de l'ancre; il ne faut point que ce cordage soit garni de fusées comme la tournevire, ni que ses deux bouts soient aiguilletés l'un avec l'autre.

On garnira une des moitiés du Cabestan, ( laquelle on voudra, ) avec la partie de ce cordage, qui sera vers son milieu ou environ, enforte que ses deux bouts soient libres, chacun d'une égale longueur. J'appelle cette opération, *enrouler à la main*.

Cela étant ainsi préparé, on attachera l'une des branches du cordage, ( sçavoir celle qui répondra à la partie vuide du Cabestan, ) aux crochets de derrière du ferre-cable : puis ayant fait entrer le cable de l'ancre au milieu des deux parois concaves du ferre-cable, on ferrera celui-ci le plus fort que l'on pourra, puis les Matelots vireront pour amener le fardeau; & cela dans le sens que requerra la branche du cordage qu'il faudra enrouler sur la partie vuide du Cabestan; par les lemmes précédents ce cordage se garnira sur cette moitié vuide, & l'autre partie dudit cordage déjà enroulée

enroulée , se déroulera en même-tems sans effort. Quand cette partie du cordage qui vire , & qui amene le fardeau , aura été entièrement garnie sur la moitié du Cabestan qui lui est destinée , l'autre moitié du Cabestan fera devenue vuide ; & la corde qui étoit auparavant dessus , fera entièrement détortillée ; alors comme on ne pourra plus virer sur la premiere branche , les Matelots cesseront un moment de virer ; durant cette courte cessation on attachera cette branche détortillée du cordage au cable de l'ancre , tout le plus loin que l'on pourra du Cabestan , par le moyen d'un second ferre-cable qu'on aura tout prêt pour cela. Quand ce dernier fera bien ferré , enforte que les deux ferre-cables tiennent tout à la fois les deux bouts du cordage du Cabestan attachés au cable de l'ancre , en deux endroits différens ; alors les hommes du Cabestan feront chacun volte-face , & se porteront ( en se tournant ) sur la barre qui fera derrière eux : dans cet instant , on desserrera le premier ferre-cable , & on décrochera le cordage du Cabestan qui y étoit attaché ; puis sur le champ les Matelots recommenceront à virer , mais dans le sens opposé au premier virage ; par cette action contraire à la premiere , ils garniront la partie vuide du Cabestan , & ils dégarniront celle qui étoit pleine ; & ainsi par cette manoeuvre alternative , ( qu'on répétera autant qu'il fera nécessaire pour tirer tout le cable , ) on ne choquera jamais ; & on ne cessera de virer que durant le tems qui sera nécessaire pour attacher & pour détacher les ferre-cables , & faire faire volte-face aux Matelots , ce qui sera très-bref , sur-tout quand on y fera habitué ; on fera à proportion la même opération quand il faudra jeter l'ancre , ce qu'il est inutile d'expliquer en détail.

### PREMIERE REMARQUE.

Quand j'ai dit qu'on enroulera laquelle des moitiés du Cabestan on voudra , j'ai parlé spéculativement ; mais dans la pratique, cela ne sera pas indifférent, quand les deux endroits

*Prix.* 1741.

Ii

où les deux branches du cordage faifront le cable de l'ancre feront très-différemment éloignés de l'écubier ; car alors il faudra commencer par enrouler à la main la partie inférieure du Cabestan , afin que le premier virage se fasse sur la partie supérieure du Cabestan ; la raison en est que ce virage se fera en montant , & qu'afin qu'il se fasse avec facilité , il faut que le cordage foit le plus long qu'il est possible, fuyant que je l'ai observé ci-devant.

### SECONDE REMARQUE.

Si on objecte que ce virage de la corde se faisant en montant , fera difficulté & violence à la Machine ; je réponds que fuyant les principes posés à la page 240 , il ne fera nulle difficulté , pourvu que l'on fasse les pas de l'hélice selon laquelle la corde inférieure sera enroulée , les plus inclinés que la grosseur du cordage le pourra permettre , & que l'on place ce virage dans le tems de l'opération que la corde est la plus longue. Il faudra encore observer que la suppression des fusées ( ou entortillement de fil de carret qu'on fait à la tournevire ) est absolument nécessaire ici : car j'ai expérimenté que ces fusées sont un grand obstacle au remontement de la corde ; si cependant on trouvoit que cette montée de la corde fût trop difficile , on pourroit prendre la seconde Méthode ci-après , où cela est évité , ou bien on feroit la moitié supérieure de l'axe du Cabestan en forme de cône tronqué , pour y faciliter la montée de la corde , selon la loi des cordes tournantes sur des plans inclinés , & cela ne seroit sujet à aucun inconvénient , parce que cette corde se détortilleroit sans effort , quand la moitié inférieure du Cabestan se garniroit. Au reste on fera tracer quelle naissance d'hélice on voudra aux tours de corde qu'on enroulera à la main sur le Cabestan ; & si on y trouve quelque difficulté , on n'aura qu'à diriger le premier tour par quelques chevilles placées dans des trous faits exprès au tronc du Cabestan , qui seront disposées selon le

pas d'hélice qu'on voudra donner, lesquelles chevilles on ôtera ensuite. Au surplus il est ( je crois ) inutile d'avertir que la branche vuide du cordage fera toujours amenée par un homme, qui ne fatiguera aucunement, n'ayant aucun effort à vaincre, & n'étant chargé que du seul poids de la corde.

L'avantage général de cette Méthode ( & des trois suivantes ) est que comme le poids de l'ancre est un poids pendant, qui doit necessairement être au bout d'une corde qui se plie à la rencontre de l'écubier, ( ce qui forme ce que j'ai appellé ci-devant un *obstacle fixe*, dont j'ai montré les inconvéniens, ) on fait ici par le moyen du fer-cable, un poids traînant & mouvant, dont la masse & la pésanteur jointes aux poids des cordages qui y sont très - fortement attachés, forment un obstacle ambulant, qui fera que les angles de la corde seront à peu-près égaux, du moins quant à la pratique, ce qui suffit : mais cette égalité ne pourra être la plus grande qu'il soit possible de l'exécuter, que dans la quatrième Méthode ci-après.

Pour voir maintenant les avantages particuliers de cette première Méthode, j'en vais mettre toutes les opérations en parallele avec chacune de celles de la Méthode de la tournevire, pour voir d'un coup d'œil, ce qu'elles ont de différent, & qu'on puisse les comparer plus sûrement & plus facilement.



## M E T H O D E

## DE LA TOURNEVIRE ORDINAIRE.

*Parallele des deux Méthodes.**Méthode de la Tourne-  
vire ordinaire.**Méthode que je pro-  
pose.**Comparaison des tems  
& des forces des  
deux Méthodes.*

1. On garnit la Tourne-  
vire sur la cloche, &  
ensuite on en aiguillète  
les deux bouts avec de la  
quarantaine ou quarantai-  
nier.

2. On attache le cable  
de l'ancre avec la tourne-  
vire par le moyen des  
garcettes.

3. On vire jusqu'à ce  
que la Tournevire soit  
parvenue au bas de l'essieu  
du Cabestan.

4. Alors on arrête le  
mouvement de la Machi-  
ne.

5. On prend des bossés  
ou tressés sur le cable pour  
l'arrêter & l'empêcher de  
retourner en arriere.

6. On ôte les garcettes  
qui tenoient le cable & la  
tournevire unis.

7. On devire le Cabes-  
tan, pour mollir ou lâ-  
cher le cordage de la tour-  
nevire.

8. On relève la tour-  
nevire au haut de la clo-  
che.

1. On enroule la corde  
par la partie du milieu sur  
l'une des deux moitiés du  
Cabestan, & l'on garnit  
une de ces moitiés entié-  
rement.

2. On attache le cable  
de l'ancre avec l'une des  
deux branches du corda-  
ge par le moyen d'un des  
ferre-cables.

3. On vire jusqu'à ce  
qu'on soit parvenu à dé-  
rouler la corde garnie sur  
une des moitiés du Ca-  
bestan, & qu'on ait en-  
roulé l'autre moitié.

4. Alors on arrête le  
mouvement de la Machi-  
ne.

5. On ne fait rien de  
cela.

6. On ne fait rien de  
cela.

7. On ne fait rien de  
cela.

8. On ne fait rien de  
cela.

1. Ma Méthode perd  
quelque peu de tems en  
cet article.

2. Tems à peu près  
égal ; mais ma Méthode  
demande moins d'hom-  
mes & de forces, & par-  
tant y gagne.

3. Ma Méthode paroît  
perdre ici ; mais elle ne  
perdra rien si l'on allonge  
le treuil, dont je donnerai  
les moyens ci-après ; il  
y a outre cela des raisons  
qu'on verra en leur lieu ,  
&c.

4. De même.

5. Ma Méthode gagne  
cela.

6. Ma Méthode gagne  
cela.

7. Ma Méthode gagne  
ce point très-important.

8. Ma Méthode gagne  
ce point, qui est le plus  
important de tous.

*Méthode de la Tourneviere.*

9. On remet les garrettes pour unir la tourneviere & le cable.

10. On ne fait rien de cela dans la Méthode de la tourneviere.

11. On ôte les bosses qu'on avoit prises sur le cable.

12. On roidit de nouveau la tourneviere.

*Méthode que je propose.*

9. On met le second ferre-cable pour unir la seconde branche du cordage avec le cable.

10. Les Matelots font volte-face, & en se tournant se portent chacun sur la barre du Cabestan, qui étoit auparavant vers son dos.

11. On défait le premier ferre-cable qui tenoit le cable, & on déboucle le nœud du cordage du Cabestan qui le joignoit avec ce même ferre-cable.

12. On vire dans un sens contraire à celui qu'on avoit suivi auparavant.

*Comparaison, &c.*

9. Tems a peu près égal; mais ma Méthode gagne des forces.

10. Ma Méthode perd ce tems, qui est très-court.

11. Ma Méthode gagne du tems.

12. De même à peu près pour le tems & les forces.

Il faut considérer trois choses dans la comparaison de ces Méthodes.

1<sup>o</sup>. Ce qu'elles ont de semblable & de commun, ce qui se réduit presque à rien, & en quoi l'une ne gagne ni ne perd rien sur l'autre; ce sont les articles 4. & 12.

2<sup>o</sup>. Ce qu'elles ont de différent totalement.

3<sup>o</sup>. Ce qu'elles ont d'équivalent, c'est-à-dire, ce que chacune fait à sa manière, mais d'une façon qui revient au même but.

Ce qu'elles ont de totalement différent se réduit aux articles 3, 5, 6, 7, 8, & 10.

La Méthode que je propose, gagne entièrement les articles 5, 6, 7, & 8. & sur-tout ces deux-ci, qui sont les plus importans de tous, & le but du problème à résoudre.

Elle perd totalement l'article 10. qui n'est pas le tems de 4 secondes.

Elle paroît perdre quelque chose sur le troisiéme, parce que je ne fais parcourir à chaque fois que la moitié de l'axe du Cabestan; au lieu que la Méthode vulgaire le fait parcourir tout entier. Mais :



1<sup>o</sup>. Cela est compensé très-avantageusement par les quatre principaux articles que je gagne , & pourvû que je ne perde pas tant sur cet article 3, que je gagne sur les autres, il y aura toujours de l'avantage de mon côté : or c'est ce qui est visible ; car quand le cordage a descendu ou monté le long de la moitié de l'essieu , ma Méthode ne requiert précisément que le tems qu'il faut , premièrement pour lier la seconde branche du cordage avec le cable , par le moyen du second ferre-cable ; secondement , pour faire tourner les Matelots ; & troisièmement , pour ôter le premier ferre-cable : or tout ce qu'on peut me reprocher , est que je fais faire deux fois ces trois opérations , pendant qu'on n'auroit choqué qu'une fois dans la Méthode vulgaire ; mais il est visible que ces deux fois n'emportent pas à beaucoup près tant de tems que les quatre opérations d'un seul & unique choc ; & je puis même dire que le seul tems qu'il faut pour prendre des bosses ou tresses pour arrêter le cable , est plus long que mes trois opérations répétées deux fois , sans parler du dévirement du Cabestan , & du choc , que je sauve & épargne en entier.

2<sup>o</sup>. J'ai une réponse finale à cela , en proposant des moyens d'allonger le Treuil , qu'on verra ci-après.

Quant à ce que les deux Méthodes font de différentes manières , mais au fond d'une façon à peu-près équivalente ; il est visible que cela se réduit aux articles 1 , 2 , 9 , & 11. or ma Méthode gagne en tems à l'article 11. & en forces aux articles 2. & 9. & elle ne perd qu'en tems à l'article 1. ce qui peut être compensé avec le tems que je gagne à l'article 11. & partant , je gagne toujours en forces , à l'égard de ces quatre articles ; mais on pourroit regarder le premier article comme n'étant pas directement de la manœuvre propre du Cabestan , mais seulement comme une préparation , qu'on peut faire à l'avance , & devant que d'en avoir affaire , en tenant les cordages enroulés & assujettis dans la situation que je requiers , par quelque moyen très-simple & très-facile à trouver : en ce cas-là , il n'y aura absolument

aucune perte de tems pour moi, & je gagnerai entièrement celui de l'article 11.

*Seconde Méthode que je propose.*

Cette seconde Méthode a un entier rapport avec la première, & n'a été imaginée par moi que pour lever l'inconvénient qui pourroit arriver dans certains cas, de la difficulté qu'on éprouveroit à faire tourner la corde, en montant au-dessus de son niveau, dans la partie supérieure du Treuil du Cabestan : du surplus cette Méthode a précisément les mêmes avantages que la première.

Pour cela j'ai imaginé de n'employer pas une seule corde continue, dans cette opération ; mais de la couper en deux, dont les deux extrémités seront attachées très-fixement, l'une au haut de l'essieu du Cabestan, l'autre au milieu, mais qui seront tournées au contraire l'une de l'autre, en sorte que l'une s'enroulera tandis que l'autre se déroulera. Les choses étant ainsi disposées, & les cordes ayant les longueurs suffisantes pour aller joindre le cable tout le plus loin qu'il sera possible du Cabestan ; l'on enroulera l'une de ces cordes à la main, sur une des moitiés de l'essieu qui lui correspond, l'on laissera l'autre moitié vuide ; puis ayant attaché le cable de l'ancre avec la corde libre qui n'est point enroulée du tout, ( & cela par le moyen du ferre-cable, comme dans la première Méthode, ) on vira dans le sens contraire à celui qui a enroulé la première corde ; donc celle-ci se déroulera à proportion que la seconde se garnira sur le Treuil ; quand celle-ci sera toute garnie, on arrêtera le virage, on attachera le second ferre-cable avec la première corde sur le cable de l'ancre ; puis les Matelots feront volte-face, on défera le premier ferre-cable, & on vira sur la première corde, que l'on garnira de nouveau, tandis que l'autre se dégarnira ; & ainsi toujours.

*Fig. 6.*

Cette opération est si semblable à la première, qu'elle ne mérite pas de discours particulier.

Elle a pour avantage propre , celui de n'être pas obligé de faire monter la corde contre son poids , & ainsi elle est plus parfaite que la première Méthode , ayant tous ses avantages , & en ayant outre cela un spécial.

*NB.* Il est très-important d'observer ici que cette présente Méthode (non plus que la suivante , ) ne requiert pas nécessairement l'usage du fer-cable ; si quelqu'un le trouve difficile à fabriquer , ou à employer , on peut le laisser-là , & se servir pour cette Méthode & pour la suivante , des gargettes , en faisant des fusées sur les cordes qu'on y emploiera , ce qui ne changera rien dans ces Méthodes , dont l'essentiel & le nécessaire ne seront pas changés pour cela.

### *Troisième Méthode.*

La troisième Méthode est encore plus parfaite que les deux premières ; car elle a l'avantage particulier de n'être pas obligé en s'en servant de changer le côté du virage , c'est-à-dire , contraint de virer alternativement à droite & à gauche : à cet avantage en est joint encore un plus grand ; c'est de ne pas cesser de virer un seul moment , quelque longueur qu'ait le cable ; ce qui mérite grande considération : c'est pour éviter l'inconvénient de la cessation , que j'ai trouvé cette troisième Méthode.

*Pl. I.*  
*Fig. 7.* Pour cela , il faut en fabriquant le Treuil du Cabestan ; y ménager précisément au milieu , un bourlet ou élévation assez épaisse & assez forte pour résister au frottement de la corde , qui dans quelques occasions doit frotter dessus , & pour empêcher les deux tournevires dont je vais parler , de se confondre ensemble.

Ensuite il faut préparer deux tournevires toutes semblables l'une à l'autre , & faites comme dans l'opération vulgaire : on y fera des fusées , avec des entortillemens de fil de carret , si on veut employer les gargettes , pour joindre les cordages au cable de l'ancre ; & on n'y en fera pas , si on aime mieux se servir du fer-cable pour le même effet ; chacune de

de ces tournevires sera affectée & destinée pour chacune des deux moitiés du Treuil du Cabestan , & fera pour cette fin enroulée ou garnie d'autant de tours, qu'on a coutume de faire pour l'opération vulgaire , dans la moitié qui lui est propre : puis sera aiguillétée ; on montera ensuite le plus haut qu'on pourra, celle par laquelle on doit commencer, (il n'importe par laquelle on commence , sinon qu'il faut toujours prendre la tournevire d'en-haut pour la plus grande distance.) On attachera à la branche inférieure de la tournevire qu'on aura choisie , le cable du fardeau , & cela par le moyen du ferrecable , ( ou des garcettes , ) & l'on virera dessus ; quand on verra que cette tournevire sera assez proche de sa fin , ( c'est-à-dire, du bas de sa moitié du Treuil , ) on remontera l'autre tournevire au haut de la moitié où elle est destinée ; & cela sans cesser de virer ; on attachera la branche inférieure de cette seconde tournevire au cable , en quelque endroit le plus loin qu'on pourra du Cabestan ; tout cela se fera sans cesser de virer sur la premiere tournevire ; car quoique les deux tournevires soient toutes deux attachées au cable , comme elles sont ( par l'hypothèse ) toutes deux semblables , & enroulées sur deux portions du même Treuil , & qu'elles tournent toutes deux dans le même sens ; elles ont un mouvement tout égal , & tirent tout également & uniformément le même fardeau , ( ce qu'il faut bien observer. ) Quand la premiere tournevire sera au bas de sa fusée , on la détachera du cable , & l'on virera sur la seconde toute seule ; quand ensuite celle-ci sera vers la fin du Treuil qui lui est assigné , sans attendre qu'elle soit à sa fin entièrement , on remettra la premiere tournevire en état ; on l'attachera au cable du fardeau , & ainsi toujours sans jamais cesser un seul instant de virer. Si l'on se sert des garcettes pour cette opération , celui qui tiendra celle qui sera la plus proche du Cabestan , ira l'attacher ( par exemple ) sur la tournevire qu'on voudra substituer à la premiere qui sera prête à finir ; & ainsi de suite , en sorte qu'insensiblement la seconde tournevire sera entièrement attachée au cable , & l'autre détachée ,

*Prix.* 1741.

K k

sans qu'on se soit à peine aperçû de ce changement.

Il faut convenir que cette troisième Méthode est bien plus parfaite que les deux autres, 1°. en ce qu'on ne cesse pas de virer; 2°. en ce qu'on n'est pas obligé de virer sur deux sens différens: & outre cela elle a les mêmes avantages que les deux premières, sans en avoir les défauts.

Toute la difficulté qu'il peut y avoir ici, est qu'il faudra gouverner quatre cordes, c'est-à-dire, les deux branches portantes le fardeau des deux tournevires, & tenir les deux autres branches qui seront vuides; mais cet inconvénient est léger; & si l'on étoit obligé de cesser le virage un instant pour arranger la corde de chaque Treuil au haut de son essieu, ce seroit là un très-petit inconvénient.

Si l'on me demande à présent pourquoi je n'ai pas proposé tout d'abord cette Méthode, que je juge moi-même plus parfaite; je dirai que j'ai voulu conduire l'esprit de mes Lecteurs par les mêmes moyens par où le mien a passé, n'ayant trouvé ces Méthodes que l'une après l'autre, & sur les difficultés que je me faisois à mesure que je les réduisois en pratique successivement: ainsi c'est ici le développement de mes découvertes en ce genre. Outre cela j'ai été bien aise de faire voir que la moins parfaite de mes Méthodes pouvoit avoir de grands avantages sur la Méthode vulgaire. Enfin je pense que ces premières Méthodes ne sont pas tout-à-fait inutiles, qu'il y aura des lieux & des circonstances où l'on en pourra tirer bon parti; & je n'ai pas voulu frustrer le public de l'utilité qu'on en pourra tirer, quelle qu'elle puisse être.

Il faut maintenant répondre à l'objection que l'on ne manquera pas de me faire sur ce que dans ces trois Méthodes, je réduis toujours le Treuil du Cabestan à la moitié pour chacune des opérations partielles, qui me sont essentielles. On dira sans doute que le Treuil du Cabestan n'est pas déjà trop long, & que je le diminue encore de moitié; on remarquera infailliblement que la hauteur du Treuil du Cabestan est déterminée par l'élevation de ses

barres , laquelle élévation est elle-même fixée par celle de l'estomach d'un homme de moyenne taille , qui est la hauteur où il a le plus de force pour pousser avec ses bras , & pour incliner en même-tems la partie supérieure de son corps , afin d'appliquer toute sa puissance sur la barre qu'il gouverne.

Cette objection est forte , je ne le dissimule pas , puisque j'ai été le premier à me la faire , & même à la proposer comme un grand défaut de la Méthode du Cabestan ordinaire ; mais il faut observer d'abord qu'elle ne tombe réellement pas sur ma troisième Méthode , qui est essentiellement la meilleure ; car comme on ne cesse pas d'y virer un seul instant , il importe fort peu si l'on vire sur un Treuil long ou court. Cela est fort indifférent aux Navigateurs , pourvu que d'ailleurs l'opération se fasse sans retard , c'est-à-dire , le plus promptement qu'il est possible , ce qui est tout ce qu'on peut désirer. Tout ce qui peut résulter de cela , est que l'on sera obligé de remonter la corde , & de l'attacher un peu plus souvent ; mais j'ai déjà remarqué que cela n'empêchera pas le virage , pourvu qu'on le fasse avant que l'autre tournevire ait fini son cours ; d'ailleurs quand cela demanderoit un arrêt , cet arrêt se feroit sans être obligé de prendre des bosses , sans dévirer , sans mollir le cordage , &c. & ainsi l'inconvénient seroit le plus petit qu'on se puisse imaginer.

Ainsi l'objection de la diminution du Treuil ne tombe pas sur ma troisième Méthode , mais sur les deux premières seulement. Mais quand même elle resteroit sans réponse , les Méthodes que j'ai proposées ne laisseroient pas d'être ( telles qu'elles sont ) supérieures à la Méthode vulgaire ; & quand on viendra à calculer , on trouvera qu'on peut avec ces demi-Treuils filer 7 , 8 , 9 . & quelquefois 10 brasses de cable tout de suite & sans interruption par leur moyen ; car si l'on suppose le diamètre du Treuil de 19 pouces , son tour fera de 5 pieds ou environ ; ainsi chacun de ces tours enroulera une brasse de corde , & fera monter d'autant le

K k ij

cable ; si maintenant le Treuil a 40 pouces de haut , ( ce n'est pas trop , ) ce Treuil divisé en deux aura 20 pouces , & si le cordage a 2 pouces de diamètre , & plus de 6 de tour , il s'enroulera 10 brasses en une demi-opération , selon mes Méthodes ; ce qui ne laisse pas d'être considérable : s'il a 3 pouces de diamètre , il s'enroulera près de 7 brasses ; & ainsi des autres à proportion : ( a ) mais si nonobstant ces raisons on veut un Treuil encore plus long , on le peut faire en deux manières.

L'une est en haussant les barres , & en trouvant moyen néanmoins que le virage ne s'en fasse pas avec une moindre facilité.

L'autre est en supprimant le virage de l'entrepont , & en donnant au virage qui se fait sur le second pont , ( ou dessous le gaillard , ) une force presque double de celle qu'il a d'ordinaire.

*Premier Moyen.*

Cela consiste à hausser les barres , & à les emmancher au haut du Treuil du Cabestan , vers le plancher du pont supérieur ; en sorte néanmoins qu'on laisse entre les barres & ce plancher , assez d'espace pour pouvoir y passer les instrumens dont je vais parler. Et afin que cette hauteur ( qui ne sera que de six pieds au plus ) n'empêche en rien la facilité du virage ; il n'y a qu'à faire travailler chaque Matelot dans une bricole ou baudrier passé sur sa poitrine , & dont les bouts seront attachés à la barre , & y seront arrêtés , par le moyen d'une cheville facile à ôter & à replacer ; l'on peut faire ces bricoles de différentes figures , toutes revenantes au même effet , comme d'y placer des allonges pour y placer les mains , &c. L'on peut même les faire assez longues , pour que les Matelots tirent la barre presque horison-

( a ) Remarquez que la plupart des Cabestans ont deux pieds ( ou même  $2\frac{1}{2}$  ) de diamètre ; ainsi ils peuvent enlever à chaque tour six ( ou même près de huit ) pieds de cordage : & quand on donneroit quatre pouces de diamètre à la tournevire , on pourroit toujours enlever six ( ou même huit ) brasses de corde par chaque demi-treuil.

talement , afin qu'ils ne perdent gueres de forces par la traction oblique. (a)}

Il est vrai qu'il y a un inconvénient à cela, c'est que quand la corde qui tire le fardeau fera dans le haut du Treuil , les hommes en tournant ne pourront pas , quand ils rencontreront cette corde , sauter par-dessus comme ils faisoient ci-devant , quand la corde n'étoit jamais plus haute de 3 à 4 pieds.

Cette difficulté n'arrivera que quand la corde fera très-haute, c'est-à-dire, dans le virage de la partie d'enhaut du Treuil du Cabestan ; car quand elle sera descendue à 3 ou 4 pieds, les choses seront au même état qu'elles l'étoient autrefois à cet égard ; ainsi dans mes premières Méthodes, il n'y aura que dans le virage d'enhaut où l'on sentira l'embarras. D'ailleurs comme la corde du tirage est toujours dans la même direction & dans un même plan, ( comme je l'ai expressément observé ci-devant , ) il faudra mettre pendant le tems du virage d'enhaut seulement, quelques planches, larges de 4 à 5 pieds, élevées d'un pied & demi, (ou de 15 pouces,) au-dessus du sol où l'on tourne, lesquelles seront placées selon leur longueur, dans la direction de la corde qui tire le fardeau ; les Matelots en approchant de cet endroit monteront sur cette espèce d'échaffaut, & alors la corde du fardeau ne sera plus élevée à leur égard que de 3 à 4 pieds tout au plus, & ils la sauteront facilement comme ils le font à présent, quand elle est à sa plus grande élévation ; l'on ôtera ensuite les planches dans le virage de la moitié inférieure du Treuil du Cabestan.

### *Second Moyen.*

Mais si l'on trouve ce moyen accompagné de trop de difficultés, on peut supprimer totalement le virage de l'entrepont, & donner au Treuil du Cabestan toute la hau-

(a) L'on peut aussi imiter la manœuvre fort simple par laquelle on fait aller ces sortes de moulins, au bout desquels on place des chevaux de bois, &c.



teur en entier qui est entre les deux ponts , & il ne restera alors pour cette opération dans l'entrepont, que les hommes qui seront nécessaires pour garnir les tournevires sur le Treuil , & pour en tenir les extrémités non-chargées : or cette suppression sera facile , si l'on observe que l'on ne s'est servi jusqu'à présent , dans les manœuvres de tous les Cabestans , que de barres entières , ou demi-barres , ( qui sont des barres à l'Angloise , ) il faut y joindre des quarts de barres , qui doubleront presque toute la force , étant à l'extrémité de la circonférence du virage. Je m'explique.

Quand j'ai voulu faire des épreuves de tout ce que je propose , j'ai fait faire un des plus grands Cabestans qu'on pût exécuter : les barres avoient chacune 20 pieds , elles étoient d'un bois de brin choisi exprès , d'une grosseur de 5 à 6 pouces en tout sens ; malgré cette force , on s'aperçut bien-tôt que leur grande longueur les faisoit plier dans les grands efforts ; j'imaginai aussi-tôt de les soutenir vers le milieu de leur rayon par des morceaux de bois qui seroient emmanchés d'une barre à l'autre , & je le fis ainsi exécuter : cet emmanchement étoit fait très-simplement au moyen d'une petite entaille faite à la barre dans laquelle entroit le bout du morceau de bois , seulement autant qu'il le falloit pour y poser une ou deux chevilles amovibles , & le reste du morceau de bois portoit à côté de la barre : toutes les barres étant donc , ( pour ainsi dire , ) arc-boutées & contreventées de la sorte les unes contre les autres , elles devenoient capables de soutenir , sans plier , les plus grands efforts.

Le succès de cette idée m'en a fait venir une autre , c'est de faire ces morceaux ( que j'appelle *entre-barres* , ) d'un bon bois bien solide , & d'emmancher solidement à chacune de ces pièces un morceau de bois à angles droits , qui deviendra une nouvelle barre , & qui doublera le nombre des barres justement à l'extérieur du virage , qui est le lieu où les hommes ont le plus de force ; ( voyez la *Figure* ci-jointe ; ) c'est ce que j'appelle *quarts de barres*.

Il ne faut pas croire au reste , qu'il y ait une grande difficulté à placer ces entre-barres , & les quarts de barres qui en dépendent ; tout cela peut-être emmanché & assemblé à chevilles apparentes , qu'on ôte & qu'on remet comme on veut , & la Machine n'en fera pas moins solide pour cela ; du surplus si on craignoit que ces quarts de barres ne fussent trop faciles à forcer , ( comme n'étant appuyées que par l'emmanchure d'une de leurs extrémités , qui se fera à angles droits ; ) il n'y aura qu'à attacher le bout de chaque quart de barre avec les extrémités des barres d'à côté , au moyen de deux bouts de cordes : ces cordes feront la figure des côtés d'un poligone régulier , & elles se soutiendront de sorte qu'il ne se pourra pas qu'un seul des quarts de barre plie , à moins que toutes les barres & tous les quarts de barres ne plient , & ne se contournent toutes à la fois , ce qui est impossible. (a)

Avant que de finir cet article , il me reste deux *Observations* très-importantes à faire : L'une , que quand même on ne voudroit pas supprimer le virage de l'entrepont , quand même on ne voudroit pas allonger le Treuil , quand enfin on ne voudroit recevoir aucune de mes premières Méthodes ; cependant cette dernière invention pour augmenter la force dans ceux qui virent le Cabestan , mérite considération ; parce qu'elle donne un moyen certain de mettre à la circonférence un nombre d'hommes double de ce qu'on y a mis ci-devant , & cela avec beaucoup de facilité.

*NB.* L'autre remarque que je ne puis m'empêcher de faire , c'est que ma troisième Méthode non-seulement ne requiert pas l'allongement du Treuil , mais bien loin de cela , il sera plus facile d'arranger & de servir les deux tournevires dans un Treuil court que dans un long ; car un homme seul de moyenne ou de petite taille , suffira pour

(a) Observez que l'on peut même se contenter de lier le bout du quart de barre , avec la barre qui est par derrière , eu égard au virage ; car alors en travaillant sur le quart de barre , il ne pourra pas se démancher étant attaché avec la barre qui est derrière lui , à moins qu'il n'entraîne celle-ci , ce qui est impossible.

cela : ainsi toutes les difficultés qu'on pourra faire contre l'allongement des Treuils, & contre les moyens que je propose pour les rendre plus longs, ne tombent en aucune façon sur ma troisième Méthode ; qui outre cela peut profiter, sans aucune difficulté, de ce que je viens de proposer pour doubler le nombre des hommes à l'extérieur des barres ; ainsi par cette seule dernière invention, jointe avec la troisième Méthode, je pense avoir suffisamment résolu le problème, tant par rapport à la suppression du choc, que pour l'augmentation de la force sans perte de tems.

#### *Quatrième Méthode.*

J'ai encore deux Méthodes à proposer ; elles ne sont pas toutefois si avantageuses que celles que j'ai expliquées en dernier lieu ; mais elles peuvent trouver leur place en de certaines circonstances particulières ; car il faut se pouvoir servir du Cabestan en diverses manières & en différens cas. D'ailleurs la quatrième de ces Méthodes a une si grande simplicité, & la cinquième peut être si utile dans des usages du Cabestan autres que celui des ancres, que je ne balance pas à les présenter aussi-bien que les autres ; ce sera aux sçavans Examineurs de cet ouvrage, & aux Marins, à appliquer chacune de ces Méthodes au service où elle peut être la plus propre.

Cette quatrième Méthode consiste à mesurer de quelle forte d'hélice régulière redoublée est capable le Treuil du Cabestan, relativement à la grosseur de la corde qu'on y veut employer ; on a mis ci-devant la manière très-facile d'avoir cette mesure. Cela étant connu, il faut prendre une corde de la grosseur qu'il faut, & lui donner précisément la longueur de l'hélice en question ; puis ayant attaché très-fixement le bout de cette corde à l'extrémité supérieure du Treuil, porter l'autre bout vers le cable, & l'y attacher par le moyen du fer-cable, en la tenant en même-tems le plus tendue qu'il sera possible ; ensuite il faut tourner le Cabestan,



Fig. 1<sup>re</sup>

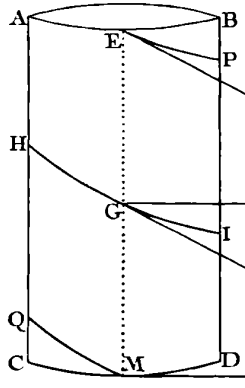
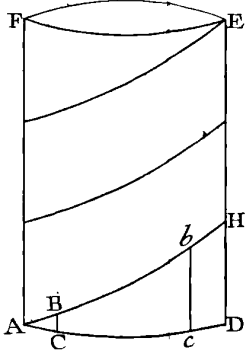


Fig. 2.

Fig. 3.

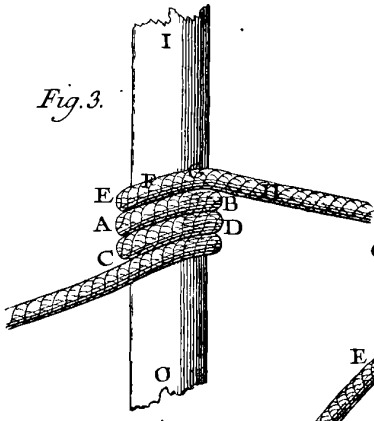


Fig. 4.

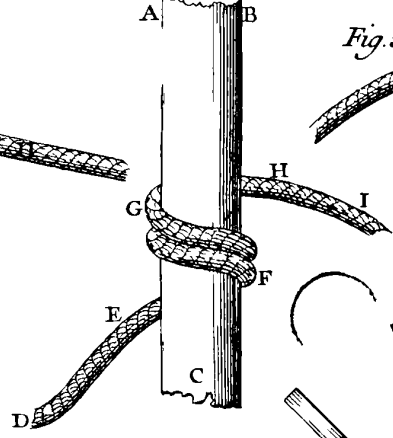


Fig. 5.

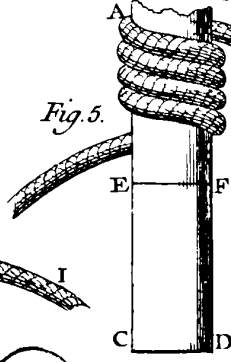


Fig. 6.

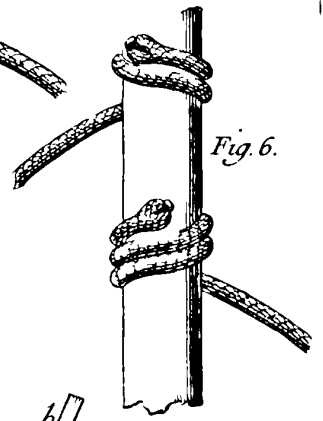


Fig. 7.

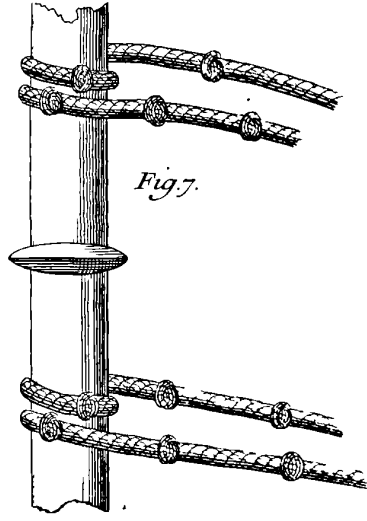
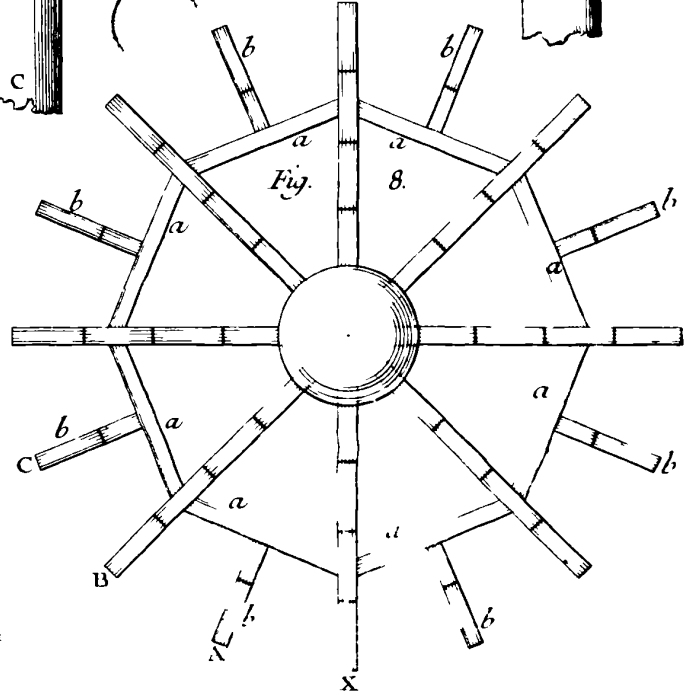


Fig. 8.





bestan , & le ferre-cable viendra avec le cable & son fardeau , & se joindra au pied du Cabestan , précisément dans le moment que la corde aura achevé d'enrouler tout le Treuil ; & ( ce qu'il faut bien observer , ) le cordage viendra avec une uniformité admirable , & se garnira sur le Treuil avec la plus grande égalité possible.

Si cette longueur de cordage ne suffit pas pour épuiser la longueur du cable , ( comme il y aura bien des rencontres où cela arrivera sans doute , ) alors on arrêtera le cable en se servant pour cela d'un second ferre-cable , placé très-proche de l'écubier , c'est-à-dire , qu'on l'arrêtera par le moyen des deux crochets latéraux , qui sont sur le ferre-cable , & qui ont été décrits & figurés ci-devant ; on mettra des cordes de chaque côté dans ces crochets , & on les attachera à la plus prochaine manœuvre fixe , ou à quelque pièce du vaisseau , &c. par-là le cable sera arrêté en un tems très-court : alors on dégraffera la corde qui étoit attachée au bout du premier ferre-cable , & le ferre-cable même ; & tirant cette corde à soi , & marchant vers le lieu où est le fardeau , on fera dévirer en même - tems très-vîte le Cabestan , en lui donnant successivement quelques secouffes dans le sens nécessaire pour cela : puis quand la corde aura repris toute sa longueur , on l'attachera au cable , comme la première fois avec le premier ferre-cable ; & l'on recommencera à virer & à tirer le fardeau , ( après avoir ôté les bosses qui tenoient le second ferre-cable , afin d'empêcher le retour du poids. )

Il est visible que cette opération est des plus simples ; car elle ne demande autre chose que de virer tant qu'on peut enrouler de corde sur le Cabestan , ce qui peut être très-considérable ; car dans les Cabestans d'une longueur ordinaire , cela ira à 20 brasses , plus ou moins , si la corde n'a que deux pouces de diamètre ; mais si elle en a quatre , cela ira à 10 brasses au moins ; & dans les Treuils allongés , comme je les propose , cela peut aller à 30 brasses pour le moins , & peut-être à 40 ; ce qui mérite une grande atten-

*Prix.* 1741.

L I

tion ; car ainsi en trois opérations très-simples , on attirera un cable de 120 brasses , sans cesser de virer que deux fois seulement dans l'intervalle des trois opérations. (a)

La cessation du virage qui arrivera à chaque fois que le cordage sera tout enroulé sur le Treuil , fera peu considérable , si la Machine est bien servie ; car elle ne demandera que le tems de dégraffer la corde de la queue du premier ferre-cable , d'en porter l'extrémité vers l'écubier en marchant tout aussi vite qu'on le pourra : à mesure qu'on portera cette corde , il sera facile de faire dévirer le Cabestan aussi promptement qu'on marchera ; & enfin il faudra le tems d'agraffer cette corde à un ferre-cable , & de ferrer le cable dans celui-ci , voilà tout ; cela ne demande pas un tems bien long , & cela suppléera non-seulement à toutes les cessations des manœuvres les moins parfaites , mais encore aux peines , au travail & aux forces des hommes , qui sont nécessaires pour le petit détail des Méthodes les plus excellentes , & dans lesquelles il faut toujours grand nombre d'ouvriers.

Il faut joindre à tous ces avantages celui de la facilité très-grande , qu'à la corde à se garnir selon cette Méthode , avec égalité , uniformité , sans lâcher dans un lieu , ni forcer dans un autre ; ce qui est évident par la Théorie expliquée ci-devant.

#### *Cinquième Méthode.*

Il faut enfin venir à une cinquième & dernière Méthode , que je ne propose pas pour la levée des ancrs , quoiqu'on puisse l'y appliquer, absolument parlant, dans quelques cas extraordinaires ; mais bien pour les autres usages auxquels on peut appliquer le Cabestan , comme pour lever les ver-

(a) Je suppose ici pour un moment qu'on supprime le virage de l'entrepont , ce qui donnera 6 pieds de hauteur au treuil ; qui ayant d'ailleurs 2 pieds  $\frac{1}{2}$  de diamètre ( ou environ ) ( à quoi il faut joindre deux fois le demi-diamètre de la corde , ) il s'ensuit qu'on peut enrouler sur les gros Cabestans près d'une brasse & demie de cordage à chaque tour ; ce qui étant multiplié par la hauteur du treuil , donnera une longueur considérable.



gues & les mâts de hune, &c à quoi on employe plus ordinairement le petit Cabestan. Dans la plupart de ces opérations, ( comme je l'ai déjà remarqué plus haut, ) il s'agit de lever des fardeaux en haut ; on attache ces fardeaux à des poulies doubles ou triples, & le bout de la corde qui doit tirer dans ces poulies, ( lequel on appelle *garan*, ) est appliqué dans les cas de nécessité à un des Cabestans. Il s'agit de tirer ce garant de haut en bas, ce qui rend cette manœuvre très-différente de ce qui a été dit jusqu'ici de la manœuvre des ancrés.

La difficulté qu'il y a à éviter ici, est comme je l'ai déjà dit pag. 246. le *choc*, c'est-à-dire, qu'il faut inévitablement que la corde parvienne enfin à l'une des extrémités du Cabestan, & qu'elle ne peut être ramenée à l'extrémité opposée sans violence, & sans perte de tems. Comme il est évident qu'on ne peut appliquer ici aucune des Méthodes exposées ci-dessus, je me suis imaginé qu'on pouvoit y employer une manœuvre qu'on employe sur les rivières qui abordent à Paris, pour dégager les coches & autres grands bateaux, quand ils ont le malheur de s'ensabler. Pour lors on prend un petit Cabestan très-bas & très-simple, ( & dont le Treuil n'est même, la plupart du tems, emmanché fixement que dans sa partie inférieure ; ) le collet est retenu dans une petite courbure qui est pratiquée sur le bois où il porte : on place ce petit Cabestan sur une berge ou île, en un mot dans quelque endroit fixe, qui soit à peu-près de niveau à l'égard du corps du bateau qui est engravé, & l'on attache la corde du Cabestan au bateau, après lui avoir fait faire trois ou quatre tours sur le Treuil, & avoir réservé un bout de cette corde assez long pour être tenu par derrière par deux ou trois, & quelquefois quatre hommes, qui sont assis à terre, derrière le Cabestan, & s'affermissent les pieds & les jambes contre quelque corps solide, pour tirer la queue de cette corde avec plus de force ; les choses en cet état, on vire sur le Cabestan, dans lequel la corde qui mene le fardeau est au plus bas du Treuil, mais néanmoins au-dessus

des tours déjà enroulés sur le Treuil ; alors à mesure qu'on vire, la corde du fardeau s'enroule sur le Treuil, & y monte, & l'autre partie de la corde se déroulant à proportion, de l'autre côté que tiennent les hommes, ceux-ci dégarnissent le Treuil par en bas, tandis qu'il se garnit par en haut par la corde du fardeau : en continuant ainsi, la corde parvient au haut, & il faut alors *choquer* ; c'est ce qu'on fait en un instant : car on cesse de virer, & la corde déjà enroulée se débandant un peu dès qu'elle n'est plus pressée ; ( car elle est élastique ; ) elle cesse de s'appliquer immédiatement au Treuil, & elle tombe au bas par sa seule pesanteur, & pour lors on recommence à virer.

Il faut convenir que cette manœuvre est ingénieuse & simple, & il seroit même à souhaiter qu'on pût l'appliquer à la manœuvre des ancras en bien des occasions ; mais il y a une grande différence, en ce que dans l'exemple que j'ai proposé, le poids est traînant, & à peu-près de niveau, au lieu qu'à l'égard des ancras il est pendant, & j'ai déjà touché en passant page 225. l'énorme différence qu'il y a entre l'enlèvement de ces deux sortes de poids.

D'ailleurs pour l'appliquer aux ancras, il faudroit faire passer le cordage du Cabestan sur une poulie fixe, qui seroit à la hauteur à peu-près des barres du Cabestan, afin de faire monter ce cordage sur le Treuil, depuis son extrémité inférieure jusqu'en haut ; ( car nous avons montré plus haut que les cordes ne montent pas dans un Treuil, à moins qu'elles ne soient sur des tours de corde déjà garnis en hélice, fort inclinée sur le Treuil, (a) ou bien à moins que la corde ne parte d'un lieu qui soit de niveau avec la partie supérieure du Treuil, sur lequel on la veut faire monter.

Or il seroit difficile de placer cette poulie d'une manière absolument fixe & invariable ; & d'ailleurs la corde au lieu d'aller droit, ( depuis le lieu qui la joint au cable, ) jusqu'au Cabestan, seroit obligée de plier pour monter sur cette pou-

(a) Je n'ai pas expliqué ni prouvé en détail cette proposition, parce que j'ai cru qu'elle étoit si évidente, que cela eût été superflu.

lie : je ne parle pas de la difficulté qu'il y auroit à faire passer les fusées de la tournevire sur la poulie ; car on pourroit éviter cela , en rendant la corde toute unie , & en se servant du ferre-cable pour unir le cordage au cable.

Il faut donc renoncer à cette idée par rapport à l'ancre ; mais il faut convenir qu'elle peut être très-utile pour les autres fardeaux qu'on veut lever ou traîner par le moyen du petit Cabestan ; comme dans ces operations on se sert déjà de poulies doubles & triples , il ne sera pas extraordinaire ni difficile d'y joindre une poulie fixe à la hauteur des barres du petit Cabestan , par-dessous laquelle passera le garant quand il faudra tirer la corde du haut en bas , & par dessus laquelle passera le garant quand il faudra tirer du bas en haut ; cette corde après avoir ainsi passé dessous ou dessus cette poulie (selon l'exigence des cas ,) s'attachera toujours au bas du Treuil du petit Cabestan : elle montera sur ce Treuil par la loi des cordes qui tournent sur des plans qui sont inclinés à leur égard ; (a) on réservera à ce garant un bout de corde assez long pour pouvoir être tenu & tiré par derrière par quelques hommes destinés à cet effet , qui amèneront cette extrémité de corde , à mesure que le côté opposé montera sur le Treuil ; enfin quand la corde sera à l'extrémité supérieure du Treuil , on cessera de virer pendant un moment , pour donner lieu à la corde de se desserrer , & de tomber par son propre poids ; ensorte que cette espèce de choc se pourra faire , pour ainsi dire , de soi-même , après quoi on recommencera à virer , &c.

(a) Voyez la note de la page précédente:

*Ce 26 Août 1740.*

---

## EXPLICATION DES FIGURES.

Pl. II.  
& III.

La premiere figure représente le ferre-cable vû en-defsus, avec la position des cordages dans les crochets de l'arriere, & dans ceux de l'avant.

La seconde, montre le même instrument vû obliquement, ou des trois quarts.

La troisième, fait voir cette Machine vûe par le côté où est le manche de la vis, avec la vûe d'un cable fortant de part & d'autre des parois qui le compriment.

La quatrième, la fait voir par le côté opposé, qui est celui où sont les coins.

La cinquième, est l'intérieur d'une des parois, de celle où sont les barres faites en parallelepipedes.

La sixième, est l'intérieur de la paroi opposée, où est l'écrou, & les ouvertures pour recevoir les barres.

La septième, fait voir la Machine en-dessous, & un cable qui est visiblement comprimé & rendu ovale par la compression, de rond qu'il étoit auparavant.

La huitième, est la figure de la clef de la vis; on l'a fait mobile, comme on fait dans les étaux; mais comme on peut avoir besoin de l'ôter, on a fait l'un des bouts amovible, c'est la *Fig. 9.* laquelle on attache à la clef par le moyen d'un petit écrou qu'on y a ménagé, & qui répond à une petite vis qui est au bout de cette clef.

*On s'est servi des mêmes lettres pour désigner les mêmes parties dans toutes les figures.*

*AB.* La paroi gauche qui porte l'écrou.

*CD.* La paroi droite qui porte les barres ou attaches parallelepipedes.

*EF.* Sont les crochets de l'arriere, sçavoir *E* de la paroi gauche, & *F* de la droite.

*GH.* Crochets de l'avant, sçavoir *G* de la gauche, & *H* de la droite.

*I.* La vis, *K* son manche, *L* la clef mobile.

*MM.* Les deux barres faites en parallelepipedes.

*NN.* Les trous qui sont au bout desdites barres pour recevoir les coins *RR.*

*OO.* Cordage qui sera attaché aux crochets de l'arriere, qui ira s'enrouler sur le Cabestan.

*PPPP.* Cordages qui serviront à arrêter le cable en s'attachant aux crochets latéraux.

*QQ.* Le cable qui est pressé entre les deux parois.

*SS.* Les deux rainures creusées elliptiquement dans les parois pour recevoir en partie le cable, & le comprimer.

*TT.* Les ouvertures faites dans la paroi gauche pour recevoir les barres parallelepipedes.

*V.* L'écrou.

*X.* Le trou par où on introduit la vis.

*Figure des barres d'un Cabestan à quatre grandes barres, ou à huit demi-barres, & auquel on a appliqué huit entre-barres, & huit quarts de barres.*

Le cercle du milieu représente la tête du Cabestan, plus *Pl. I.* grosse que son treuil.

Les entre-barres sont marquées *a.*

Et les quarts de barres *b.*

Les petites marques noires représentent le point d'appui des hommes qui tournent.

Si l'on vire de *A* en *B*, & de *B* en *C*, il faudra pour empêcher que l'effort fait sur le quart de barre *A* (par exemple) ne le démanche; il faudra, dis-je, attacher ce quart de barre avec le bout de la barre qui est derriere marquée *X*, avec une corde suffisamment forte, ce qui rendra ce quart de barre aussi solide que la barre même.

Quand on voudra exécuter cette maniere de poser des entre-barres & des quarts de barres, il faudra observer que les branches ne soient ni trop hautes ni trop basses, par

rapport à la hauteur d'un homme ordinaire ; car si elles étoient trop basses , les hommes en travaillant s'appuyeroient dessus , ce qui pourroit les faire plier ; il faut donc qu'elles soient à la hauteur de l'estomach d'un homme de stature médiocre.

***FIN.***

**CABESTAN**

Fig. 1.<sup>re</sup>

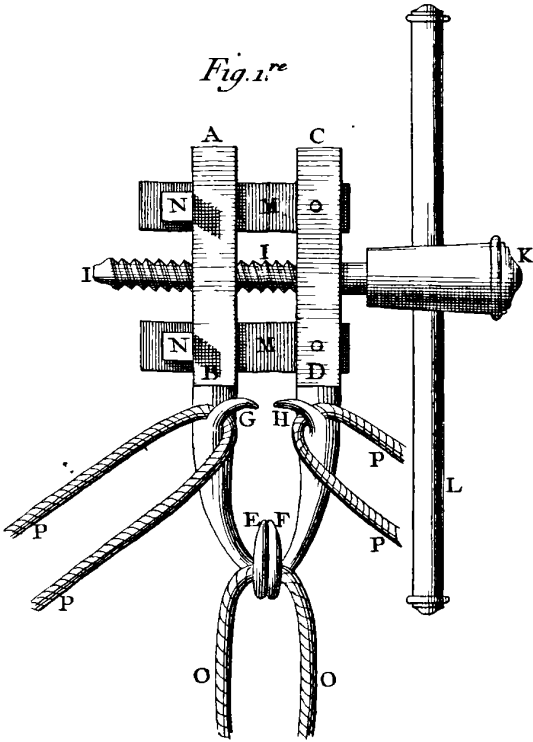


Fig. 2.

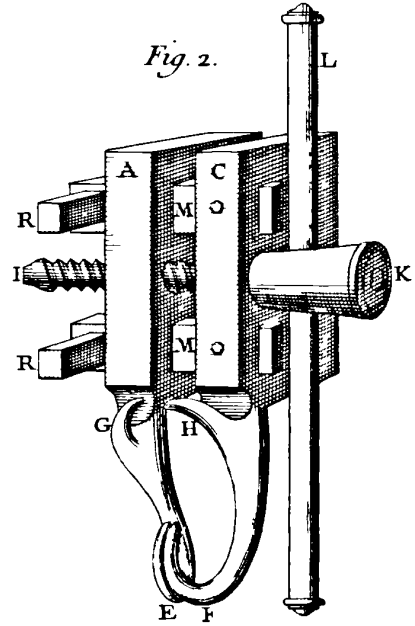
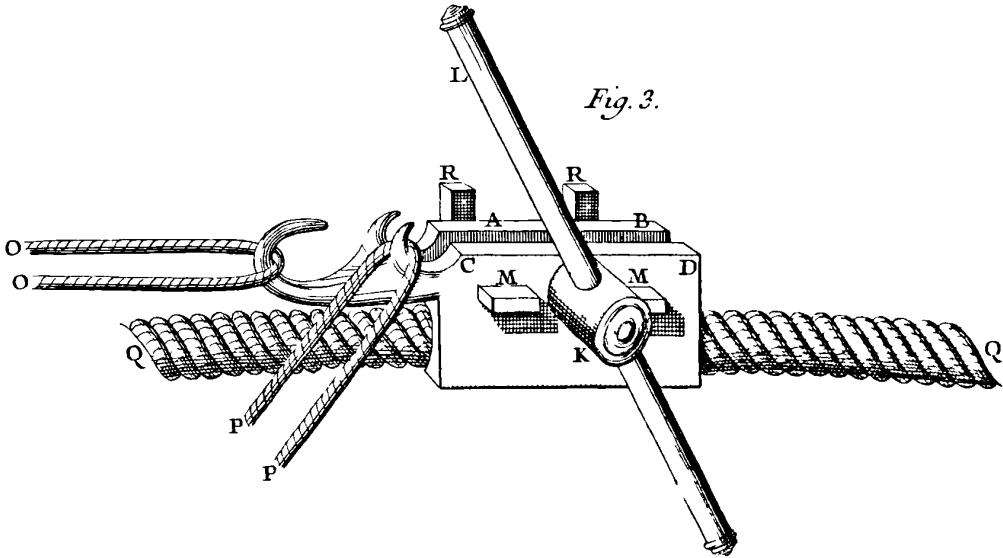
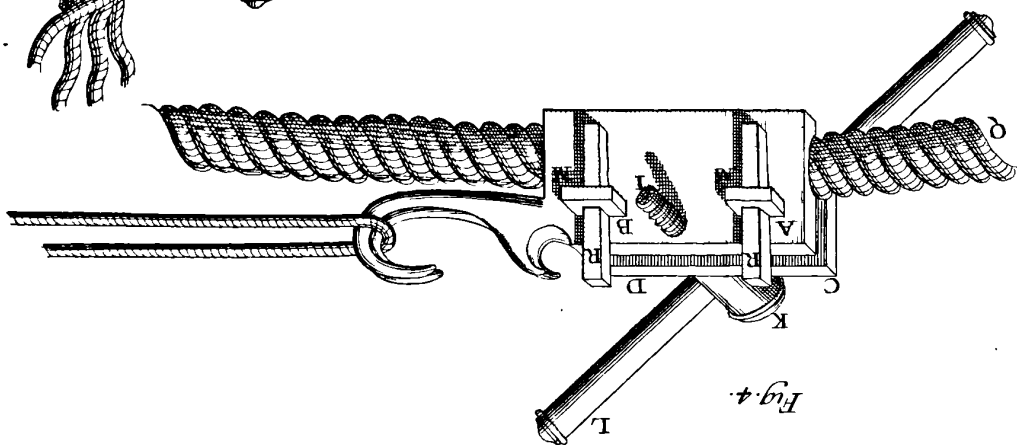
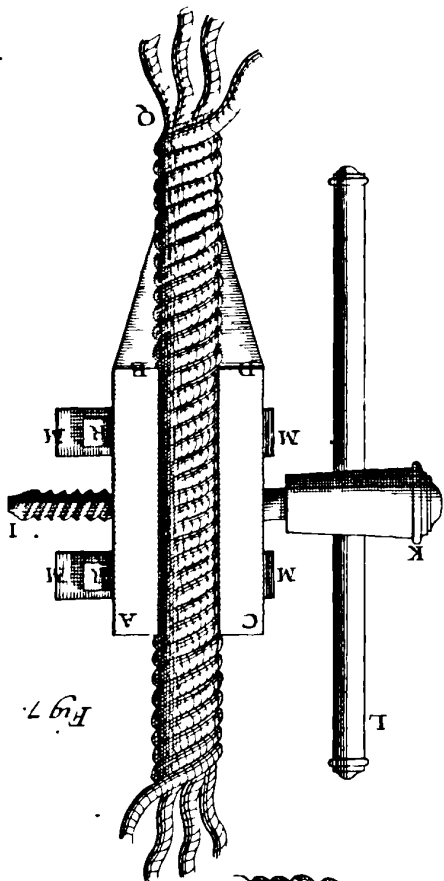
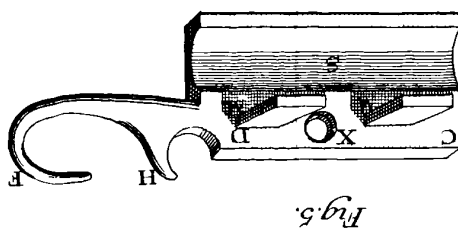
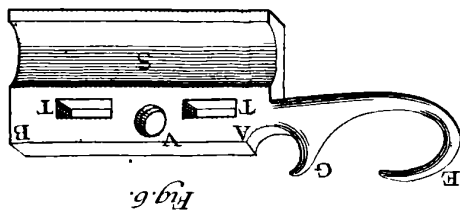


Fig. 3.











# C A B E S T A N

A E C R E V I C E S ,

E T C A B E S T A N

A B R A S .

L'un & l'autre accompagnés d'un modèle.

*Piece qui a concouru au Prix de l'Académie  
Royale des Sciences.*

---

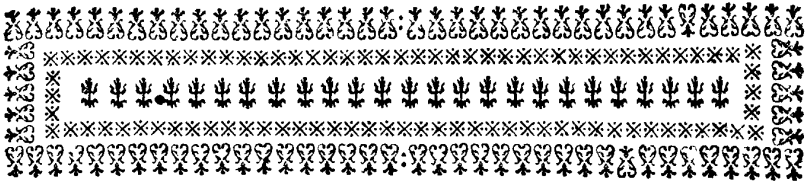
*Plus il me résiste , mieux je le saisis.* G8. M4. D6.

Par M. DELORME , de l'Académie de Lyon.

*Prix.* 1741.

M m





# CABESTAN

## A ECREVICES,

### ET CABESTAN A BRAS.

---

*Plus il me résiste , mieux je le saisis. G 8. M 4. D 6.*

---

**L'**UTILITE' importante du Cabestan sur les vaisseaux pour tirer les ancres, pour guinder les vergues, & son fréquent usage par-tout où une grande force est nécessaire, soit pour amener, soit pour élever de pésants fardeaux, méritoit bien l'attention de l'Académie Royale des Sciences, pour procurer à cette Machine la perfection qui lui est nécessaire à l'usage de la Marine, en proposant, comme elle a fait, pour sujet des deux Prix des années 1739. & 1741. les meilleurs moyens de corriger le Cabestan de deux inconvéniens ordinaires qui s'y rencontrent lorsqu'il faut choquer ou mettre haut. Voici ce qui m'en a été expliqué.

*Choquer* se dit quand on lâche un peu le retour de la tournevire, ce qui donne au cordage la facilité de faire plusieurs tours à rebours sur le Cabestan, & de remonter de lui-même vers le haut de la fusée où il trouve une plus petite circonférence, ce qui se réitere toutes les fois que la tournevire est descendue au plus-bas de la fusée. Cette opération de lâcher ainsi la tournevire, fait retourner le poids en

M m ij

arriere avec une secouffe qui seroit capable de casser la vergue ou la patte d'ancre & la tournevire elle-même; c'est pourquoi on n'en use ainsi que pour les petits fardeaux, & pour lesquels c'est toujours un inconvénient.

*Mettre haut*, se dit quand la tournevire étant parvenue au plus bas de la lanterne ou fusée, on abosse le cordage en avant du Cabestan, c'est-à-dire, on le retient fortement avec ce qu'on appelle des bosses, tandis qu'on dégarnit les tours supérieurs de la tournevire, & qu'on élève les trois ou cinq tours au haut pour continuer ensuite à virer le cable jusqu'à ce qu'il faille de nouveau remonter la tournevire. L'on en use ainsi pour lever l'ancre, guinder une vergue, &c. ce qui fait perdre au vaisseau par le tems qu'on employe à mettre haut, le peu d'erre qu'il avoit pris par les premiers coups de Cabestan quand on vire sur un ancre.

Ainsi les deux inconvéniens du Cabestan ordinaire à l'usage des vaisseaux, sont, 1°. de faire retourner le poids en arriere quand on choque; 2°. de faire perdre au vaisseau le peu d'erre que lui avoit donné le premier coup de Cabestan en virant sur l'ancre, ce qui arrive quand on met haut; & c'est à quoi l'Académie voudroit qu'on pût remédier. Elle demande donc un Cabestan qui n'ait ni l'inconvénient de choquer, ni celui de mettre haut; c'est-à-dire, tel qu'on pût virer sans secouffe & sans interruption. C'est ce qui fait l'objet de ce Mémoire & du Prix proposé. J'ai eu à ce sujet deux idées pour deux Cabestans, qui m'ont parû également propres à satisfaire les vues de l'Académie; je les ai exécutées par deux modèles, desquels je vais faire suivre la description dans l'ordre du tems de leur invention.

### CABESTAN A ECREVICES.

Ce Cabestan est composé d'une tête, d'une lanterne & d'un pivot: la tête & le pivot sont les mêmes que dans le Cabestan ordinaire; il ne s'y trouve de la différence que dans la construction de la lanterne ou fusée, qui renferme

seule l'artifice propre à virer sans secousse & sans interruption par les manœuvres ordinaires.

Cette lanterne ou fusée se présente par un renflement de six pouces sur le fut du Cabestan, dont il occupe seize pouces en hauteur ; on peut lui en donner davantage s'il est nécessaire pour la renforcer. Ce renflement est partagé également sur son contour par une canelure large & profonde de six pouces, & arrondie dans le fond. Ce renflement est encore ouvert dans la direction de l'axe du Cabestan par six canelures profondes jusqu'au fut, & larges de deux pouces six lignes, toutes également espacées, que nous appellerons *canelures droites*. Le Cabestan est percé diamétralement à jour par trois mortaises qui se croisent au centre, & dont les ouvertures répondent aux intersections des six canelures droites avec la grande canelure du contour. Leur hauteur est de six pouces, leur largeur de deux pouces six lignes, & leur profondeur de douze pouces, diamètre du fut. Les deux parties supérieure & inférieure du renflement séparées par la grande canelure, sont taillées en moulures. La première représente un talon renversé, & l'autre un talon droit, ayant cinq pouces de hauteur, & trois de profondeur ; l'une & l'autre exigeroient un cercle de fer pour renforcer & entretenir leurs parties. Il faut maintenant voir l'utilité de ces mortaises & canelures.

La grande canelure du contour du renflement ou lanterne, est pour recevoir la tournevire qui doit envelopper la moitié de la lanterne. Les trois mortaises sont pour loger trois écrevices qui servent, à l'aide de leurs pinces, à saisir & faire passer la tournevire sur la lanterne. Les canelures droites sont destinées pour recevoir & maintenir les pinces d'écrevices dans leur jeu, & pour y loger des roulettes pour leur service. Tout cela demande les explications suivantes.

La tournevire doit avoir ses nœuds ou olives espacés de trente-sept pouces huit lignes de centre à centre pour un Cabestan de douze pouces de diamètre. La longueur de ces nœuds doit être restreinte à trois pouces six lignes, & si

M m iij

on ne les effimoit point assez solides, l'on pourroit en doubler le nombre en les espaçant de dix-huit pouces dix lignes de centre à centre. L'on se trouve assujetti à cette disposition & à cette longueur des nœuds, afin qu'ils puissent toujours être placés entre les têtes des écrevices, & non au-devant, & qu'il se trouve un nœud sur la demi-circonférence de la lanterne; cette dernière condition n'est cependant pas nécessaire.

J'appelle *Ecrevice*, l'artifice qui saisit & fait passer la tournevire sur la moitié de la circonférence de la lanterne, pendant que le Cabestan vire. Je lui ai donné ce nom, par le rapport que sa figure & ses effets ont de commun avec le poisson de ce nom. Il est logé dans une mortaise, où il se meut par un mouvement de coulisse qu'il fait à reculons. Il est composé d'un corps & de quatre pinces mobiles, deux à chacune de ses extrémités. Le corps est un parallépipède propre à remplir la mortaise, sauf son jeu nécessaire au mouvement. Sa longueur est de dix-sept pouces, sa largeur de deux pouces six lignes, & sa hauteur ou épaisseur de six pouces. Dans cette longueur de dix-sept pouces, sont comprises à ses deux extrémités deux parties saillantes, que j'appelle *tête* & *queue*, ce qui est dit relativement à leur fonction, puisque l'une est égale & semblable à l'autre. Elles sont sur le prolongement de l'axe du parallépipède, & distinguées du corps par leur figure, qui vue de profil, est un triangle émouffé par un arc rentrant; sa longueur est de deux pouces sur deux pouces de largeur & épaisseur. Ces têtes & queues sont toujours saillantes hors de leurs mortaises; la queue de dix-huit lignes, & la tête de trois pouces six lignes lorsque la tournevire est chargée de nœuds; & la seule tête saillante de deux pouces pour des tournevires sans nœuds, comme dans le modèle. La tête fait avec les épaules deux angles rentrants, l'un supérieur & l'autre inférieur; car il faut se figurer une écrevice couchée sur le côté. Dans chaque angle est creusé un sinus cylindrique ouvert sur sa longueur du tiers de sa circonférence, pour l'articulation des pinces,



Les pinces de l'écrevice sont égales & semblables ; ce sont autant de secteurs de cylindre avec des coupes que l'on ne peut mieux décrire , qu'en rapportant des opérations supposées , qui auroient pû être employées à leur construction.

Un cylindre de cinq pouces de rayon , & de deux pouces six lignes de hauteur , a été coupé en dix secteurs égaux pour dix pinces. Ils ont été mis les uns sur les autres en pile bâte sur bâte. Après avoir un peu émoussé l'angle rectiligne de cette pile , l'on y a uni & incorporé une baguette cylindrique d'un pouce de diamètre , que l'on a coupée en dix portions égales par les sections que ces secteurs ont entr'eux , de sorte qu'il est resté à chacun de ces secteurs une portion de baguette égale à sa hauteur. Ensuite par la section d'un plan perpendiculaire à leur bâte , on a retranché de cette pile une portion ou prisme triangulaire , ayant le tiers de l'arc du secteur pour bâte aux deux côtés qui sont appui dessus ; ces côtés ont trois pouces de longueur. Après ce retranchement du prisme , un canal d'une portion cylindrique est creusé sur le plan de la section par un arc qui appartient à une circonférence de trois pouces de diamètre , dont il peut avoir près du tiers. Dans cette courbure l'on fait des rainures parallèles à la bâte de la pile , cinq sur le premier secteur , quatre sur le second , cinq sur le troisième , & quatre sur le quatrième , ainsi de suite par alternative ; ces rainures profondes de deux à trois lignes , & larges de trois à quatre , sont percées de trois ou quatre trous dans le fond. Elles sont ainsi préparées pour recevoir de petites cordes gaudronnées qui doivent remplir & surmonter ces rainures. Par cette maniere de procéder à la construction des pinces , on peut s'en retracer une image , & d'autant plus facilement qu'elle devient son propre ouvrage. Il faut à présent joindre les pinces au corps de l'écrevice. La baguette de la pince sert à cette articulation ; étant reçue dans le sinus cylindrique de l'épaule qu'elle enfile & qu'elle remplit avec jeu , elle a un mouvement de charniere qui lui fait parcourir

plus de deux pouces à son extrémité. La tête & la queue ont chacune deux pinces, l'une à l'épaule supérieure, & l'autre à l'épaule inférieure, ayant attention que leurs cavités soient tournées du côté de la tête; il en est de même de celles qui sont à la queue. Elles s'ouvrent en s'éloignant de la tête, & se ferment en s'en approchant jusqu'à faire appui dessus; elles s'étendent de trois pouces au-delà de la tête; l'on doit voir ce mouvement semblable à celui d'une écrevice couchée sur le côté.

Au-dessus de la pince supérieure dans la canelure droite, est logé une roulette de quatre pouces de diamètre, de la longueur de deux pouces six lignes, ayant une canelure large de six lignes, & profonde d'un pouce sur sa circonférence qu'elle partage en deux également. Cette roulette est enfilée par un essieu d'un pouce de diamètre. Son usage est pour diminuer le frottement du dos de la pince; j'appelle *dos*, ce qui est opposé à la cavité. Au-dessous de la pince inférieure, est placé de la même manière une roulette semblable; il en est de même à toutes les pinces des trois écrevices qui composent l'artifice de cette Machine. Toutes ces pièces sont nécessairement de fer, pour la force qui leur est convenable. Passons à l'explication de la propriété de ces écrevices.

Les Ecrevices sont propres à saisir & faire passer la tournevire sur la lanterne. Pour y recevoir ce cordage, les pinces sont ouvertes & tenues relevées par des cordons attachés à leurs roulettes, passant dans leur canelure, ce qui ne les empêche point de s'abaisser, puisque de sécantes elles deviennent alors rayons à l'égard du cercle de cette roulette. La tête de l'écrevice est faillante dans la grande canelure, & le corps logé & caché dans la mortaise, ce qui est le même pour les trois écrevices. Dans cet état la tournevire étant appliquée sur la moitié de la circonférence de la lanterne & dans la grande canelure, ayant eu l'attention de placer le premier nœud entre deux têtes d'écrevices, & non au-devant, ce qui donne lieu aux autres nœuds de se placer

placer toujours de même ; ce cordage faisant appui contre les trois têtes qui sont sur cette demi-circonférence , par le moyen des hommes placés sur le retour pour un ou deux tours seulement du Cabestan , la tournevire fera d'autant plus appui sur les trois têtes , qu'elle trouvera de résistance dans sa traction. Pour lors les trois écrevices reculeront de deux pouces dans leurs mortaises par un mouvement de coulisse causé par l'effort de cette pression , jusqu'à ce que le cordage soit parvenu à faire appui sur la lanterne. Pendant le mouvement de l'écrevice qui va en arrière , les pinces qui tiennent au corps sont par elle tirées & la suivent dans sa retraite. Elles se rapprochent pendant ce mouvement , & embrassent la tournevire qui est aussi-tôt fortement ferrée dans leurs cavités. L'on apperçoit bien-tôt la cause de cette pression. Les deux pinces forment deux coins couplés & chassés dans un étroit passage , qui font effort par leurs plans inclinés ou dos des pinces contre les roulettes ; celles-ci ayant des points invincibles dans leurs effieux , renvoient tout l'effort contre le cordage , qui en est ferré de manière à ne pouvoir échapper aux pinces tant que la tournevire fera appui sur les têtes ; & plus sa pression sera grande , plus elle en sera ferrée & retenue. Il ne suffisoit pas de trouver un artifice qui feroit & arrêtoit solidement la tournevire sur la lanterne , il falloit encore que ce même artifice pût la quitter & l'abandonner à propos , c'est ce que l'on va voir.

Après que les pinces des trois têtes ont saisi la tournevire , il semble qu'il se présente une quatrième tête avec ses pinces ; mais c'est la queue de la première écrevice que nous nommerons toujours *tête* , & ainsi des autres , lorsqu'elles saisissent le cordage , & *queue* au contraire quand elles l'abandonnent ; ce qui se fait par opposition diamétrale , car dans le moment que les pinces de la tête saisissent , celles de la queue abandonnent : voici comment. Lorsque la Tournevire fait appui dessus une tête , elle recule avec le corps de 2 pouces , & la queue qui lui est opposée fort & avance en faille de 2

pouces: de-là les pinces sont repoussées de l'étroit passage où la tête les avoit engagées ; elles s'ouvrent & quittent le cordage , qui se trouve abandonné à lui-même pour suivre sans empêchement la route que l'on a coutume de lui faire tenir jusques à l'écubier. C'est ainsi que le cordage sera fait & abandonné successivement sans interruption , ni retour en arrière , tant que l'on voudra virer le Cabestan , & sur lequel il n'occupera jamais que la moitié de la circonférence de la lanterne. L'artifice est disposé de manière que c'est le cordage qui s'y engage , & qui s'en délivre lui-même à propos , sans aucun assujettissement ni manœuvres nouvelles & composées ; l'on peut dire encore que tout s'y passe avec plus de simplicité que dans le Cabestan ordinaire , & avec moins d'hommes , puisqu'il n'en faut point sur le retour de la tournevire.

L'on peut donner à ce Cabestan toute la solidité que l'on croiroit lui être nécessaire , sur-tout si l'on doutoit qu'il ne fût trop affoibli par les mortaises de la lanterne ; ce qui peut se faire de deux façons , soit en donnant plus de grosseur à cette lanterne avec des ceintures de fer ; soit en la construisant en fer ; ce qui peut s'exécuter facilement.

Le corps de l'écrevice n'est que trop fort , puisqu'il ne sert proprement qu'à tenir les pinces en raison ; c'est pourquoi l'on n'a pas craint de l'affoiblir dans le milieu, en ne lui donnant que le tiers de l'épaisseur des épaulés ; dégrossissement même nécessaire pour faciliter leur croisure ; l'on aura soin d'arrondir les têtes par les côtés qu'elles présentent au cordage , afin qu'il n'en puisse être endommagé. Les pinces ont une force plus que suffisante par leur largeur & par leur épaisseur , pour soutenir l'effort qu'elles font entre les roulettes & le cordage : d'ailleurs elles sont épaulées par les moulures qui soutiennent tout l'effort de la traction. Elles peuvent sans inconvénient avoir le mouvement latéral que lui donnera la traction du cordage , puisqu'elles y sont propres par la construction de leur charnière ; les baguettes coulant avec facilité dans leurs sinus.

Les roulettes & leurs effieux ont de leur part une force capable de tous les efforts qu'ils doivent soutenir ; les effieux ayant un pouce de diamètre sur deux pouces six lignes entre leurs appuis.

Les rainûres des pinces ne scauroient écorcher le cordage étant garnies de petites cordes gauderonnées en la manière qu'il a été dit ; au contraire ces petites cordes toucheront seules le cordage avec lequel elles s'uniront assez fortement dans le tems de la pression des pinces , pour ne faire avec lui qu'un même corps ; & cela d'autant mieux que c'est corde contre corde. L'on peut dire que l'assemblage momentané des pinces & du cordage , fait un nœud aussi solide que les nœuds ordinaires de la tournevire , avec l'avantage d'être retenu sur la lanterne avec toute la sûreté possible. L'on ne doit pas craindre que la tournevire puisse riper avec des nœuds de cette espèce , & encore moins si la lanterne se trouve chargée d'un nœud de la tournevire , ce que j'insiste n'être pas nécessaire à cet effet.

Les pinces propres aux gros cordages ne pourront pas servir également aux petits , il faudra leur substituer d'autres pinces qui puissent se rapprocher davantage , pour faire une pression suffisante sur les petits cordages ; pour cela elles feront plus épaisses afin de leur donner , par l'épaisseur , des approches proportionnées à l'usage des autres cordes. La dépense de cet artifice ne doit pas être un obstacle à son exécution , puisqu'elle ne peut être que médiocre par le peu de valeur , la petite quantité de matière , & la façon qu'il faut pour sa construction.

Cette Machine réunit parfaitement tous les avantages que l'Académie a voulu procurer au Cabestan. Tirer sans interruption & sans secousse , être propre à tous les usages du vaisseau ; ç'a été l'objet de ses vûes & celui de mes recherches : l'expérience m'apprend que j'ai heureusement réussi , je souhaite que son jugement le confirme.

Le Cabestan à écrevices ne réunit pas seulement tous les

N n ij

avantages qui sont propres, sans inconvénient, à l'usage de la Marine, parmi lesquels je pourrois compter celui de sa simplicité, & celui de sa commodité dans la manœuvre, où l'on n'est point embarrassé par la traction du cordage, qui se trouve toujours à six pouces près du pont, dans une même direction, qui est la même pour le retour, auquel il n'est pas nécessaire qu'aucun homme y soit appliqué : mais il a des avantages ailleurs aussi utiles & plus fréquens, sur les ports, dans les chantiers, dans les arsenaux, & dans toutes les Machines considérables où il faut une grande force pour tirer, pour élever d'immenses fardeaux ; soit que l'arbre soit vertical ou horizontal, il produira par-tout son même effet : ce qu'il peut avoir de plus estimable dans toutes ses opérations, c'est de maintenir la traction dans une même & constante direction, & cela sans fin. Il n'est presque point de Machine où il ne devienne utile & nécessaire : ce Cabestan feroit très-propre pour faire remonter les barques sur les rivières dans les passages difficiles, sous les ponts, soit qu'il fût monté sur la barque, soit qu'il fût placé sur le rivage. Il me paroît préférable à ces Machines qui remontent les bateaux sur la Seine ; la manœuvre peut s'en faire avec beaucoup d'avantage par-tout où l'on peut y employer des chevaux.

L'on doit sentir que tant d'avantages réunis dans une seule Machine mériteroit une récompense, outre celle du prix, s'il lui est adjugé, proportionnée à toutes ses importantes utilités : si je n'ai pas le bonheur de la voir couronnée, j'espère que j'aurai celui de la voir protégée par l'Académie, & m'appartenir par un privilège exclusif, comme Auteur de cette invention. Il faut passer à la preuve de tous les avantages attribués à cette Machine, je veux dire au calcul de sa force & de ses effets.

### *Résultat du Calcul.*

1°. De la résistance de la pression de la tournevire, sur la demi-circonférence de la lanterne.

2°. De la pression des pinces sur la tournevire , & de sa résistance au poids.

La lanterne a de rayon six pouces , sa demi-circonférence dix-huit pouces dix lignes ; l'ouverture des canelures droites deux pouces six lignes ; l'espace entre ces canelures trois pouces neuf lignes : la tête de l'écrevise prend sur la circonférence un arc de trente lignes ; les roulettes ont quatre pouces de diamètre , & leurs essieux un pouce. La raison de la moitié de la circonférence de la lanterne à la pince , est de deux cens vingt-six à trente : le plan incliné de la pince dans sa pression est de quinze degrés , il peut s'abaisser jusqu'à treize , environ.

*De la résistance de la pression de la tournevire sur la lanterne.*

La tournevire étant passée sur la moitié de la circonférence de la lanterne , on suppose que sa traction se fait d'un côté par une puissance , & de l'autre par un poids de vingt milliers en équilibre avec cette puissance : la pression du cordage sur cette demi-circonférence sera de 62777 livres, dans la raison connue du rayon à la demi-circonférence. La résistance de cette pression sera égale au tiers de cette pression , ou à 20925 livres.

*De la pression des pinces sur la tournevire.*

La pression sur la demi-circonférence étant de 62777, elle sera sur la tête de l'écrevise de 8333 livres, dans la raison de la demi-circonférence à l'arc que prend la tête de l'écrevise sur cette circonférence.

La tête de l'écrevise est ici celle d'un double coin , ou de deux plans inclinés de quinze degrés dans le tems que se fait la pression sur le cordage. L'impression de 8333 que reçoit la tête de ce coin parallèlement à sa base , produira un effort du coin contre les roulettes de 31099 livres ; mais la

résistance que le plan trouve par son frottement, doit diminuer d'autant l'effort de ce même plan, c'est-à-dire, du tiers de la pression, ou de 10366 livres; mais comme cet effort se fait contre les roulettes, la résistance du frottement en sera moins considérable dans la raison du rayon des roulettes à leurs essieux, ou de quatre à un; par conséquent réduite à 2591, qu'il faut retrancher de 31099, effort du coin contre les roulettes; le restant pour la pression effective du coin contre les roulettes sera de 28508 livres. L'on doit entendre que la pression du plan incliné, ou des pinces contre les roulettes, est une même chose que celle du plan contre le cordage, puisque l'essieu de la roulette est un point invincible dont l'effort qui se fait contre, retombe sur le cordage embrassé par la pince. La résistance causée par la pression des pinces sur le cordage peut & devrait vraisemblablement égaler la pression; car les doigts des pinces étant de cordes gaudronnées comme la tournevire, il ne se doit faire du tout qu'un seul corps; & si néanmoins la résistance n'étoit estimée que par les trois quarts de la pression, elle seroit de 21381 livres pour chaque tête d'écrevice, ou couple de pinces.

L'on a supposé qu'une puissance appliquée à la tournevire, étoit en équilibre avec un poids de 20000 livres; l'on a vû ensuite que la résistance de la pression du cordage étoit de 20925; par conséquent il faudroit ajouter au poids de 20000 livres, un autre poids de 20925 livres pour rompre cet équilibre.

Si à la puissance supposée on substitue une tête d'écrevice dont la pression connue de ses pinces est de 21381, cette tête ou couple de pinces pourra, avec la résistance de la pression de la tournevire sur la lanterne, soutenir le poids de 40925 livres, & cela indépendamment des deux autres têtes d'écrevices, qui auront chacune une force égale de 21381 livres; force plus que suffisante pour le service du vaisseau, & qui pourroit donner lieu à la suppression d'une écrevice, s'il n'étoit plus à propos de la laisser pour la con-



servation du cordage ; & c'étoit ce qu'il falloit démontrer.

L'on pourroit démontrer encore que la force des écrevices seroit toujours plus grande que tous les poids dont le Cabestan pourroit être chargé ; observation qui a donné lieu à la devise de ce Mémoire.

Je ne donne point de calcul de la résistance de la tournevire , des frottemens du pivot & de la tête du Cabestan , du pliement du cordage , puisque je n'y change rien , ni à la puissance nécessaire pour les vaincre ; toutes choses à cet égard demeurant les mêmes.

M O D E L E.

Le modèle porte une inscription de la devise de ce Mémoire , & du nom distinctif de *Cabestan à écrevices* ; il est réduit au quart environ d'un Cabestan de douze pouces de diamètre ; ce qui concerne seulement la fusée ou lanterne , car pour sa hauteur on l'a réduite à celle d'un vindas monté dans sa cage. La corde qui l'accompagne est dans le même rapport du quart de la tournevire : elle n'a point de nœuds , parce que les épreuves que l'on peut y faire n'en sçauroient exiger. Les pinces des écrevices ne sont pas garnies de cordelettes dans leurs rainûres , comme on l'exige dans le Mémoire , n'ayant pas eu le tems pour cela. L'articulation des pinces doit être cachée dans la mortaise , lors même que les pinces sont ouvertes ; le modèle n'a pas cette perfection. Le petit rouleau qui est à l'entrée de la cage , sert pour la direction du cordage. Le trou qui traverse la tête , est destiné pour une corde qui doit arrêter la barre nécessaire pour faire les épreuves.

C A B E S T A N A B R A S.

Ce Cabestan a sa fusée exactement cylindrique , & au reste il est en tout semblable au Cabestan ordinaire. Sur cette fusée sont appliqués deux cordages de la grosseur de la tournevire , que je nomme *bras* , parce que les fonctions en sont

semblables à ceux de l'homme par la manœuvre de ce Cabestan. Ils operent l'un & l'autre alternativement, & tirent le cable même, sans secousse & sans interruption bien sensible. L'un & l'autre bras sont arrêtés solidement sur la fusée; le premier au plus haut, & le second au plus bas. Leur enveloppement s'y fait dans des directions opposées; d'où il arrive que lorsque l'un s'enveloppe, l'autre se dévide; & à cet effet on vire alternativement à droite & à gauche. Quand le premier bras a garni la fusée de haut en bas, l'on vire dans la direction contraire, & le second bras garnit la fusée de bas en haut; ce que l'on continue alternativement jusqu'à ce que le cable ait apporté l'ancre.

Ces bras saisissent successivement le cable par le moyen de leurs mains, qui sont des tenailles de quatre pieds de longueur environ, dont le tiers est pour les pinces, & les deux autres tiers pour les branches. Les pinces sont creusées par un canal, moitié cylindrique sur leur longueur, & qui forme le canal entièrement cylindrique par leurs approches. Elles sont garnies de doigts ou petites cordes gaudronnées logées dans des rainures paralleles à la bête de ce cylindre. La pince est disposée de maniere que les branches étant couchées sur le cable, ses deux parties s'approcheront latéralement du cable, qui sera reçu dans leur canelure, & ferré dès que le Cabestan donnera de la tension au bras; ce qui se fait si fortement que les tenailles ne quittent point le cable tant que dure la traction & l'enveloppement du bras sur le Cabestan. Pour lors on abosse ce bras en avant ou en arriere de la fosse au cable, ou enfin en tel autre lieu qui paroîtra le plus commode. A cet effet deux crémaillères de la longueur d'environ quatre pieds taillées en dents de scie, sont posées & arrêtées parallelement sur le pont comme un poulain, près l'une de l'autre, d'environ six pouces, placées dans la direction du bras & au-dessous. Auprès de ces crémaillères doit être toujours placé un instrument de fer, ayant la figure renversée de la lettre T, que je nommerai par cette lettre, dont la tête est d'un pied de long,

long, & la jambe d'un pied & demi, & fourchue par le bout en croissant. Dans le tems que le bras va terminer son enveloppement, un homme prend le *T*, met sa tête en bas & en travers des deux crémailleres, présente le croissant de la jambe du *Tau* cordage, qui s'en trouve embrassé. En même tems cet homme enfle deux trous qui sont aux extrémités du croissant avec un boulon qui passe sur le cordage, de maniere que ce cordage paroît être enfilé comme dans un anneau. Ce croissant se met toujours au même point du bras que je nommerai poignet. Il doit y avoir deux nœuds, l'un devant & l'autre derriere le croissant, pour le contenir dans ce point. Le croissant est poussé par le nœud de derriere tant que la traction du bras dure, ce qui fait labourer le *T* en avant sur les crémailleres. Sa tête qui est posée en travers dessus, passe de cran en cran jusqu'au moment que le Cabestan vient à virer à rebours, ce qui ne tarde pas. Pour lors le bras & le cable sans le *T*, retourneroient plus de deux pieds en arriere jusqu'au moment que le second bras auroit acquis toute sa tension. Et à ce moment la tension du premier bras cesse, le *T* s'engage à l'instant dans les crans des crémailleres, retient le bras par le nœud du poignet qui étoit en avant, de maniere que le cable ne scauroit retourner en arriere plus de deux pouces, ce qui se fait en glissant. Le second bras sans perte de tems, tire à son tour le cable comme a fait le premier, & que l'on abosse au même endroit & de la même maniere. Pendant que le second bras tire le cable, on dégage le *T* du premier bras, l'on reporte les tenailles au lieu où elles doivent saisir le cable, & l'on y va à mesure que le bras se dévide. L'on continue cette opération jusqu'à ce que le cable ait apporté l'ancre.

La vitesse avec laquelle les hommes passent d'une direction à l'autre, en quittant leurs barres pour se jeter sur celles qui sont derriere eux; cette vitesse, dis-je, ne peut pas laisser appercevoir une interruption bien sensible, & le retour en arriere de deux pouces de cable, ne peut faire au-

*Prix.* 1741.

O o

cune secouffe, parce que le cable ne fait que gliffer; ainsi l'on ne peut point regarder cette interruption & ce retour insensible comme un inconvénient; puisqu'il ne sçauoit être nuisible, & d'autant moins qu'il arriveroit rarement, parce que la traction se fait ici de tout l'enveloppement de la fusée, ce qui ne peut se faire dans le Cabestan ordinaire à cause des trois ou cinq tours qui sont dessus.

Je suis persuadé que si cette maniere de virer & d'aboffer avoit été en usage, l'on ne se seroit point avisé de chercher une plus grande perfection dans le Cabestan, & je crois que l'on ne peut guères se flatter d'en trouver une plus simple pour tirer le cable sans tournevire; ce qui mé paroît très avantageux.

La force des tenailles est si connue par l'usage que l'on en fait dans l'architecture, & à l'argue pour tirer les lingots d'argent, que je suis dispensé d'en donner le calcul pour assurer de son effet. Les tenailles ne sçaurcient endommager le cable avec la précaution de les garnir de doigts gaudronnés.

### M O D E L E.

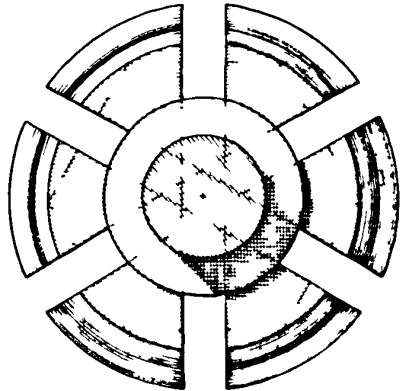
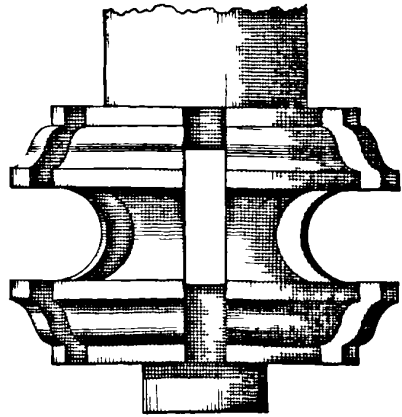
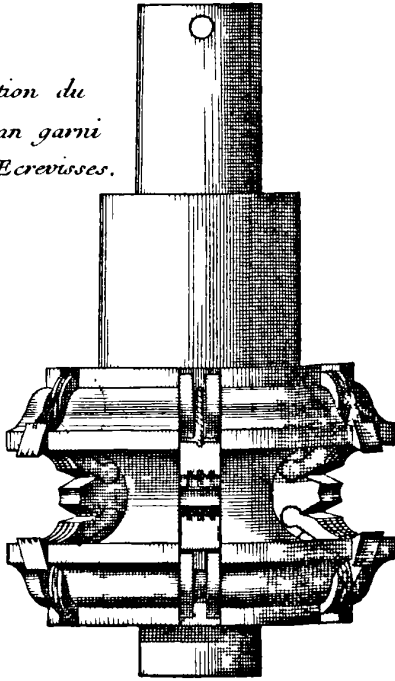
Ce modèle a pour inscription la devise de ce Mémoire, & son nom distinctif de Cabestan à bras. Il est réduit au quart pour un petit Cabestan, & sans proportion pour la hauteur qui se représente par un vindas. La cage de l'autre lui est commune. Le modèle des crémailleres du *T* ne s'y trouve point, parce que je n'ai pas eu le tems de les faire exécuter; mais il est très-facile de se les représenter sans ce secours.

### A V E R T I S S E M E N T.

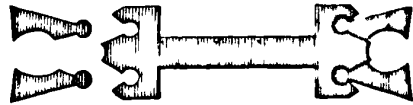
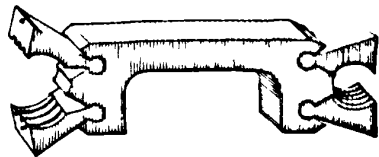
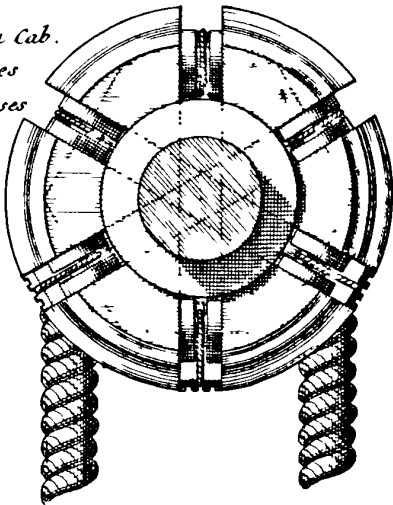
J'ai un moyen assuré pour appliquer & maintenir solidement la tournevire ordinaire & une tournevire sans nœuds sur le cable, à l'aide seulement de quatre hommes pour toute cette manœuvre. Comme cela n'entre point dans l'objet de ce Mémoire, je ne l'y ai point inséré, & je ne m'expliquerai là-dessus que lorsque j'en serai requis.

*Plan et Elevation Geométrale du Cabestan à Ecrevisse.*

*Elevation du  
Cabestan garni  
de ses Ecrevisses.*



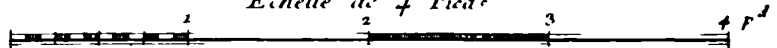
*Plan du Cab.  
avec ses  
Ecrevisses*



*Developpement d' Ecrus*

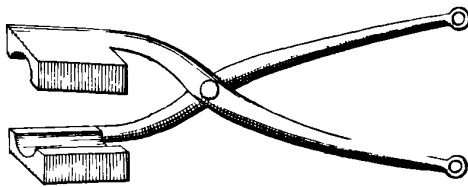
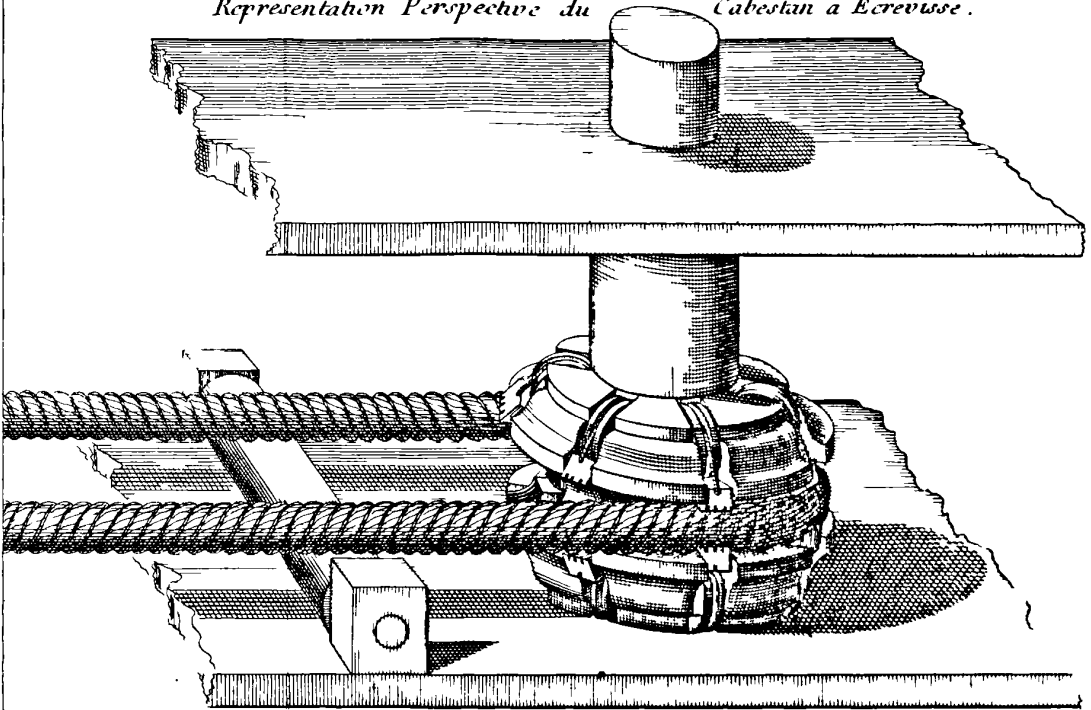


*Echelle de 4 Pieds*

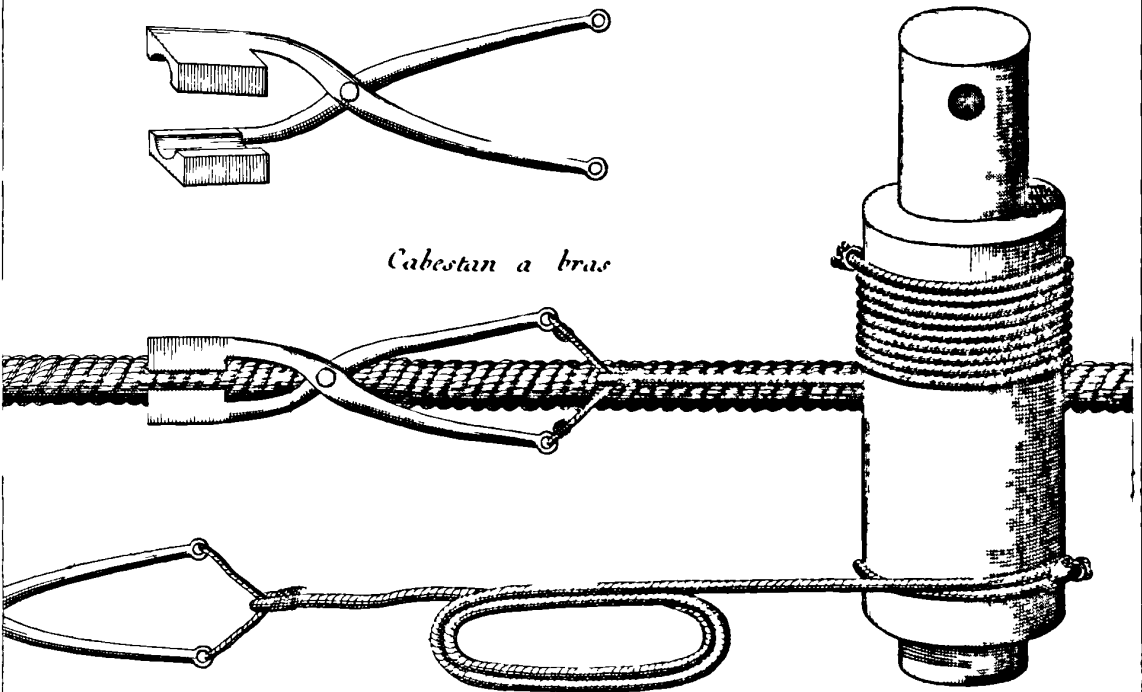




*Representation Perspective du Cabestan a Ecrevisse.*



*Cabestan a bras*







---

## SUPPLEMENT

### A LA PIECE PRECEDENTE.

*Manœuvre de Marine pour amarrer & démarrer sur le cable une tournevire sans nœuds, pendant que l'on tire l'ancre de la mer, par le seul service de deux Matelots ; sur les grands comme sur les petits vaisseaux où l'on emploie depuis cinq jusqu'à douze Matelots pour cette opération.*

**D**ANS le Mémoire qui a pour devise, *Plus il me résiste, mieux je le saisis*, l'on a annoncé un nouvel amarrage d'une tournevire sans nœuds sur le cable, qui devoit se faire par le moyen de quatre Matelots ; cet amarrage a été perfectionné depuis cet avertissement, au point que l'on a supprimé deux Matelots, en sorte que deux pourront seuls & commodément faire cette manœuvre. Comme cet amarrage est très-commode pour le Cabestan à écrevices à cause de la suppression des nœuds de la tournevire, l'on a crû à propos, par cette raison, de ne plus différer d'en informer l'Académie, & de prévenir le jugement qu'elle doit rendre sur les pieces qui concourent pour le prix de l'année 1741.

Pour l'intelligence de ce sujet, & pour faire connoître les avantages de l'exécution de la nouvelle manœuvre, rien n'a paru plus propre qu'une explication préliminaire de celle qui est en usage pour l'amarrage de la tournevire au cable.

*Amarrage en usage, fait par le service de cinq jusqu'à douze Matelots.*

Pour tirer l'ancre de l'eau, l'on n'applique point sur le Cabestan le cable auquel elle est amarrée, parce qu'il ne

O o ij

peut pas à cause de sa grosseur, se plier sur une si petite circonférence ; mais l'on emploie à cet usage la tournevire, dont le diamètre toujours moitié de celui du cable, est plus propre à ce pliement. Ce cordage garni de nœuds de quatre en quatre pieds, & ayant les deux bouts réunis ou épifé, ressemble à un chapelet. Il circule depuis l'écubier jusqu'au Cabestan sur lequel il est passé de plusieurs tours, & depuis le Cabestan par retour jusqu'à l'écubier. Pendant la circulation qu'il s'en fait quand on vire au Cabestan, l'on amarre successivement la tournevire aux parties correspondantes du cable depuis l'écubier jusqu'à l'écouille de la fosse au cable ; c'est ainsi que l'on amène le cable, & avec lui l'ancre à laquelle il est amarré. Voici comme l'on procède dans cet amarrage.

Deux Matelots placés près de l'écubier avec de petites cordes plates appelées garcettes, en font deux tours sur le cable accolé à la tournevire, au-dessus de l'un de ses nœuds qui servent à la retenir ; & après avoir retordu les deux bouts de la garcette, ils la remettent à un Matelot qui la tient en suivant le cordage jusques vers l'écouille de la fosse au cable, où étant arrivé il la détache & la rapporte aux deux Matelots placés vers l'écubier ; ceux-ci ne discontinuent point de lier la tournevire au cable, jusqu'à ce que l'ancre soit tirée, par autant de garcettes, qu'il se présente de nœuds sur la tournevire, où ils sont espacés de quatre en quatre pieds.

Sur les plus grands vaisseaux on doit employer huit Matelots conduisant les garcettes, deux sur le retour qui les rapportent, & deux qui amarrent, ce qui fait ensemble douze Matelots pour faire cet amarrage : & sur les petits vaisseaux, deux sont placés à l'écubier, deux à conduire les garcettes, & un sur le retour, & ensemble le nombre de cinq.

Comme cette manœuvre occupe beaucoup de Matelots, & souvent dans un tems où ils seroient très-nécessaires au Cabestan & à d'autres opérations, il m'a paru que

ce seroit procurer un avantage à la marine que de diminuer le nombre de ces Matelots sans rien changer à la simplicité & à la solidité nécessaire à cet amarrage.

Les nœuds qui sont sur la tournevire pour retenir les gârettes, font une résistance en passant sur le Cabestan, qui exige une plus grande force sur les barres pour la vaincre. Il seroit donc encore très - utile de supprimer ces nœuds, si l'on pouvoit sans eux amarrer solidement la tournevire au cable; ce qui ne sçauroit rencontrer de difficulté de la manière qu'on veut l'exécuter.

Ces deux suppressions ont été l'objet de mes recherches, & parce que le succès a paru répondre à mes soins, elles deviennent le sujet de ce Mémoire; ce qu'il faut expliquer.

●  
*Amarrage proposé à faire par le service de deux  
Matelots, avec une tournevire sans nœuds.*

Pour amarrer au cable la tournevire sans nœuds, on la fera passer à son retour du Cabestan sur un tour ou sur une poulie arrêtée horizontalement près de l'écubier; cette poulie doit être disposée de manière à diriger, & à mettre la tournevire immédiatement sur le cable. Ces deux cordages ainsi accolés, doivent être ensemble amarrés avec des gârettes par enveloppement en hélice, dont les tours seront espacés d'un pied, & plus ou moins près suivant l'exigence des cas, depuis l'écoutille de la fosse aux cables, jusques vers l'écubier.

Pour la facilité de cette manœuvre, le cable doit être élevé d'un pied sur le pont, & pour cela soutenu par un rouleau monté sur deux coussinets près de l'écubier, & par un autre rouleau près de l'écoutille; celui-ci n'est pas absolument nécessaire. L'un & l'autre rouleau servent encore à diminuer la résistance du frottement de la pression, que fait le cable à l'écubier & à l'écoutille.

Les gârettes pour cet amarrage auront un pouce & demi de large, sur environ quinze toises de longueur, &

à leurs extrémités une boutonnière terminée par un bouton en olive. Chaque garcette doit être pliée en spirale, se recouvrant à  $\frac{1}{4}$  de pouce dans tous ses tours, & par trois couches sur une mince planchette de bois carré sur huit pouces ; ce qui fait autant de pelotons que de garcettes.

Toutes choses ainsi préparées, un Matelot étant assis sur le pont près de l'écubier, au-devant des deux cordages, ayant les jambes passées dessous, & auprès de lui plusieurs de ces pelotons de garcettes, continuera l'amarrage par entortillement de cette sorte ; (il est dit qu'il continuera, parce que l'amarrage doit être fait depuis l'écoutille jusques vers l'écubier, quand on commence à virer au Cabestan ;) ce Matelot prend de la main gauche le peloton, qui a jusques-là amarré les deux cordages, le fait passer par-dessus, & le place vis-à-vis sur une planche inclinée de son côté, sur laquelle le plotton glisse, & vient se retrouver sous sa main. Aussi-tôt de la même main, il saisit la garcette par-dessous les cordages, la tire fortement sur lui pour serrer le tour qu'il vient d'en faire ; & pour le maintenir serré, il fait passer la garcette dans la main droite. Ensuite pour un autre tour, de la main gauche il saisit de nouveau le peloton, le fait passer par-dessus les deux cordages, l'abandonne sur la planche inclinée qui le conduit sous sa main ; il reprend par-dessous le cable, la garcette qui s'est développée en glissant sur la planche inclinée d'autant qu'il est nécessaire pour fournir à l'enveloppement : après l'avoir tirée avec force, il l'a remet à la main droite qui doit en conserver toute la tension. Il répète cette action autant de fois qu'il s'écoule au-devant de lui une longueur d'un pied du cable, ou plus d'un pied suivant la manière d'amarrer, & autant de tems que doit durer l'amarrage pour amener l'ancre.

Quand une garcette finit, on l'assemble promptement à une autre garcette, ce que l'on fait en passant le bouton à olive de l'une dans la boutonnière de l'autre ; & si l'on veut fortifier cet assemblage, on passe réciproquement le bouton de celle-ci, dans la boutonnière de celle-là. Si l'on ne veut

point assembler les garcettes, l'on peut en croiser les premiers & les derniers tours pour les arrêter sur les cordages. Veut-on donner plus de force à l'amarrage, il faudra tenir les tours de garcettes plus approchés, & pour moins de force les tenir plus éloignés. Voici une autre manière d'amarrer. Après avoir fait deux tours contigus de garcette; l'on passeroit auprès entre le cable & la tournevire une calle ou coin de bois, qui feroit relever ce dernier cordage, & par ce moyen empêcheroit les garcettes de glisser dessus; ensuite par un seul tour on conduiroit la garcette à trois pieds de distance, où l'on feroit de même deux autres tours contigus, accompagnés d'une calle entre la tournevire & le cable, & ainsi de suite. Voilà tout ce qu'il faut observer pour cet amarrage.

Pour demarrer les deux cordages couplés, un autre Matelot est placé près de l'écouille de la fosse aux cables dans la même situation que le premier. Il développe sans peine les garcettes par une action contraire à celle du premier Matelot, & à mesure que leur développement se fait de dessus les deux cordages, il les plie sur les planchettes destinées à chaque garcette, dont il fait autant de pelotons; cela est trop clair pour demander une plus ample explication. Dès que ce Matelot a fait trois pelotons, il doit les envoyer au Matelot qui fait l'amarrage, dans un panier ou dans un étrier qu'il suspendra par un crochet sur le retour de la tournevire; celui-ci lui enverra des planchettes par le même panier ou étrier, en l'accrochant à l'amarrage.

Huit garcettes de 90 pieds, seront suffisantes pour faire commodément un amarrage successif de 30 à 36 pieds de longueur; sçavoir trois auprès du Matelot qui amarre, deux formant l'amarrage, & trois prêtes à être renvoyées par le Matelot qui démarre. Cette quantité de huit garcettes, de même que l'étendue de cet amarrage, ne doit être que pour les plus grands vaisseaux; car dans les petits un amarrage d'environ 12 pieds avec trois garcettes de service, opéreront le même effet.

Il n'y a pas de doute que la manœuvre de cet amarrage ne paroisse d'une simplicité & d'une épargne d'hommes qui ne peut être surpassée ; puisque deux Matelots peuvent commodément & sans peine , manœuvrer autant que cinq , autant que douze , & autant qu'un plus grand nombre , si l'amarrage l'exigeoit, sans occuper d'autre place que celle de leur position. Par-là toute l'étendue du lieu destiné à la manœuvre de cet amarrage , devient libre pour tout autre usage , puisqu'il ne faut réserver qu'un canal ou coursier pour la conduite de ces cordages ; ce qui ne doit pas être indifférent dans les vaisseaux où les places sont si précieuses : & cette manœuvre rend en même-tems celle du Cabestan plus facile par la suppression des nœuds de la tournevire. Mais pour mieux constater la perfection de cette manœuvre , il faut démontrer par les expériences que j'ai faites , que la solidité s'y trouve toute entière,

*Expériences.*

Pour faire ces expériences l'on s'est servi de deux cordes sans nœuds, l'une de 15 lignes de diamètre , & l'autre de 6 lignes ; d'une garcette large de 4 lignes , dont la tiffure étoit une tresse de quatre fils de vieilles cordes.

La grosse corde a été attachée pendante à un sommier , & par quatre amarrages successifs & différens , la petite corde a été amarrée à la grosse avec la garcette par entortillement en hélice. Le premier amarrage a été fait d'un tour de garcette , le second de deux ; le troisième de trois tours , & le dernier de quatre ; tous ces tours étant espacés d'un pouce. L'extrémité de la garcette étoit retenue sur la grosse corde avant que de faire aucun de ses enveloppemens , & on l'y arrêtoit pareillement après que l'amarrage étoit fait. A la petite corde ainsi amarrée étoit suspendu un bassin de balance , que l'on chargeoit de petits poids , jusqu'à ce que ce bassin par sa pesanteur démarrât la petite corde qu'il entraînoit dans sa chute. Le bassin étoit ensuite pesé conjointement

jointement avec les poids qu'il contenoit ; ces quatre amar-  
rages ont été rompus par les pesanteurs suivantes.

L'amarrage d'un tour de garcettes par	28 livres.
Celui de deux tours par	70 livres.
Celui de trois tours par	145 livres.
Et celui de quatre tours par	295 livres.

Ce qui présente vraisemblablement dans une suite de ces  
expériences une progression double de la résistance du pre-  
mier amarrage , que l'on pourroit disposer sans répugnance  
dans l'ordre progressif des tours de garcettes de l'amarrage ,  
en se réglant sur les trois dernières expériences , ainsi qu'il  
suit.

1 tour . . . . .	37 $\frac{1}{2}$ livres de pèsanteur.
2 . . . . .	75 livres.
3 . . . . .	150
4 . . . . .	300
5 . . . . .	600
6 . . . . .	1200
7 . . . . .	2400
8 . . . . .	4800
9 . . . . .	9600
10 . . . . .	19200
11 . . . . .	38400
12 . . . . .	76800.

Ce qui fait voir que si l'on avoit voulu pousser l'expé-  
rience jusqu'à un amarrage de douze tours de garcettes , & que  
les cordages eussent été assez forts , il auroit fallu pour le  
rompre un poids de 76800 livres , ce qui est une résistance  
bien supérieure aux plus grands efforts que les amarrages du  
cable & de la tournevire ayent à soutenir dans les plus  
grands vaisseaux , puisqu'ils n'y excèdent pas 50000 livres.

Il s'enfuit de ces expériences que l'amarrage proposé du  
cable à la tournevire sans nœud avec une garcette de 18  
lignes de large , seroit capable de résister à une force im-  
mense , si les cordages & les garcettes pouvoient la sou-

*Prix.*

P p

tenir ; d'autant plus qu'il se fait plus d'attouchemens dans ces cordages à cause de leurs plus grandes circonférences ; & aussi parce que le gaudron dont ils sont imbibés en tient les parties plus intimement unies. Quoique cette force du nouvel amarrage soit si excessive , il est à propos de le faire toujours par autant de tours de garcettes , & de la manière qu'il a été expliqué ; afin que les garcettes qui partagent également sur le nombre de leurs tours la plus grande partie de l'effort que l'amarrage doit soutenir , puissent toujours le faire sans être énervées.

L'on peut ajouter que ces expériences & les conséquences que l'on en tire sont confirmées par la pratique de l'amarrage ordinaire.

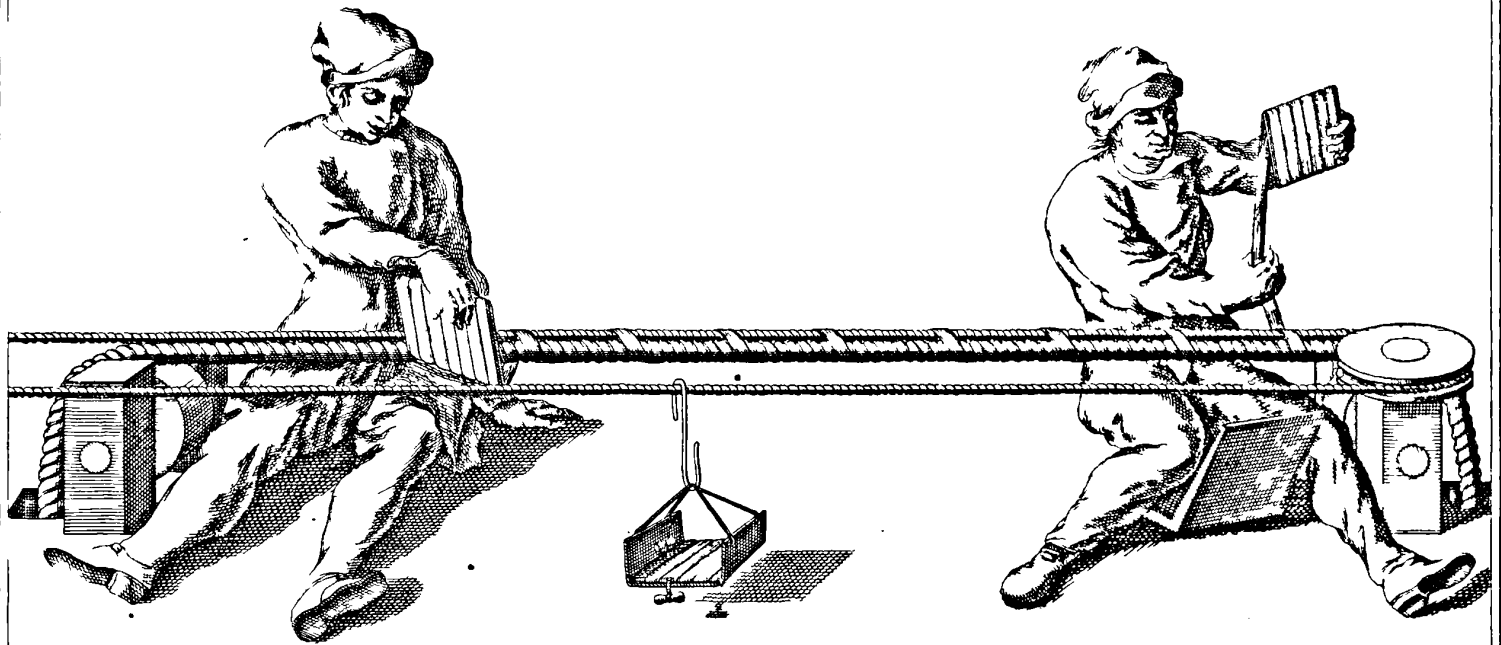
*Observations pour le Cabestan à Ecrevices.*

Il est à propos pour ne rien laisser à désirer pour la perfection, & pour l'utilité du Cabestan à écrevices qui concourt au Prix de 1741. de donner les nouvelles observations de son Auteur, sur sa construction & sur son usage.

Il est évident que rien ne pouvoit mieux convenir à l'usage du Cabestan à écrevices que le nouvel amarrage, à cause de la suppression des nœuds de la tournevire ; puisque la parfaite exécution de cet instrument dépendoit de la régularité de ces nœuds à se loger exactement entre les pinces des écrevisses ; & quoique cela n'eût pas été bien difficile, néanmoins c'étoit un assujettissement pour les y disposer, qu'il est toujours utile de supprimer.

L'on a déjà prévenu que les différentes mortaises dont ce Cabestan est percé pour loger les écrevices, pourroient faire craindre qu'il ne pût résister aux efforts qu'il doit soutenir contre la traction de l'ancre, & que pour le garantir du danger de se rompre, il convenoit de le renforcer par un renflement de quelques pouces dans cette partie. Mais l'on s'est aperçu qu'il pourroit se passer de cette précaution, attendu que ce Cabestan se trouve suffisamment renforcé







par les doubles pinces de l'écrevice , qui entrent dans les mortaises dans lesquelles elles sont comme autant de coins poussés par la pression de la tournevire ; l'effort de ces espèces de coins dans les mortaises , se partage dans deux directions presque opposées , l'une tendante vers le pivot , & l'autre vers la tête du Cabestan , semblable en cela à une voute à clavaux , dont l'effort de la clef & de la charge sur cette clef , fait sentir latéralement l'effet de sa pression vers les naissances. De cette manière le Cabestan ne sçauroit rompre puisqu'il ne pourroit pas plier , ni être séparé dans les directions opposées du pivot & de la tête ; parce que l'effort du coin par la pression du cordage , ne peut jamais avoir un effet si puissant.

Il étoit aussi nécessaire de garnir les rainûres des pinces d'écrevices par des doigts faits de petites cordes gauderonnées , & d'en couvrir pareillement les têtes d'écrevices , afin de ne point écorcher le cordage , & aussi pour pouvoir mieux le saisir & l'empêcher de riper. Mais l'on peut en user autrement , en se servant d'une étoffe large de 6 à 7 pouces faite exprés avec de petites cordes. La partie de la tournevire qui se trouve sur le Cabestan en seroit couverte sur les  $\frac{2}{3}$  de sa circonférence , du côté où elle fait pression , & par où elle se trouve saisie par les pinces. Cette étoffe de 6 à 7 pieds de long auroit les deux bouts réunis ou épissés ; elle quitteroit la tournevire sur le retour , pour revenir couvrir les parties successives de la tournevire , qui se mettent sur le Cabestan , & qui s'engagent dans les pinces. L'on voit par-là que la pression des pinces & l'attachement de la tête de l'écrevice , se feroit immédiatement sur cette étoffe , sans pouvoir aucunement endommager la tournevire. Un Matelot assis sur le pont auprès du Cabestan , dirigeroit & maintiendrait l'étoffe sur la tournevire.

Par le moyen de semblables étoffes , mais ayant plus d'épaisseur , l'on pourroit mettre sur ce Cabestan de plus petits cordages que la tournevire , pour d'autres usages du vaisseau , sans être contraint à cause de ce moyen d'y subs-

296 CABESTAN A ECREVICES, &c:  
tituer des pinces plus épaisses comme on l'avoit proposé.  
L'on a joint à ce Mémoire pour une plus grande intelligence de l'amarrage proposé, un dessein de cette manœuvre.

**F I N.**

# PIECES

SUR LES

BOUSSOLES D'INCLINAISON,

*ET SUR L'ATTRACTION*

DE L'AIMAN,

la Direction, la Déclinaison & l'Inclinaison de  
l'Aiguille Aimantée.

---

*Prix de 1743, 1744, & 1746.*

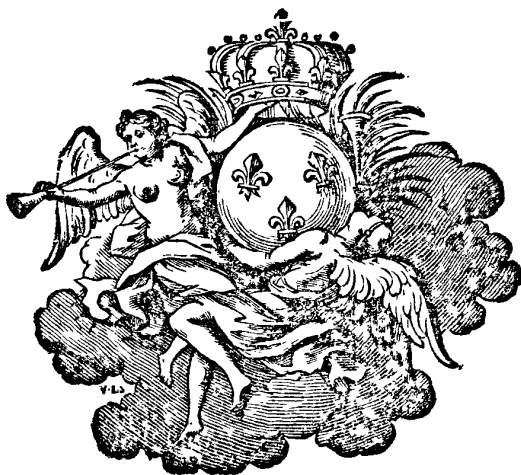


PIECES  
QUI ONT REMPORTÉ  
LE PRIX  
DE L'ACADEMIE ROYALE  
DES SCIENCES,

EN M. DCC. XLIII. ET M. DCC. XLVI.

*Sur la meilleure construction des Bouffoles d'Inclinaison; & sur l'Attraction de l'Aiman avec le Fer.*

Selon la fondation faite par feu M. ROUILLE' DE  
MESLAY, ancien Conseiller au Parlement.



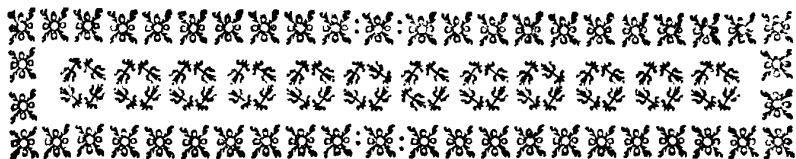
*A PARIS, rue Saint Jacques ;*  
Chez G. MARTIN, J. B. COIGNARD, & les  
Freres GUERIN, Libraires.

---

M. DCC. XLVIII.







## AVERTISSEMENT.

L'ACADEMIE Royale des Sciences proposée en 1741, pour sujet du Prix de 1743, la maniere de construire des Bouffoles d'Inclinaison, pour faire avec le plus de précision qu'il est possible, les Observations de l'Inclinaison de l'Aiguille aimantée, tant sur mer que sur terre; ce qui suppose des Bouffoles qui étant mises dans un même lieu, donneront sensiblement la même inclinaison. Ce Prix a été adjudgé à la Piece qui a pour devise :

*Gloria sequi debet non appeti,*  
 dont l'Auteur est M. DANIEL BERNOULLI,  
 des Académies de Petersbourg, de Bologne,  
 &c. & Professeur d'Anatomie & de Botanique  
 en l'Université de Basle.

La Piece qui a paru le plus approcher,  
 est celle dont la devise est :

*Nil turpius est Physico quàm fieri sine causa  
 quicquam dicere,*  
 qui est de M. EULER, Professeur de Mathé-

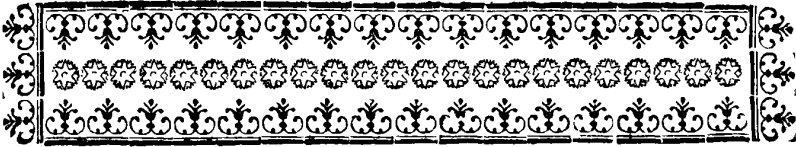
vj      *AVERTISSEMENT.*  
matiques à Pétersbourg, & de l'Académie  
des Sciences de la même ville.

Le sujet du Prix proposé pour 1742, étoit l'explication de l'Attraction de l'Aiman avec le fer, la direction de l'Aiguille aimantée vers le Nord, sa déclinaison & son inclinaison. L'Académie n'ayant trouvé aucune Piece parmi celles qui lui furent envoyées qui lui parût mériter le Prix, en rémit la distribution d'abord en 1744, & ensuite en 1746. Elle a crû devoir, en cette dernière année, partager le Prix que ces délais avoient rendu triple, entre trois Pieces qui lui ont paru y avoir un droit égal.

La première, est celle dont la devise est :  
*Quærendi defatigatio turpis est cum id  
quod quæritur sit pulcherrimum.*  
Elle est de M. EULER.

La devise de la seconde est :  
..... *Fluere à lapide hoc per multa necesse est  
Semina.*  
L'Auteur est M. DU TOUR., Ecuyer, Correspondant de l'Acad. Royale des Sciences.

La troisième qui a pour devise :  
*In sententia permaneto etenim nisi alia vi-  
cerit melior,*  
Est de M<sup>rs</sup>. DANIEL & JEAN BERNOULLI.



# CATALOGUE

*Des Ouvrages contenus dans ce Recueil.*

P I E C E S de 1743.

- I. **M**Émoire sur la manière de construire les Bouffoles d'Inclinaison ; pour faire avec plus de précision qu'il est possible, les Observations de l'Inclinaison de l'Aiguille Aimantée, tant sur mer que sur terre ; ce qui suppose des Bouffoles, qui, étant mises dans un même lieu, donneront sensiblement la même Inclinaison, par M. DANIEL BERNOULLI, des Académies de Petersbourg, de Bologne, &c. & Professeur d'Anatomie & de Botanique en l'Université de Basle. Page 1
- II. *De Observatione Inclinationis Magneticæ Dissertatio, Illustrissimæ Academiæ Regiæ Scientiarum Parisinæ æquissimo judicio, pro anno 1743 submissa; à DD. EULER, Matheseos Professore, è Societate Academiæ Imperialis Petropolitanae.* 63

P I E C E S de 1744.-1746.

- I. **D**issertatio de Magnete, à DD. EULER, Matheseos Professore, è Societate Academiæ Imperialis Petropolitanae, Page 1
- II. Discours sur l'Aiman, présenté à l'Académie Royale des Sciences, pour concourir sur le sujet proposé pour 1744; par M. DU TOUR, Ecuyer, Correspondant

III. Nouveaux Principes de Méchanique & de Physique,  
tendans à expliquer la Nature & les Propriétés de l'Ai-  
man, par M<sup>rs</sup> DANIEL & JEAN BERNOULLI, 115



M E M O I R E  
SUR LA MANIERE DE CONSTRUIRE  
L E S  
BOUSSOLES D'INCLINAISON;

*Pour faire , avec le plus de précision qu'il est possible ;  
les Observations de l'Inclinaison de l'Aiguille  
Aimantée , tant sur Mer que sur Terre ; ce qui  
suppose des Boussoles , qui , étant mises dans un  
même lieu , donneront sensiblement la même  
Inclinaison.*

Pour concourir au Prix de l'année 1743.

---

*Gloria sequi debet , non appeti.*

Par M<sup>r</sup>. DANIEL BERNOULLI, des Académies de Peters-  
bourg, de Bologne, &c. & Professeur d'Anatomie  
& de Botanique en l'Université de Bâle.

Prix. 1743.

A





# M E M O I R E

SUR LA MANIERE DE CONSTRUIRE

LES BOUSSOLES D'INCLINAISON,

Pour faire, avec le plus de précision qu'il est possible, les Observations de l'Inclinaison de l'Aiguille Aimantée, tant sur Mer que sur Terre ce ; qui suppose des Boussoles, qui, étant mises dans un même lieu, donneront sensiblement la même Inclinaison.

---

*Gloria sequi debet, non appeti.*

§.I. **I**L s'agit ici d'une question qui paroît d'abord extrêmement facile : mais cette première apparence de facilité se dissipe aussi-tôt qu'on y réfléchit plus sérieusement, & les difficultés s'augmentent à mesure qu'on s'y applique. Enfin, après avoir découvert toutes les difficultés, on se rapproche, par de

A ij

#### 4 MEMOIRE SUR LES BOUSSOLES

nouveaux efforts ; & s'il n'est pas possible d'atteindre au dernier degré de perfection , du moins pourra-t-on , si je ne me trompe , s'en approcher de fort près ; & je me flatte qu'on sera convaincu par ma méthode , qu'il n'est guères possible d'aller plus loin que je marquerai. Il me semble qu'une telle méthode , demande qu'on fasse une parfaite énumération de tous les obstacles qui peuvent se rencontrer dans l'exécution d'une Machine ; qu'on en sçache faire une juste évaluation ; qu'on connoisse tous les moyens possibles , soit de les éviter , soit de les diminuer , & enfin , qu'on ait une juste estime , fondée sur un grand nombre d'expériences , jusqu'où peut aller l'adresse & l'habileté des ouvriers dans la construction des machines qu'on leur propose. C'est le plan que je me suis proposé dans ce Mémoire.

§. 2. Dans les premières expériences qu'on a faites sur l'inclinaison de l'Aiguille aimantée , on les trouvoit fort inégales , quoique prises sous les mêmes circonstances , à la même heure , & avec la même aiguille ; on a reconnu aussi-tôt que cette inégalité étoit uniquement causée par le frottement de l'axe sur lequel l'aiguille devoit se tourner , pour se mettre dans l'équilibre : on a donc tâché de remédier à cet inconvénient , & on y a assez bien réussi. Dès-lors on n'a pas manqué de trouver à peu près la même inclinaison avec la même aiguille ; mais c'est là aussi tout ce qu'on a pû encore faire. Qu'on fasse plusieurs différentes aiguilles , & qu'on les fasse avec tout le soin imaginable , on trouvera autant de différentes inclinaisons qu'on aura d'aiguilles ; ces différences seront tantôt plus , tantôt moins grandes ; c'est le hazard qui en décide : on trouvera même ces inégalités dans les aiguilles faites d'un même acier , frottées contre le même Aiman & de la même façon ; les aiguilles pourront être encore d'une longueur , épaisseur & figure tout-à-fait égales , sans que le succès en soit plus heureux. Ces inégalités d'inclinaison pourront aller jusqu'à 10 ou 12 degrés , témoin ce qu'en marque M. Pierre van



## D'INCLINAISON.

3

Muschenbroek, un des plus habiles Observateurs de notre siècle. Je tâcherai d'en découvrir la cause, après quoi nous serons beaucoup plus à portée d'y remédier.

§. 3. Je pose d'abord en fait, que s'il étoit possible de remédier entierement à tous les inconvéniens, toutes les Bouffoles devroient marquer la même inclinaison à la même heure & dans un même lieu, tout comme elles montrent toutes la même déclinaison. Je crois que personne ne doutera de cette supposition, d'autant qu'il n'y a aucune expérience qui lui soit contraire. Sans cette hypothèse, l'objet de nos recherches seroit une véritable chimere. Mais que faudra-t-il faire pour construire ainsi les aiguilles? Il est aisé de voir qu'on doit satisfaire à ces deux points :

1°. Que l'aiguille soit parfaitement mobile, de sorte qu'elle tourne librement sur son axe, sans souffrir le moindre frottement.

2°. Que l'action de la pesanteur Magnétique (j'appelle ainsi la force qui agit sur l'aiguille aimantée, & qui doit la tirer ou pousser dans sa juste inclinaison) agisse toute seule, sans être altérée par aucune autre force, sur-tout par celle de la pesanteur naturelle, qui est commune à tous les corps.

Voilà deux points qui méritent quelques réflexions préliminaires, & que j'ai cru devoir examiner avec toute l'exactitude possible.



I. *Nouvelles Reflexions sur les Frottemens , qui me paroissent essentielles à notre sujet.*

§. 4. **T**OUT corps qui glisse sur une surface, souffre une résistance, qu'on appelle Frottement. Si l'on tire du centre de gravité du corps une ligne verticale, on pourra considérer la force du frottement comme concentrée au point d'intersection de ladite verticale, avec la surface sur laquelle se fait le mouvement. Le moindre mouvement fait exercer au frottement toute la force, & un parfait repos la lui fait perdre tout d'un coup; de sorte que l'idée du frottement est inséparablement attachée à celle du mouvement réel: on connoît assez la nature de ce frottement, & l'effet qu'il peut produire sur le mouvement des corps, pour le retarder & l'arrêter.

§. 5. Il en est tout autrement des corps sphériques ou cylindriques, qui glissent & roulent en même-tems: j'ai remarqué qu'il faut ici considérer nécessairement deux sortes de frottemens, qui agissent tout différemment; ce n'est qu'en considérant ce double frottement, qu'on peut déterminer, par exemple, le mouvement d'une bille sur un Billard, & expliquer plusieurs phénomènes fort singuliers, qui paroissent d'abord contraires à tout ce que la Méchanique a de mieux démontré & de plus constant.

§. 6. Pour connoître les deux différentes espèces de frottemens, dont je viens de parler, considérons le cercle  $ABCD$  (*Fig. 1.*) sur un plan horizontal  $MN$ . Si ce cercle a d'abord un simple mouvement parallèle & progressif de  $A$  vers  $N$ , il faudra supposer au point  $A$  une puissance dans la direction  $AM$ , qui fasse le même effet que le frottement: mais il est clair que cette puissance fera rouler peu à peu le cercle dans le sens  $ABCD$ ; le centre d'effort de cette puissance, n'est point au centre du cercle  $E$ , ni

au centre de gravité, si le cercle n'étoit pas homogène, mais au point  $F$ , qui seroit le centre d'oscillation, en supposant le cercle mobile autour du point  $A$ , c'est-à-dire que chaque point entre  $A$  &  $F$ , souffre une impression du côté  $AM$ , & que chaque point entre  $F$  &  $C$  éprouve une impression contraire, & que le seul point  $F$  ne sent aucune impression. C'est ici une nouvelle propriété de très-grande utilité, & presque uniquement nécessaire pour déterminer le mouvement des corps qui n'ont aucun point d'appui, & dont les parties souffrent des impressions inégales : j'en ometts cependant la démonstration, parce qu'elle n'appartient pas assez à notre sujet.

§. 7. Le frottement que nous avons considéré devoir faire le même effet qu'une puissance appliquée au point  $A$ , suivant la direction  $AM$ , n'est pas le seul qui s'oppose & qui change le mouvement du cercle. Pour s'en assurer, on n'a qu'à combiner toutes les causes qui peuvent produire le frottement. Il est facile d'en concevoir plusieurs d'une nature fort différente : entre autres on peut concevoir sur les surfaces pelues & vilieuses de petits filamens à plier, & sur les surfaces dures & polies, de petites éminences pointues, qui prêtent, ou se courbent, ou qui sont comprimées ; ce sont là tout autant de petits ressorts que le corps doit bander en passant par-dessus, & qui, après avoir été bandés, ne se remettent jamais entierement dans leur premier état. Je représente dans la Figure un de ces ressorts par  $mn$  : on peut ensuite considérer  $mn$  comme perpendiculaire à la surface  $AN$ , ou comme oblique. Dans le premier cas, il tend à faire tourner le cercle autour du point  $A$  dans la direction  $ADBC$  ; & dans le second, outre cet effet, il poussera encore le point  $A$  vers  $M$  ; & augmentera par-là le frottement expliqué dans l'article précédent, qui est le seul qu'on a accoutumé de considérer. Je dis que par cette raison, le premier frottement qui agit sur le point  $A$  dans la direction  $AM$  est augmenté, parce qu'il provient en même tems de plusieurs autres causes, qui sont la

## 8 MEMOIRE SUR LES BOUSSOLES

plus souvent de beaucoup plus grande conséquence. De-là il est évident, qu'il faut considérer deux sortes de frottemens, ou à leur place, deux puissances, dont l'une appliquée au point  $A$ , le tire ou pousse vers  $M$ , & l'autre tend à tourner le cercle autour du point  $A$  dans le sens  $ADBC$ . J'appellerai le premier frottement *parallele*, & le second *perpendiculaire*. Sans le secours de ce double frottement, il est impossible d'expliquer la nature du mouvement des corps roulans; & par son moyen, on peut rendre raison de tout ce que l'expérience nous fait remarquer sur ce mouvement.

§. 8. Le frottement perpendiculaire expliqué dans le précédent article, tendant à tourner le cercle autour du point  $A$ , il est clair que pour lui substituer une puissance équivalente, il faut la placer tellement que son centre d'effort soit précisément au point  $A$ ; c'est-à-dire, que le point  $A$  n'en souffre aucune impression. Il faut donc, en vertu du théorème indiqué au sixième paragraphe, que le point auquel cette puissance doit être appliquée, soit tel que si le cercle étoit suspendu dans ce point, le centre d'oscillation tombe au point  $A$ . Donc ce point cherché est précisément au point  $F$  déterminé au sixième paragraphe, (car si le point  $F$  est le centre d'oscillation pour le point de suspension  $A$ , celui-ci est réciproquement le centre d'oscillation pour le point de suspension  $F$ , propriété que M Huygens a démontrée le premier) & cette puissance appliquée au point  $F$ , doit être censée tirer ou pousser dans le plan du cercle, & parallèlement à la surface sur laquelle il roule & glisse.

§. 9. Il suit de ces idées, que pour déterminer le mouvement variable du cercle, il faut considérer constamment au lieu du frottement *parallele*, une puissance en  $A$ , représentée par  $AG$ , & à la place du frottement *perpendiculaire*, une puissance en  $F$ , représentée par  $FH$ ; & que ces deux puissances produiront les mêmes variations dans le mouvement du cercle que fait ce double frottement. Les deux

deux dites puissances peuvent devenir négatives l'une par rapport à l'autre, de même que les deux mouvemens. Nous voyons, par exemple, qu'une bille pressée avec le doigt contre le Billard, après s'être échappée, avance d'abord, & puis recule; mais ce passage de l'affirmatif au négatif, se fait bien différemment dans les deux cas; le mouvement passe par tous les degrés intermédiaires possibles, au lieu que le frottement conserve toujours une certaine grandeur, & puis passe tout d'un coup de l'affirmatif au négatif par faut, de sorte qu'on ne sçauroit employer le principe de continuité, & qu'il faut nécessairement diviser le Problème en autant de parties qu'il se fait de changemens.

§. 10. Quelque dures & polies qu'on fasse les surfaces du corps, & du plan qui le soutient, & quelque autres mesures qu'on prenne pour diminuer le frottement parallèle, il restera toujours fort considérable, & assez pour amortir presque entièrement l'action de la pesanteur Magnétique dans les aiguilles aimantées. Le calcul fondé sur des expériences très-avérées, le démontre assez: mais s'il n'est pas possible de le diminuer assez, on peut l'ôter entièrement; car un corps qui roule parfaitement sans glisser, change de place sans souffrir le moindre frottement parallèle. Ce roulement parfait d'un Cylindre sur un plan, demande que chaque point de la circonférence décrive une portion de cycloïde, ni allongée ni raccourcie; dès-lors le frottement parallèle, représenté par la puissance  $AG$ , s'évanouit entièrement, parce que ce frottement n'existe qu'avec le mouvement, & que dans ce cas, le point  $A$  reste toujours dans un repos parfait. Il ne reste plus alors que le frottement perpendiculaire.

§. 11. Cette considération seule nous fait voir combien il est nécessaire de ne point négliger cette seconde sorte de frottement, puisque sans elle, un corps roulant sur un plan horizontal, devoit conserver toute sa vitesse, ou du moins n'en rien perdre sensiblement; car la résistance de l'air n'est ici presque d'aucune importance, & n'enleve

*Prix.* 1743.

**B**

jamais aux corps leur vitesse entière, si il est vrai que la résistance des fluides, tels que l'air, suit la proportion des quarrés des vitesses. Mettez aussi un globe sur un plan horizontal, puis inclinez ce plan peu à peu, & vous verrez que le globe ne roulera pas d'abord en bas, & qu'on pourra souvent incliner le plan de plusieurs degrés, avant que le globe commence à rouler: ce n'est cependant pas ici la puissance *AG* qui empêche le globe de rouler aussi-tôt que le plan n'est plus parfaitement horizontal, ce n'est que l'autre puissance *FH* qui produit cet effet.

§. 12. Le frottement perpendiculaire est donc très-réel, & il subsiste même dans les corps roulans; mais il est en même tems d'une nature à pouvoir être rendu presque insensible, ce que plusieurs expériences confirment; car on ne sçauroit l'attribuer qu'aux petits brins, filamens ou éminences, lesquels sont pliés, courbés ou tendus comme autant de petits ressorts. Mais toutes ces causes ne peuvent guères avoir lieu, lorsque les surfaces sont bien polies, & les corps bien durs, parce que de cette maniere on ôte tous les obstacles, & que l'attouchement ne se fait que comme dans un point mathématique; aussi ne voit-on pas alors que par des roulemens continuels les surfaces s'usent le moins du monde, pendant que tout autre mouvement les change considérablement.

§. 13. Ce que la raison nous dicte à cet égard, toutes les expériences le confirment. Mettez un globe d'acier bien poli sur une glace de miroir, vous aurez beaucoup de peine à mettre la glace assez horizontalement, pour que le globe s'y arrête sans rouler, pendant qu'un autre corps qui ne sçauroit descendre qu'en glissant, ne descendra qu'après avoir beaucoup incliné la glace; par où l'on connoît que le frottement parallele fait toujours une partie considérable du poids entier du corps. Une verge soutenue par un Cylindre d'acier, dont les deux extrémités portent sur deux tablettes horizontales, continue ses balancemens plusieurs heures de suite; & les diminutions peu sensibles dans les

balancemens, doivent être attribuées ici plutôt à la résistance de l'air, qu'au frottement du Cylindre, qui roule sur les tablettes, alternativement d'un côté & d'autre.

§. 14. Moyennant donc ces précautions & quelques autres, on pourra diminuer le frottement qui reste aux corps roulans, jusqu'à le rendre presque insensible; & j'ai remarqué que toutes les machines faites & décrites par le célèbre M. Graham, sont fondées sur ces principes, lorsqu'il s'agissoit d'éviter scrupuleusement les moindres frottemens. J'avoue cependant qu'il en reste toujours quelque peu: nous verrons dans l'application de ces principes, de quelle conséquence il peut être, & s'il vaut la peine d'y faire attention.

## II. *Réflexions sur la maniere d'empêcher la Pesanteur naturelle d'altérer la Pesanteur Magnétique.*

§. 15. **O**N sçait que lorsque chaque point d'un corps est tiré avec une force égale sous des directions parallèles, on peut déterminer une ligne, dans la direction de laquelle une puissance opposée & égale à la somme de toutes les puissances qui tirent les points intégrans du corps, retient tout le système en équilibre. On sçait aussi qu'il y a dans cette ligne un point tel, qu'en tournant le corps autour de ce point en quel sens qu'on voudra, l'équilibre se conserve toujours. Ce point est appelé le centre de gravité; il n'existe pas à la vérité dans toutes les hypothèses qu'on peut former sur la pesanteur; mais on démontre dans la Méchanique, qu'il existe dans l'hypothèse ordinaire, & comment on en doit déterminer la position.

§. 16. On voit par-là d'abord deux manieres de détruire toute l'action de la pesanteur sur les corps, sans leur ôter la mobilité.

B ij

## 12 MEMOIRE SUR LES BOUSSOLES

La premiere est de ne laisser aux corps qu'un mouvement autour de leur centre de gravité, qui demeure toujours dans sa place.

La seconde consiste à laisser aux corps un tel mouvement que le centre de gravité, quoique mobile, soit cependant toujours dans la ligne verticale, qui passe par le point d'appui.

§. 17. La premiere étoit celle qui se présenteoit d'abord le plus naturellement à l'esprit ; mais comme elle est inféparable du frottement parallele, ce qui est assez clair par soi-même, je ferai voir qu'elle ne sçauroit être mise en usage avec tant soit peu de précision. La voie d'exclusion est la plus sûre pour parvenir aux meilleures machines, qui doivent faire un certain effet qu'on se propose, & l'unique pour démontrer que l'on y est parvenu.

Ces sortes d'examens doivent toujours être fondés sur des expériences. J'en pourrois citer des miennes, tant sur ce point, que sur bien d'autres ; mais comme nous ne manquons pas d'expériences faites avec toute l'exactitude possible, je les préférerai aux miennes, qu'on pourroit, avec raison, tenir pour suspectes dans cette occasion. Je me propose de chercher la force de la pesanteur Magnétique, pour pouvoir la comparer avec le frottement parallele, & pour en déduire ensuite, de combien ce frottement peut tout seul détourner l'aiguille aimantée de sa juste inclinaison.

§. 18. Il ne s'agit pas ici de déterminer exactement la pesanteur Magnétique dans les aiguilles aimantées : elle est très-différente dans toutes les aiguilles ; il seroit même difficile de la connoître dans une seule aiguille donnée avec justesse, si l'on ne s'y prend d'une nouvelle façon, parce qu'il y a un concours d'empêchemens, qu'on n'a pas assez pensé à prévenir. Mais je ne demande ici qu'une détermination qui puisse nous servir d'exemple, & qui ne soit pas tout-à-fait incongrue : voici donc quelques expériences qu'on peut considérer ici.



M. Whiston ayant pris une aiguille aimantée de 4 pieds, dont le poids étoit de  $4012 \frac{3}{8}$  grains, & qui marquoit à Londres une inclinaison de  $75^{\circ} 10'$ , a trouvé qu'on pouvoit la remettre dans sa situation horizontale avec le petit poids de  $1 \frac{1}{8}$  grains, mis à l'extrémité Méridionale de l'aiguille.

M. Muschenbroeck s'étant servi d'une aiguille de 4 pieds; pesant 6105 grains, a trouvé qu'il falloit  $1 \frac{1}{2}$  grains pour rétablir l'équilibre horizontal sous les mêmes circonstances que dans l'expérience de M. Whiston. L'inclinaison de cette aiguille observée à Utrecht, étoit de  $67^{\circ}$ .

Ces deux expériences sont assez conformes entre elles; la premiere marque, que pour détourner l'aiguille d'un angle de  $75^{\circ} 10'$  de sa situation naturelle, il falloit  $\frac{1}{3564}$  du poids de l'aiguille, en agissant sur un levier de deux pieds: la seconde fait voir, que pour détourner l'aiguille de  $67^{\circ}$  de sa position naturelle, il falloit  $\frac{1}{4070}$  du poids de l'aiguille, agissant encore sur un levier de deux pieds. La premiere donne la vertu Magnétique un peu plus grande, par rapport à la pesanteur naturelle, que la seconde: cependant ceux qui sont au fait de ces sortes d'expériences, admireront la conformité de ces deux expériences, & ne l'attribueront en partie qu'à un pur hazard. Je remarquerai ci-dessous, une circonstance qui nous fera voir que cette méthode doit naturellement donner la force de la pesanteur Magnétique plus petite qu'elle n'est: je me tiendrai donc plutôt à l'expérience suivante, qui est certainement plus sûre pour notre dessein. Elle consiste à observer le tems d'un nombre donné d'oscillations de l'aiguille, dans le plan du méridien Magnétique. La voici. M. Muschenbroeck, se servant de la même aiguille que ci-dessus, lui fit faire de petites oscillations dans le plan du méridien Magnétique. Les premieres excursions étoient de  $10^{\circ}$ , sçavoir  $5^{\circ}$  de chaque côté de l'équilibre. Les oscillations diminuoient peu à peu, à cause du frottement & de quelques autres obstacles; mais à mesure qu'elles diminuoient,

## 14 MEMOIRE SUR LES BOUSSOLES

elles s'accéléroient en même tems, & s'accéléroient beaucoup plus que les loix Mécaniques ne paroissent le demander. Les dix premières vibrations se faisoient dans 212 secondes de tems, les dix suivantes dans 192 secondes, & puis encore les dix suivantes, dans 174 secondes. *Voyez sa Diff. sur l'Aiman, p. 196.*

Je supposerai donc, comme cette expérience paroît l'exiger, que la plus petite oscillation se soit faite dans 17". Si l'on cherche à présent quelle force accélératrice vers le pôle Magnétique, il faut supposer à l'extrémité de l'aiguille, pour lui faire faire une oscillation fort petite dans 17" de tems, on la trouvera de  $4\frac{2}{3}$  grains, c'est-à-dire, que la force qui tire ou pousse l'aiguille perpendiculairement vers sa position d'équilibre, appliquée à l'extrémité de l'aiguille, doit être censée par-tout égale au poids de  $4\frac{2}{3}$  grains, multiplié par le sinus de l'angle de l'éloignement de l'aiguille de sa position naturelle, & divisé par le sinus total. Je me tiendrai à ce dernier résultat; je supposerai même 5 grains au lieu de  $4\frac{2}{3}$ , pour mettre le système que je veux rejeter, sur le pied le plus favorable.

§. 19. Supposons donc à présent qu'on veuille mettre en usage ladite aiguille de M. Muschenbroeck, en la rendant mobile autour d'une ligne qui passe par son centre de gravité; je supposerai qu'on puisse éviter tous les inconvéniens, excepté celui du frottement parallèle, qui est ici inévitable. Il est vrai que plus on diminue l'axe qui porte l'aiguille, plus on diminue l'effet du frottement, parce qu'il agit sur un plus petit levier, qui est le rayon dudit axe, ou des tourillons mobiles dans des viroles; mais il faut que ces tourillons aient assez d'épaisseur pour soutenir le poids de l'aiguille. Nous ne donnerons à leur rayon qu'un quart de ligne; je crois que c'est tout ce qu'on pourra faire, puisqu'ils doivent soutenir un poids de plus de 6000 grains, sans se plier le moins du monde; nous supposerons encore que le frottement ne fasse que la dixième partie du poids de l'aiguille, il fera encore égal à  $610\frac{1}{2}$  grains, & comme

il agit sur un levier d'un quart de ligne, son effort sera  $= 152 \frac{r}{8}$ , & dès que cet effort sera plus grand que celui de la vertu Magnétique, l'aiguille n'aura plus de jeu. Si l'on nomme  $x$  le sinus de l'angle compris entre la direction de l'aiguille quelconque & sa direction naturelle, &  $r$  le sinus total; la force de la vertu Magnétique sera par le précédent article, égale à 5 grains multipliés par  $\frac{x}{r}$ ; & comme cette force agit sur un levier de 2 pieds, ou de 288 lignes, l'effort de la vertu Magnétique sera  $= \frac{1440x}{r}$ ; faisons cet effort égal à celui du frottement, nous aurons  $\frac{1440x}{r} = 152 \frac{r}{8}$ ; & par conséquent  $\frac{x}{r} = 0,106$ , qui répond à un angle de  $6^{\circ} 6'$ , d'où l'on voit qu'aussi-tôt que l'aiguille se trouve n'être plus éloignée de sa juste position que de  $6^{\circ} 6'$ , elle n'aura plus de mouvement; elle pourra donc varier de  $12^{\circ} 12'$ . Cette grande variation dans des observations faites avec la même aiguille, au même endroit, à la même heure, enfin sous les mêmes circonstances, qui provient du seul frottement, sans faire encore attention aux autres empêchemens, & cela sur des positions les plus favorables qu'il soit permis de faire, tout cela doit sans doute nous faire abandonner entièrement cette première manière de mettre en usage les aiguilles d'inclinaison. Il ne nous reste donc que la seconde, que j'ai exposée au seizième paragraphe, & que je vais examiner.

§. 20. Cette seconde manière d'empêcher la pesanteur naturelle d'altérer la pesanteur Magnétique, consiste à faire en sorte que le centre de gravité de l'aiguille & le point d'appui soient toujours dans une même ligne verticale. On peut remplir cette condition, en accordant aux tourillons de l'aiguille un simple roulement: si l'aiguille devoit faire le moindre glissement pour se mettre dans sa juste position, nous tomberions toujours dans l'inconvénient du frottement parallèle, que nous venons de démontrer être:

## 16 MEMOIRE SUR LES BOUSSOLES

beaucoup trop grand pour pouvoir nous assurer de l'inclinaison de l'aiguille à plusieurs degrés près.

§. 21. Il s'agit donc d'examiner de quelle façon on peut rouler un corps d'une surface courbe sur une autre surface, afin que le centre de gravité du corps & le point d'appui soient toujours dans une ligne verticale. On voit bien que quelque convexité qu'on donne au corps, on pourra toujours déterminer la courbure de la surface, qui doit soutenir le corps, telle qu'on satisfasse à ce problème ; mais pour peu qu'on fasse attention à notre sujet, on voit aussi que la manière la plus simple est la meilleure, & même la seule possible dans la pratique ; c'est de faire rouler un Cylindre homogène sur un plan horizontal. Cette réflexion nous fait connoître, que tout le succès qu'on peut attendre de notre problème, dépend d'une aiguille affermie à deux tourillons arrondis, qui portent sur deux tablettes horizontales : par-là on pourra éviter tout le frottement parallèle, comme je l'ai démontré au dixième paragraphe. Mais cette manière est encore sujette à plusieurs inconvéniens ; cependant comme elle est l'unique qui nous reste, ( par les paragraphes 16 & 19. ) nous sommes naturellement conduits à examiner ces inconvéniens l'un après l'autre, à les diminuer autant qu'il est possible, & à calculer l'effet qu'ils pourront encore produire, au cas qu'on ne puisse pas y remédier entièrement.



*Examen*

*Examen des Aiguilles aimantées portées par des Tourillons sur des Tablettes horizontales ; de toutes les causes qui peuvent faire varier leur inclinaison, & des remèdes qu'on peut apporter à ces causes.*

§. 22. **L**A construction de ces aiguilles demande que les tourillons soient exactement arrondis ; que leur axe commun perpendiculaire à l'aiguille, passe exactement par son centre de gravité ; que les deux tablettes qui soutiennent les tourillons soient dans un même plan, & que le plan soit parfaitement horizontal. Ces conditions paroissent bien faciles à remplir, & elles le sont en effet assez, pour rendre les erreurs insensibles ; mais ces erreurs insensibles par elles-mêmes, & sans conséquence dans toute autre occasion, sont encore de grande importance dans notre sujet, & capables de causer toutes les variations qu'on a remarquées jusqu'ici dans les observations de l'inclinaison faites avec différentes aiguilles. Cependant si ces petites erreurs peuvent causer de grandes variations dans les différentes aiguilles, elles n'en peuvent causer aucune sur une même aiguille. Si donc les observations faites successivement avec la même aiguille, ne s'accordent pas tout-à-fait, ce n'est absolument que le frottement perpendiculaire qui en peut être la cause.

§. 23. Il faut donc d'abord éviter le plus scrupuleusement qu'il est possible ce petit frottement : on peut le faire en polissant avec grand soin tant les tourillons que les tablettes, & en les durcissant autant qu'on le peut faire. On a remarqué aussi, qu'un corps roule plus librement sur un autre, lorsqu'ils sont d'une matière différente ; on pourra donc faire les tourillons d'acier, & les tablettes d'un morceau de glace. De cette manière on pourra rendre ce frottement insensible, non seulement en soi-même, mais

*Prix. 1743.*

**C**

encore relativement aux observations de l'inclinaison de l'aiguille aimantée ; car avec ces précautions , une même aiguille reprend à chaque fois à peu près la même position, après en avoir été détournée. Si elles s'éloignent l'une de l'autre , ce n'est ordinairement que de quelques minutes ; lorsqu'elles s'éloignent le plus de l'inclinaison moyenne , cela peut aller jusqu'à un degré. Voici ce qu'en dit M. Muschenbroeck , dans sa Dissertation sur l'Aiman , p. 192. & 193 , en parlant de cette même aiguille que j'ai décrite au paragraphe 18. *Je l'ai*, dit-il , *souvent détournée de sa position , pour voir si son inclinaison seroit toujours la même ; elle se remettoit à 67° , quelquefois pourtant à 66° & d'autres fois à 68° , ou bien à quelques minutes au - dessous ou au - dessus de 67° .* Mais je suis sûr qu'on pourra diminuer beaucoup davantage ces petites erreurs. Nous voyons en effet , dans les Transactions Philosophiques, N°. 389, des observations faites par M. Graham , que personne n'a pû encore égaler dans la perfection des machines , par lesquelles on voit que les observations faites tout de suite , ne sont jamais éloignées les unes des autres au-delà de 4 ou 5 minutes. On peut encore juger par une autre circonstance , de la préférence que méritent ici les expériences de M. Graham , par-dessus celles de M. Muschenbroeck ; c'est que l'un & l'autre de ces illustres Auteurs , faisant balancer dans le plan du méridien Magnétique une aiguille aimantée , en commençant par des excursions de 10° , ces oscillations étoient encore fort sensibles au bout d'une heure dans les expériences de M. Graham , & qu'elles ne l'étoient apparemment plus dans celles de M. Muschenbroeck , après 30 ou 40 oscillations , qui répondoient à 9 ou 12 minutes de tems , ce qu'on doit naturellement juger , de la façon qu'il en parle dans sondit ouvrage , p. 196. Cependant , l'aiguille dont se servoit M. Graham , étoit beaucoup plus legere que celle de M. Muschenbroeck , & auroit par conséquent dû finir ses oscillations beaucoup plus vite. Ces expériences font voir qu'il ne dépend que de l'adresse de l'ouvrier ,

qu'on puisse négliger sans peine les petites erreurs causées par le frottement. Je suis sur même qu'on peut les rendre tout-à-fait imperceptibles, par de petits coups de doigt plus ou moins forts, selon que la machine entière le permettra, tout comme on fait aux Baromètres qui ont trop de frottement : on ne manquera jamais par là de mettre l'aiguille dans son véritable point d'équilibre. Si M. Muschenbroeck avoit pris cette petite précaution, il auroit toujours remis l'aiguille à  $67^{\circ}$ , pendant qu'elle s'en éloignoit quelquefois, quoique rarement, d'un degré entier, mais jamais davantage. Au reste, notre remarque qui consiste à faire rouler les tourillons de l'aiguille sur des tablettes, au lieu de les faire tourner sur leur axe dans les viroles, a déjà été faite & suivie par lesdits Messieurs Graham & Muschenbroeck ; je n'ai eu que le plaisir de me rencontrer sur ce point avec ces deux Auteurs, que je n'avois pas encore consultés, lors de mes premières réflexions sur cette matière. Je me flatte que ceux qui auront lû avec attention tout ce que j'ai dit jusqu'ici, seront persuadés que la méthode que j'ai suivie dans ces recherches, a dû m'y conduire sans autre guide, & qu'avec cette méthode, je n'ai pû encore m'écarter du chemin qui doit conduire à la machine que je cherche.

§. 24. De cette maniere, on peut obtenir un parfait accord entre toutes les observations faites tout de suite avec la même aiguille. Mais il s'en faut bien que nous ayons remédié par-là à tous les inconvéniens ; car ce point d'équilibre auquel chaque aiguille se fixera constamment, peut être faux. Il ne répondra pas toujours au pôle Magnétique ; il pourra s'en éloigner considérablement, plus ou moins, suivant la nature des petites erreurs, qu'il a été impossible jusqu'ici d'éviter dans la construction des Boussoles d'inclinaison ; & c'est-là la raison pourquoi chaque Boussole montre ordinairement une inclinaison différente de celle des autres. Voyons donc à présent quelles sortes d'erreurs on pourra commettre dans la construction des Boussoles

Cij

d'inclinaison, dont les tourillons roulent sur des tablettes ; puisque nous avons vû que c'est la seule maniere d'en tirer parti qui nous reste. Examinons en même tems quelles limites on doit supposer à ces erreurs, pour qu'elles puissent causer ces grandes variations, qu'on remarque encore dans les Boussoles d'inclinaison, malgré toutes les précautions qu'on aura prises dans leur construction ; nous verrons par-là si l'on peut espérer encore un parfait accord entre les Boussoles, sans qu'on emploie de nouvelles maximes dans leur construction, & s'il est possible d'éviter assez pour cet effet lesdites erreurs.

§. 25. Commençons cet examen par l'article qui est le plus essentiel : c'est que l'axe des tourillons passe exactement par le centre de gravité de l'aiguille. Si c'est ici le point le plus essentiel, il est fâcheux qu'il soit en même tems le plus difficile à atteindre ; les plus habiles ouvriers y échouent, selon leur propre aveu, & ils ont été réduits à se contenter d'y avoir mis toute l'attention imaginable. Il y a même une circonstance qui rend cette condition impossible en elle-même, comme on verra ci-dessous. Il est vrai que les erreurs que l'on ne pourra plus éviter, seront extrêmement petites ; mais elles ne laisseront pas de produire des effets fort sensibles : c'est ce que je vais montrer par l'exemple de l'aiguille de M. Muschenbroeck, décrite au paragraphe 18, longue de 4 pieds, pesant 6105 grains, & la force Magnétique entiere de laquelle nous avons démontré vers la fin du même paragraphe, être égale à peu près au poids de 5 grains, mis à l'extrémité de l'aiguille.

Soit donc la petite distance du centre de gravité à l'axe des tourillons =  $a$  ; on voit que sans l'action de la pesanteur Magnétique, l'aiguille devrait toujours se mettre dans une telle situation, que le centre de gravité réponde verticalement à la ligne d'appui : si alors la direction de l'aiguille étoit précisément la même que la direction de la pesanteur Magnétique, il n'en rejailliroit aucune erreur sur l'inclinaison de l'aiguille ; mais si la direction de l'aiguille



étoit dans cette situation éloignée de  $90^\circ$  de la direction de la pesanteur Magnétique, il faudroit alors, que pour que l'aiguille marquât la juste inclinaison, elle tournât de  $90^\circ$ , & cela ne peut se faire sans que le centre de gravité s'éloigne du plan vertical, qui passe par la ligne d'appui de toute la distance  $\alpha$ : c'est en ce cas que la petite erreur en question produira l'effet le plus considérable, en augmentant l'inclinaison dans nos pays, si le centre de gravité se trouve alors du côté Boreal de l'aiguille, & en la diminuant, si elle se trouve du côté opposé. Soit le sinus de l'angle que la direction de l'aiguille fera avec la direction de la pesanteur Magnétique, ou avec l'axe Magnétique,  $= x$ , le sinus total  $= r$ ; nous aurons, en vertu du paragraphe 19, la force Magnétique  $= \frac{5x}{r}$  qui agit sur un levier de deux pieds, ou de 288 lignes, & qui est contrebalancée par la force du poids de l'aiguille de 6105 grains, qui agit sur le levier  $\alpha$ , que j'exprimerai aussi en lignes; nous avons donc  $\frac{5 \times 288 \times x}{r}$   $= 6105 \alpha$ ; c'est-à-dire,

$$\alpha = \frac{288x}{1221r}.$$

Si je veux me servir de cette formule, pour voir de combien le centre de gravité devrait être éloigné de l'axe des tourillons, pour pouvoir détourner l'aiguille de  $5^\circ$  de la juste inclinaison, il faudra mettre pour  $x$  le sinus de  $5^\circ$ , c'est-à-dire,  $\frac{x}{r} = 0,08715$ , & on trouvera  $\alpha = 0,0205$ , qui fait environ la  $\frac{1}{42}$  partie d'une ligne. Si donc une si petite erreur peut passer pour inévitable, quelque soin qu'on y prenne, il sera vrai que l'aiguille pourra manquer de  $5^\circ$  dans l'inclinaison qu'elle montre; & comme cette erreur peut arriver au-dessous ou au-dessus de la juste inclinaison, on voit que différentes aiguilles d'inclinaison peuvent varier de dix degrés, tant qu'on ne pourra pas s'assurer au-delà de la quarante-neuvième partie d'une ligne de la place de son centre de gravité. Je

ferai voir dans la suite, qu'une si petite erreur est tout-à-fait inévitable dans la construction des meilleures Boussoles d'inclinaison qu'on se soit encore avisé de faire, à cause que dans les simples aiguilles le centre de gravité varie, par rapport aux différentes inclinaisons de l'aiguille. Mais avant que d'examiner ce point, je ferai voir quelle est la meilleure maniere d'équilibrer exactement les aiguilles.

§. 26. Pour équilibrer une aiguille le plus exactement qu'il est possible, il fera bon d'y ajouter au milieu deux languettes de cuivre, perpendiculairement à l'aiguille, l'une au-dessous & l'autre au-dessus. Le plan qui passe par les extrémités de l'aiguille & par celles des deux languettes, doit être perpendiculaire à l'axe des tourillons; il faut aussi faire en sorte qu'après avoir aiguisé en pointes les quatre bouts, les deux lignes tirées de part & d'autre par les bouts opposés, se coupent exactement dans l'axe des tourillons. On tâchera d'équilibrer le système, sans toucher d'abord aux extrémités de l'aiguille & des languettes, & quand on l'aura fait, autant qu'il est possible, on placera l'aiguille horizontalement, & en limant ses pointes, on la mettra dans un équilibre horizontal parfait, ce qui n'est aucunement difficile: après quoi on tournera l'aiguille dans sa situation verticale, & on limera les pointes des deux languettes, jusqu'à ce que l'on soit parvenu parfaitement à l'équilibre vertical, ce qu'on exécutera encore sans peine; & de cette maniere, l'aiguille sera exactement équilibrée pour toute autre situation. La raison de cette construction est manifeste; c'est que si l'axe de l'aiguille est perpendiculaire à celui des deux languettes, & que ces deux axes se coupent exactement dans l'axe des tourillons, la seconde correction n'a point d'influence sur la première. Cette petite précaution donnera l'équilibre entier avec toute l'exactitude possible, qui même seroit presque suffisante à cet égard, pour l'entière perfection des Boussoles d'inclinaison, si seulement le centre de gravité étoit fixe dans toutes les situations de l'aiguille; mais il ne l'est pas; en voici

la raison ; c'est que l'aiguille se plie par son propre poids , & se plie inégalement dans ses différentes situations , plus ou moins , selon que sa position est plus ou moins horifontale. Cet article demande quelque détail.

§. 27. Supposez d'abord l'aiguille dressée verticalement , & que dans cette position le centre de gravité soit parfaitement dans l'axe des tourillons : mettez ensuite l'aiguille horifontalement ; elle se pliera par son propre poids ; mais comme elle se pliera également des deux côtés , le centre de gravité répondra encore verticalement à la ligne d'appui , & quoiqu'il se trouve plus bas que dans la situation verticale , il ne sçauroit empêcher l'aiguille de se tourner librement sur ses tourillons. Enfin , mettez l'aiguille obliquement , elle se courbera encore , quoique moins que dans sa situation horifontale ; & alors le centre de gravité ne répondra plus verticalement à la ligne d'appui , ce que la seule inspection de la seconde figure fait assez voir :  $AgB$  marque l'aiguille droite ,  $agb$  l'aiguille courbée ;  $lmne$  , est la section perpendiculaire des tourillons ; leur axe répond au centre  $g$  , qui est aussi le centre de gravité pour l'aiguille droite  $AgB$  : tirez la droite  $ab$  , & sa perpendiculaire  $gf$  , & le centre de gravité de l'aiguille courbée , se trouvera dans cette petite perpendiculaire  $gf$  : supposons-le en  $c$  , tirez la verticale  $ge$  & l'horifontale  $cd$  , & cette  $cd$  sera la distance du centre de gravité au plan vertical qui passe par la ligne d'appui ; & j'ai démontré au vingt-cinquième paragraphe pour l'aiguille de M. Muschenbroeck , qui nous sert toujours d'exemple , que lorsque cette distance ( que j'avois appelée  $\alpha$  ) ne fait que la quarante-neuvième partie d'une ligne , elle peut causer une erreur de cinq degrés , & une variation de dix degrés dans les différentes aiguilles , si l'on n'étoit pas sûr de quel côté se trouve le centre de gravité : c'est ici une circonstance bien fâcheuse , & qui paroît presque n'admettre aucun remède ; je ferai pourtant voir qu'on y peut encore remédier. On m'accusera peut-être de combattre un fantôme , & que cette source d'erreur

## 24 MEMOIRE SUR LES BOUSSOLES

ne peut jamais être sensible. Il est effectivement arrivé ; même aux plus grands hommes , d'assigner aux phénomènes des causes , à la vérité très-réelles , mais qui ne sont pas suffisantes , & qui souvent sont insensibles par rapport aux effets qu'ils en ont prétendu déduire ; ils sont tombés dans cette espèce de paralogisme , pour n'avoir pas cherché la mesure des causes qu'ils alléguoient , & des effets qu'elles pouvoient produire. Les calculs & les expériences que j'ai faites sur cette matière , me justifieront entièrement ; mais cela demande une digression que je prie le Lecteur de me pardonner ; elle nous fournira des réflexions importantes sur notre sujet.

---

### *Digression qui sert à déterminer au juste le Centre de Gravité d'une lame courbée par son propre poids.*

§. 28. **I**L faut avant toutes choses trouver la courbure d'une lame pliée par son propre poids. Feu M. Jacques Bernoulli a été le premier à déterminer celle d'une lame courbée , par une puissance appliquée à un seul point , en négligeant le poids de la lame. On voit que notre problème , pris dans un sens général , est beaucoup plus difficile , à cause que les poids des arcs qui plient la lame dans un point donné sont variables , & que les efforts de ces poids dépendent même de la courbe qu'on cherche. Cependant il y a des solutions générales de ces problèmes dans les Mémoires de Petersbourg , Tome II. p. 62. & les suivantes , données par Messieurs Daniel Bernoulli , & Léonard Euler. Dans notre cas , le problème devient extrêmement facile , & la courbe très-simple , à cause que les courbures sont comme infiniment petites , ce qui abrège beaucoup les calculs & les raisonnemens.

§. 29. Soit une lame parfaitement droite & uniforme  $AB$  (Fig. 3.) soutenue au milieu  $g$  , & mise horizontalement ;  
supposons

Supposons que cette lame pliée par son propre poids, prenne la figure  $agb$ , dont les deux branches  $ga$  &  $gb$  seront égales; tirez la droite  $ab$  avec sa perpendiculaire  $gf$ ; soient  $p$  &  $q$  deux points infiniment proches dans la ligne  $ba$ , & qu'on mène les deux petites perpendiculaires  $ps$ ,  $qr$ . On voit qu'on peut supposer ici  $pq = sr$ ; & que, si on suppose  $bp = x$ ,  $ps = y$ ,  $pq = dx$ , que je supposerai constante, le rayon osculateur au point  $r$ , peut être censé ici  $= \frac{-dx^2}{2ddy}$ ; or ce rayon osculateur est réciproquement proportionnel à l'effort qu'exerce le poids de l'arc  $rb$ , pour fléchir la lame au point  $r$ ; & ce poids pouvant être considéré comme concentré dans le centre de gravité de l'arc  $br$ , il faudra partager en deux également la ligne  $bq$  au point  $t$ , élever la perpendiculaire  $tu$ , & puis censur tout le poids de l'arc  $br$ , être placé dans la verticale  $tu$ , de sorte que ce poids agira sur le levier  $ur$  ou  $tq = \frac{1}{2}x$ .

Soit à présent la longueur de la lame  $AB = 2l$ , son poids total  $= 2p$ , on aura le poids de l'arc  $br = \frac{x}{l}p$ , lequel agissant sur le levier  $tq$ , ou  $\frac{1}{2}x$ , son effort par rapport au point  $r$ , sera  $= \frac{xxp}{2l}$ , & cet effort devant être réciproquement proportionnel au rayon osculateur  $\frac{-dx^2}{2ddy}$ , ou directement proportionnel à la quantité  $\frac{-2ddy}{dx^2}$ , je fais

$$\frac{xxp}{2l} = \frac{-2m^3ddy}{dx^2}.$$

La quantité  $m^3$  est une constante qui dépend de l'élasticité de la lame, & qui par conséquent est la même dans toutes les lames d'une même élasticité. Pour réduire cette équation, je lui donne cette forme,  $pxx dx^2 = -4m^3 lddy$ , qui étant intégrée, donne  $\frac{1}{3}px^3 dx = -4m^3 ldy + \frac{1}{3}pl^3 dx$ ; j'ai ajouté la constante  $\frac{1}{3}pl^3 dx$ , parce que  $dy$  doit devenir  $= 0$ , lorsque  $x$  devient  $= l$ , puisqu'on voit que la tangente au point  $g$  doit être parallèle à la ligne  $ab$ : si l'on prend

Prix. 1743.

D

une seconde fois l'intégrale de notre équation, on aura  $\frac{1}{12} p x^4 = -4 m^3 l y + \frac{1}{3} p l^3 x$ , sans ajouter de constante, puisque les variables  $x$  &  $y$  doivent s'évanouir en même tems au point  $b$ . Cette dernière équation donne enfin

$$y = \frac{4 p l^3 x - p x^4}{48 m^3 l}.$$

§. 30. On pourra remarquer dans cette équation, que quoique la branche  $g a$  soit parfaitement égale à la branche  $g b$ , la courbe entière  $b g a$  n'est pas exprimée par une même équation, parce que la loi de continuité est interrompue au point d'appui  $g$ ; aussi voit-on, par exemple, qu'en mettant  $x = 2 l$ , la valeur de  $y$  ne devient pas  $= 0$ , comme cela devoit arriver, si la loi de continuité subsistoit au point  $g$ ; sans cette remarque, on pourroit tenir notre solution pour suspecte.

§. 31. La valeur générale de  $y$  donne  $g f = \frac{p l^3}{16 m^3}$ ; on pourroit donc la déterminer au juste, si on connoissoit la force de l'élasticité exprimée par  $m^3$ . Je ferai voir ci-dessous, comment on pourra, par une autre expérience, déterminer exactement l'élasticité de chaque lame, par où l'on pourra fixer au juste la dépression ordinairement insensible du point  $f$  au-dessous du point  $g$ ; & de-là, je montrerai comment on pourra déterminer avec la dernière précision le centre de gravité de la lame courbée  $a g b$ , & la dépression au-dessous du point d'appui.

§. 32. On pourroit d'abord déterminer les petites distances  $g f$ , en la mesurant réellement dans une lame beaucoup plus longue, & dans tout le reste uniforme avec la lame proposée: car l'expression générale de  $g f$ , donnée dans l'article précédent, nous montre que dans les lames qui ne diffèrent qu'en longueur, les distances  $g f$  sont proportionnelles aux quantités  $p l^3$ , puisque la quantité  $m^3$  demeure toujours la même: or la quantité  $p$  est proportionnelle à  $l$ ; donc  $g f$  sera proportionnelle à  $l^4$ , c'est-à-dire, que les abaiffemens  $g f$  sont en raison biquarrée des

être mesurée avec beaucoup de précision ; après quoi la Méchanique enseigne comment on doit en déduire l'élasticité de l'aiguille que nous avons indiquée par la quantité  $m^3$ . Pour plus grande facilité du calcul , je considérerai la courbe  $D b$  comme une ligne presque droite , d'autant que la distance  $B b$  pourra être d'un pouce , ou plus grande si l'on veut , sans que la courbure  $D b$  soit considérable ; si cette supposition pouvoit produire la moindre erreur sensible , je l'aurois d'autant moins hasardée , que le problème général n'est aucunement difficile.

Comme je demande que l'aiguille  $BA$  soit la même que celle qu'on veut employer pour la Bouffole , je la supposerai  $= 2l$ , comme au paragraphe 29 , & la partie  $BD = \lambda$  ; le poids attaché en  $B = P$  ; je me propose d'abord de déterminer la courbe  $D b$  ; pour cet effet , je considère dans l'axe  $BD$  deux points infiniment proches  $p$  &  $q$  avec les appliquées  $ps$  &  $qr$  ; j'appelle  $Bp, x$  ;  $pq = dx$ , que je prends pour constante ;  $ps = y$  ; le rayon osculateur en  $r$ , peut encore être censé  $= \frac{dx^2}{2ddy}$ , & ce rayon osculateur doit être réciproquement proportionel à l'effort qu'exerce le poids  $P$  pour plier l'aiguille au point  $r$  ; or on peut censer  $br$  être une ligne droite , & égale à  $Bq$  ; c'est-à-dire, que le poids  $P$  agit sur le levier  $x$  ; son effort sera donc  $= xP$  : il faut donc que  $xP$  soit directement proportionel à  $\frac{2ddy}{dx^2}$  ; c'est pourquoi je fais encore  $xP = \frac{2m^3 ddy}{dx^2}$ , où  $m^3$  marque la même quantité qu'au vingt-neuvième paragraphe , parce que c'est la même aiguille , qui a la même élasticité , de laquelle dépend uniquement la quantité  $m^3$ . Je change cette équation en celle-ci,  $P x dx^2 = 2 m^3 ddy$ , dont l'intégrale est  $\frac{1}{2} P x x dx = 2 m^3 dy + \frac{1}{2} P \lambda \lambda dx$  ; j'ai ajouté la constante  $\frac{1}{2} P \lambda \lambda dx$ , parce que  $x$  devenant  $= BD = \lambda$ ,  $dy$  doit s'évanouir ; l'intégrale de cette dernière équation est  $\frac{1}{6} P x^3 = 2 m^3 y + \frac{1}{2} P \lambda \lambda x - \frac{1}{3} P \lambda^3$ , où j'ai ajouté la constante  $-\frac{1}{3} P \lambda^3$ , parce que  $x$  étant  $= \lambda$ ,  $y$  doit s'évanouir : cette équation donne enfin

$$y = \frac{Px^3 - 3P\lambda\lambda x + 2P\lambda^3}{12m^3}.$$

Or au point  $B$ , l'appliquée  $y$  peut être censée égale à la distance  $Bb$ ; supposons donc  $Bb = \mathcal{C}$ , & nous aurons  $\mathcal{C} = \frac{P\lambda^3}{6m^3}$ , ou bien

$$m^3 = \frac{P\lambda^3}{6\mathcal{C}}$$

& de cette manière on pourra déterminer exactement la quantité  $m^3$ , ce que je m'étois proposé de faire.

§. 34. Après avoir trouvé par ladite expérience, la valeur de  $m^3$ , qui convient à l'aiguille en question; il faut substituer cette valeur dans les équations des paragraphes 29 & 30. De cette façon, nous trouvons pour la troisième figure  $ps$  ou  $y = \frac{p}{P} \times \frac{4l^3x - x^4}{8\lambda^3} \times \mathcal{C}$ , & par conséquent  $gf = \frac{p}{P} \times \frac{3l^3}{8\lambda^3} \times \mathcal{C}$ .

§. 35. Pour connoître à présent par un exemple, jusqu'où peut aller l'inflexion d'une aiguille, j'ai pris une verge cylindrique de fer, dont le diamètre étoit un peu plus de 4 lignes, avec laquelle j'ai fait l'expérience décrite au paragraphe 33: toute la longueur  $AB$  (*Fig. 4.*) étoit de 28 pouces; la partie  $DB$  de 24 pouces; le poids  $P$  étoit 8 fois plus grand que celui de la verge  $AB$ , ou  $9\frac{1}{3}$  de fois plus grand que celui de la partie  $DB$ , & je trouvois  $Bb$  de 20 lignes. Si nous appellons donc  $p$  le poids de la partie  $BD$ , nous aurons  $P = 9\frac{1}{3}p$ ;  $BD$  ou  $\lambda = 24$  pouces, ou 288 lignes,  $Bb$  ou  $\mathcal{C} = 20$  lignes. Par cette expérience, je me propose de déterminer exactement, combien une semblable verge, longue de 4 pieds, & soutenue au milieu dans son centre de gravité, devoit se courber. Nous aurons en ce cas dans la troisième figure  $AB = 2l = 4$  pieds;  $gB = l = 2$  pieds, & par conséquent  $l = \lambda$ ; le poids de la partie  $gB$  fera encore  $= p$ , &  $P = 9\frac{1}{3}p$ , & nous aurons toujours  $\mathcal{C} = 20$  lignes. De-là nous tirerons  $gf = \frac{1}{9\frac{1}{3}} \times \frac{3}{8} \times 20$  lignes  $= \frac{45}{56}$  lignes ou environ  $\frac{4}{5}$  lignes.

D iij,



Si la verge n'avoit que deux pieds de longueur, nous aurions  $fg = \frac{1}{320}$  de ligne, & elle ne seroit plus que de  $\frac{1}{320}$  partie de ligne, dans une verge semblable de la longueur d'un pied.

Voilà donc une méthode de connoître exactement ces inflexions, le plus souvent imperceptibles aux sens, mais suffisantes cependant pour déranger les Boussoles, & pour causer des variations très-sensibles.

On voit par-là quelle préférence mérite la théorie par-dessus la pratique, quoique nécessaires l'une & l'autre : comment se seroit-on aperçu de tous ces inconvéniens, sans le secours de la théorie ; & comment peut-on obvier à des inconvéniens que l'on ignore ?

Quant à l'aiguille de M. Muschenbroeck, qui nous a servi d'exemple jusqu'ici, son inflexion doit avoir été à peu près la même que celle que nous avons trouvée pour la verge cylindrique longue de 4 pieds, dont le diamètre a été de 4 lignes. L'aiguille de M. Muschenbroeck avoit la même longueur, mais elle avoit la forme d'un parallélépipède ; le côté parallèle aux tourillons avoit 2 lignes, & l'autre côté 3 lignes : & il est à remarquer que la largeur parallèle aux tourillons, ne peut ni augmenter ni diminuer les inflexions ; mais quant à l'autre côté perpendiculaire à l'axe des tourillons, il change beaucoup les inflexions ; plus ce côté est grand, moins l'aiguille se courbera, & réciproquement : on pourroit donc supposer à cet égard la courbure avoir été plus grande dans l'aiguille de M. Muschenbroeck, que n'a été celle de la verge cylindrique dont nous nous sommes servis ; mais comme dans la première, l'épaisseur reste la même, pendant que dans les cylindres les épaisseurs diminuent vers les côtés, cette raison peut avoir redressé l'autre, outre que l'aiguille de M. Muschenbroeck étoit d'acier, pendant que la verge que j'ai employée n'étoit que de fer. Tout bien compté, je crois pouvoir supposer que dans ladite aiguille  $fg$  aura été d'environ  $\frac{1}{4}$  de ligne. Si j'avois été à même de me faire faire

une aiguille toute pareille à celle de M. Muschenbroeck, j'aurois pû dire au juste la courbure que son poids lui a causée, en la suspendant horizontalement par le milieu.

§. 36. Connoissant la valeur de  $fg$ , & l'équation pour la courbe  $gb$ , ( *Fig. 3.* ) il est facile de trouver le centre de gravité des deux branches  $agb$ , que je suppose en  $c$ ; on trouvera par les règles communes de la mécanique  $gc = \frac{2}{5}fg$ : or j'ai démontré dans le précédent article, que dans l'aiguille de M. Muschenbroeck, longue de 4 pieds,  $fg$  a été probablement de  $\frac{4}{5}$  de ligne; nous pouvons donc supposer pour la même aiguille  $gc = \frac{8}{25}$  ligne.

§. 37. Considérons à présent l'aiguille  $AB$  inclinée comme dans la seconde Figure: on voit que l'action de la pesanteur de chaque partie en sera diminuée en raison des cosinus des angles, que l'aiguille fait avec l'horison; le seul principe de la résolution des forces suffit pour le démontrer. Par ce principe, il est clair que l'action du poids de l'aiguille indiqué par  $p$ , en tant qu'elle doit plier l'aiguille, diminue en raison des cosinus de l'angle d'inclinaison avec l'horison; or nous avons démontré au commencement du paragraphe 31, que tout le reste étant égal,  $gf$  est proportionel à la quantité  $p$ , puisque  $gf$  est  $= \frac{p^3}{16m^3}$ , & que les quantités  $l$  &  $m$  restent les mêmes, de quelle maniere que l'aiguille soit inclinée; d'ailleurs  $gc$  est proportionel à  $gf$ , puisque la premiere fait toujours  $\frac{2}{5}$  de la seconde; (parag. 36.) donc  $gc$  est toujours proportionel aux cosinus des angles d'inclinaison de l'aiguille avec l'horison.

Soit donc le sinus total  $= r$ ; le sinus de l'angle que l'aiguille fait avec l'horison  $= c$ , son cosinus  $d$ ; nous aurons pour l'aiguille de M. Muschenbroeck  $gc = \frac{8}{25} \times \frac{d}{r}$  ligne & enfin la petite horizontale  $ca$  terminée par la verticale  $ge$  sera  $= \frac{8}{25} \times \frac{c \times d}{rr}$  ligne. Cette  $cd$ , qui marque le levier sur lequel le poids entier de l'aiguille agit, sera donc la plus grande, lorsque l'aiguille est inclinée de 45 degrés;

elle fera alors  $= \frac{4}{27}$  ligne, qui n'est que trop grande pour détourner très-considérablement l'aiguille aimantée de sa juste inclinaison. Je finis ici cette digression pour en faire l'application à notre sujet.

§. 38. Nous venons de démontrer que par l'inflexion de l'aiguille causée par son propre poids, le centre de gravité change de place à mesure que l'aiguille change d'inclinaison; que non-seulement ce centre de gravité monte & descend, mais qu'il va encore de côté, & s'éloigne du plan vertical qui passe par la ligne d'appui, ou par l'axe des tourillons. Nous avons calculé jusqu'où pouvoient aller ces variations dans une aiguille telle qu'étoit celle de M. Muschenbroeck, & nous avons trouvé que le centre de gravité peut varier dans sa hauteur verticale de  $\frac{8}{27}$  ligne, (paragraphe 36.) & qu'il peut s'éloigner du plan vertical qui passe par l'axe des tourillons, de  $\frac{4}{27}$  ligne de côté & d'autre. Il suit même immédiatement du paragraphe 35, qu'en tournant l'aiguille, le centre de gravité fait un petit cercle dont le rayon seroit de  $\frac{4}{27}$  ligne, & qu'il fait deux tours pendant que l'aiguille en fait un. Combinons cela avec ce que nous avons démontré au paragraphe 25, sçavoir que lorsque le centre de gravité s'éloigne du plan vertical qui passe par l'axe des tourillons de  $\frac{1}{42}$  ligne, il en peut résulter une erreur de  $5^\circ$  dans l'inclinaison de l'aiguille aimantée; & nous comprendrons aisément, que c'est encore ici une des causes principales des grandes variations qu'on a remarquées dans les inclinaisons de différentes aiguilles aimantées. Je trouve que si M. Muschenbroeck avoit équilibré l'aiguille exactement pour sa situation verticale, & que dans cette situation le centre de gravité eût été précisément dans l'axe des tourillons, si l'on supposoit la juste inclinaison de  $70^\circ$ , & la vertu Magnétique totale égale à 5 grains, mis à l'extrémité de l'aiguille, comme nous l'avons trouvée à peu près au dix-huitième paragraphe: je trouve dans ces suppositions, que l'aiguille devroit montrer une inclinaison d'environ 33 degrés, & par conséquent

conséquent s'éloigner de la juste inclinaison de 37 degrés.

Il est vrai que M. Muschenbroeck lui a trouvé une inclinaison beaucoup plus juste, sçavoir de 67°. la conséquence que j'en tire, est que l'aiguille n'avoit pas été équilibrée dans sa situation verticale. Eût-on pû prévoir sans ce détail, qu'un équilibre parfait pour la situation verticale de l'aiguille, pût causer une si grande erreur dans son inclinaison? la chose est cependant bien certaine. Je m'assure de plus, que M. Muschenbroeck n'a été attentif qu'à bien équilibrer l'aiguille dans la situation qu'elle devoit avoir à peu près dans sa juste inclinaison, c'est-à-dire, lorsque l'aiguille faisoit avec l'horison un angle d'environ 70°, & c'est en quoi il a pris le plus sage parti; je m'en remets à la décision de M. Muschenbroeck, si jamais ce Mémoire devoit tomber entre ses mains. Si je ne me trompe point dans ma conjecture, il est certain qu'il a dû trouver avec assez de justesse la véritable inclinaison: mais si l'on transportoit cette aiguille dans un autre pays, où la vraie inclinaison fût bien différente, cette même aiguille, si juste en Hollande, pourroit manquer de 10, 20 & même 30 degrés.

§. 39. Voilà donc un grand inconvénient, mais auquel on pourra encore remédier; je traiterai par degrés des précautions qu'on doit prendre, & ferai voir comment on en pourra d'abord diminuer les effets, jusqu'à les rendre insensibles, & enfin les éviter entièrement. Avant que de le faire, je démontrerai dans cet article, comment on doit concilier les expériences rapportées au dix-huitième paragraphe, qui paroissent d'abord se contredire. Il y a dans ledit article, deux expériences faites par le même Auteur, avec la même aiguille, qui paroissent l'une & l'autre très-propres à déterminer exactement la force de la pesanteur Magnétique de l'aiguille. La première marque que le poids d'un grain & demi, mis à l'extrémité de l'aiguille aimantée, la remettoit dans sa situation horizontale, depuis l'inclinaison de 67° qu'elle avoit auparavant, d'où l'on peut conclure que la force totale eût été d'environ  $1 \frac{5}{8}$  grains;

*Prix.* 1743.

E

car si la force de  $1\frac{1}{2}$  grains peut détourner l'aiguille de  $67^\circ$  de son équilibre, la force de  $1\frac{2}{3}$  grains pourra la détourner de  $90^\circ$ , & je l'appelle alors force totale. Dans la seconde expérience, on considère le nombre d'oscillations que l'aiguille fait dans un tems donné; & j'ai fait voir que de cette expérience il résulte une force totale, qui est égale à l'action du poids de  $4\frac{2}{3}$  grains, mis pareillement à l'extrémité de l'aiguille. Cette dernière force est presque trois fois plus grande que la première. D'où peut donc venir cette grande inégalité? je l'attribue à l'inflexion de l'aiguille dans la première expérience; cette inflexion jette le centre de gravité de côté, & concourt à remettre l'aiguille dans la situation horizontale, de sorte que cette action est encore à peu près double de celle du petit poids, duquel on chargeoit l'extrémité Méridionale de l'aiguille. Le calcul qui suit, éclaircira & confirmera davantage cette explication. Je suppose que l'inclinaison de  $67^\circ$  observée par M. Muschenbroeck, ait été la véritable; je suppose encore qu'il ait équilibré parfaitement l'aiguille sous un angle de  $67^\circ$ ; car s'il l'avoit fait sous un angle bien différent, il auroit nécessairement fallu que l'aiguille se fût écartée beaucoup de sa juste inclinaison, comme nous l'avons démontré dans l'article précédent.

Pour mettre donc l'aiguille horizontalement, il faut la tourner de  $67^\circ$ . Or par la rotation de l'aiguille de  $90^\circ$ , le centre de gravité monte ou descend de  $\frac{8}{25}$  ligne, (paragraphe 36.) & pour en connoître combien ce centre de gravité va de côté, en tournant l'aiguille de  $67^\circ$ , il faut multiplier le sinus de  $67^\circ$  par son cosinus, le diviser par le carré du sinus total, & multiplier le quotient par  $\frac{8}{25}$  ligne; (paragraphe 37.) cette règle donne 0, 115104 lig. c'est-à-dire, que dans la situation horizontale de l'aiguille, son centre de gravité devoit être éloigné du plan vertical qui passoit par l'axe des tourillons, de 0, 115104 lig. Or le poids total de l'aiguille étoit de 6105 grains, qui doit être considéré comme concentré dans le centre de gravité; & ce

poids agissant sur un levier de 0, 115 104 lig. fait autant que le poids d'environ deux grains & demi sur un levier de deux pieds, de sorte que l'inflexion de l'aiguille devoit faire le même effet qu'auroit fait un poids de  $2\frac{1}{2}$  grains mis à l'extrémité de l'aiguille, si celle-ci avoit été parfaitement roide. Ces  $2\frac{1}{2}$  grains doivent donc être ajoutés à  $1\frac{1}{2}$  grain, & nous aurons 4 grains qui détournent l'aiguille de son équilibre de  $67^\circ$ , ce qui donne enfin la force totale (qui est à celle de 4 grains, comme le sinus total au sinus de  $67^\circ$ ) égale à  $4\frac{1}{3}$  grains, pendant que la seconde expérience marque cette force de  $4\frac{2}{3}$  grains. Ce calcul montre donc à présent une grande conformité entre les deux expériences, qui paroissent auparavant se contredire; je trouve même qu'en supposant l'aiguille avoir été parfaitement équilibrée sous un angle de  $60^\circ$ , les deux expériences donnent alors tout-à-fait une même force Magnétique; l'aiguille doit en effet avoir été équilibrée sous un angle un peu plus petit que n'auroit été l'angle d'inclinaison de la même aiguille, après avoir été aimantée; car par-là cette inclinaison doit être trouvée un peu au-dessous de la vraie inclinaison, & je suis sûr que la vraie inclinaison étoit réellement un peu plus grande que de  $67^\circ$ , puisqu'avec d'autres aiguilles M. Muschenbroeck la trouvoit jusqu'à  $72^\circ$ . Les observations faites en Angleterre presque en même tems, la marquent encore plus grande, ce que je ne crois pas devoir être attribué en tout à l'éloignement des pays. J'ai cru devoir entrer en ce détail, parce qu'il est essentiel de faire voir que nous avons découvert les vraies causes des variations qu'on a observées jusqu'ici dans les Boussoles d'inclinaison, & que nous avons donné les justes mesures de ces causes. Examinons à présent quelles mesures on peut prendre pour prévenir cette source d'erreurs.

§. 40. Comme on peut corriger de plusieurs façons les défauts qui résultent de l'impossibilité du parfait équilibre de l'aiguille dans toutes ses positions, je les décrirai toutes par ordre.

E ij

Il faudra d'abord équilibrer l'aiguille le plus exactement qu'il sera possible , après quoi on observera la position de son équilibre parfait, auquel l'aiguille se mettra d'elle-même; on détournera l'aiguille tant soit peu de cette position, & elle fera quelques balancemens, desquels on mesurera exactement le tems; on prendra encore la mesure du diamètre des tourillons. Cela fait, c'est un problème déterminé de trouver exactement la place du centre de gravité, & sa petite distance à l'axe des tourillons. Les variations de ce centre de gravité causées par les différens ployemens de l'aiguille mise dans une autre situation, se trouvent ensuite par les méthodes que nous avons données dans notre digression sur cette matière. Enfin, on aimantera l'aiguille, & on pourra toujours, de l'inclinaison observée, trouver exactement la vraie inclinaison par le calcul. Mais comme cette méthode ne seroit que pour un petit nombre de Géomètres, je ne m'arrêterai point à l'éclaircir, d'autant que cela me meneroit trop loin, & qu'il faudroit donner en passant la solution de plusieurs nouveaux problèmes. Je passe donc aux autres moyens, plus faciles à mettre en œuvre.

§. 41. On pourra rendre les aiguilles moins pliables, en leur donnant plus de hauteur & moins de largeur. M. Mufchenbroeck avoit donné à l'aiguille trois lignes de hauteur, sur deux lignes de largeur; je crois qu'il auroit pû, sans tomber dans aucun nouvel inconvénient, lui donner 4 lignes de hauteur sur  $1 \frac{1}{2}$  de largeur.

§. 42. On diminuera très-considérablement l'inflexion de l'aiguille en la rendant plus petite, puisqu'en vertu du paragraphe 32, les inflexions sont en raison biquarrée des longueurs. Donc une aiguille qui conserve sa grosseur, & qui n'a que le quart en longueur, n'aura que la  $\frac{1}{256}$  partie d'inflexion; mais si on diminuoit à proportion sa hauteur & sa largeur, cette inflexion en sera augmentée à peu près en raison de 1 à 4: il faut d'ailleurs remarquer, qu'une inflexion égale produit une plus grande erreur dans une

petite aiguille que dans une grande; cette considération pourra encore augmenter l'erreur causée par l'inflexion de l'aiguille, à peu près en raison de 1 à 4 : j'estime donc qu'à tout prendre, les erreurs diminueront en raison quarrée des longueurs des aiguilles. Donc une aiguille d'un pied en longueur, ne sera plus susceptible que de la seizième partie d'erreur. Cependant cette partie sera encore considérable, parce que l'erreur dans l'aiguille de 4 pieds est énorme, outre qu'on renonce, par la trop grande diminution des aiguilles, à d'autres avantages, qui doivent, à mon avis, faire préférer les aiguilles d'environ deux pieds de longueur à toutes les autres. La conséquence que je tire de ces remarques est, que l'aiguille aimantée étant une machine simple, qui ne souffre de changement que dans sa configuration & la proportion de ses parties, on ne peut s'en promettre aucun succès constant, puisque sa seule inflexion causée par son propre poids, pourra toujours produire des erreurs de plusieurs degrés. Il faut donc penser à quelque nouvelle pièce, qu'on puisse ajouter aux aiguilles. Mais voyons auparavant s'il seroit possible de changer les tablettes qui doivent porter les tourillons de l'aiguille, de façon que ces erreurs en soient corrigées; car il ne faut pas renoncer à la simplicité des machines sans nécessité.

§. 43. Supposons une aiguille parfaitement équilibrée dans sa position horizontale; son inflexion sera alors la plus grande, & son centre de gravité sera plus bas que dans toute autre situation: il montera donc à mesure que l'aiguille se tourne, & il sera le plus haut dans la situation verticale de l'aiguille. J'ai montré aux paragraphes 33, 34, 35 & 36, comment on peut déterminer pour chaque aiguille très-exactement cette élévation du centre de gravité: Elle étoit environ de  $\frac{8}{25}$  lig. dans l'aiguille de 4 pieds, employée par M. Muschenbroeck. Je la nommerai généralement  $a$ : & si l'on nomme le sinus total  $r$ , le sinus versé du double angle de l'inclinaison de l'aiguille  $s$ , l'élévation verticale du centre de gravité sera généralement  $\frac{s}{2r} a$ .

E iij.



### 38 MEMOIRE SUR LES BOUSSOLES

Pour détruire donc l'effet de ces élévations du centre de gravité, on pourroit creuser légèrement la surface des tablettes, de sorte que les tourillons venant à rouler sur cette surface, leur axe descende ou monte autant que le centre de gravité de l'aiguille s'élève ou se baisse : de cette manière, le centre de gravité resteroit toujours dans une même hauteur, & l'inflexion de l'aiguille n'auroit plus aucun effet pour empêcher l'aiguille de tourner librement. La figure suivant laquelle il faudroit creuser les tablettes, est représentée par la Fig. 5<sup>e</sup>, dans laquelle il faudroit faire  $ab$  ou plutôt  $adb$  égale à la demi-circonférence des tourillons, la partager en deux également au point  $c$ , & faire la petite perpendiculaire  $cd = a$ ; la loi de la courbe  $adb$  seroit que,  $ad$  marquant un angle droit,  $af$  l'angle de l'inclinaison de l'aiguille, on ait par-tout  $fe$  à  $dc$ , comme le sinus verse de  $2af$  au double sinus total. Quand on auroit creusé les tablettes suivant cette loi, on mettroit les tourillons au point  $a$ , en donnant en même-tems à l'aiguille sa situation horizontale, & les tourillons venant à se rouler sur la surface  $adb$ , le centre de gravité resteroit toujours à la même hauteur. La courbe  $adb$  seroit facile à tracer en grand, mais sur les tablettes, il suffiroit de lui donner la courbure autant qu'on peut s'en assurer à la vûe; l'essentiel seroit de faire  $ab$  exactement égal à la demi-circonférence des tourillons, &  $ed$  parfaitement  $= a$ . Voilà un remède que nous fournit la théorie spéculative, mais dont je ne fais pas grand cas moi-même pour la pratique. Si j'en ai parlé, ce n'étoit que pour faire voir que je n'ai rien oublié, comme la méthode que je me suis proposée & qui consiste à faire une énumération de toutes les corrections possibles, le demande.

Comme donc les deux premières corrections des paragraphes 41 & 42 ne sont pas suffisantes, & que la troisième marquée dans cet article ne sçauroit être exécutée avec assez de précision, il faut nécessairement quitter l'idée des aiguilles simples, & examiner si on ne pourra pas y ajouter

quelque nouvelle pièce, pour rendre leurs défauts moins sensibles, ou pour les prévenir entièrement.

§ 44. On peut parfaitement conserver l'équilibre, quelque grandes & quelque flexibles que soient les aiguilles, & quelque situation qu'on leur donne. La manière d'obtenir ce grand avantage si essentiel à notre sujet, est fondée sur ce que j'ai démontré au paragraphe 37, sçavoir que si l'axe des tourillons répond au point  $g$ , (Fig. 2.) & que le centre de gravité de l'aiguille courbée  $agb$  soit en  $c$ , la petite horizontale  $cd$ , terminée par la verticale  $ge$ , est proportionnelle au produit du sinus de l'angle que l'aiguille fait avec l'horison par son cosinus : cette  $cd$  est donc la même pour deux angles d'inclinaison, dont l'un soit le complément de l'autre à un droit. Concevons donc d'abord deux aiguilles parfaitement égales en tout, qui se croisent perpendiculairement, portées par les mêmes tourillons, dont l'axe passe par le point d'intersection des deux aiguilles. Ces deux aiguilles sont représentées par  $AB$  &  $A'B'$ , (Fig. 6.) qui, par leur poids, se courberont & prendront la figure  $agb$  &  $a'gb'$ ; supposons le centre de gravité de la première en  $c$ , & de la seconde en  $c'$ , (dans la figure ces points  $c$  &  $c'$  sont trop éloignés du point  $g$ , ce que j'ai fait afin que les petites lignes paroissent mieux) & tirez la verticale  $gd$  avec les horizontales  $cd$  &  $c'd'$ ; cela étant, on obtiendra  $cd = c'd'$ , parce que le sinus & le cosinus de l'angle  $cgd$ , sont le cosinus & le sinus de l'angle  $c'gd'$ : d'où il suit que ces deux aiguilles conserveront l'équilibre, nonobstant leur ploiement, quelque position qu'on leur donne, & quelque grande que soit leur inflexion. Si on tire la petite droite  $cc'$ , le centre de gravité commun sera toujours en  $e$ , & par conséquent dans la verticale  $ge$ , qui restera toujours la même.

REMARQUE I. Voilà une manière fort facile de prévenir l'inconvénient causé par l'inflexion des aiguilles, & de le prévenir entièrement. Je ne doute pas qu'après cela, toutes les observations des inclinaisons des aiguilles

aimantées ne soient parfaitement correspondantes : car je regarde cet inconvénient , auquel on n'avoit pas assez réfléchi , & qu'on n'a jamais prévenu , comme la principale & presque l'unique source du peu de conformité entre les observations faites avec différentes Boussoles d'inclinaison. Les plus habiles ouvriers ont reconnu l'impossibilité d'équilibrer parfaitement une aiguille , mais ils ont cru l'impossibilité relative aux forces humaines , sans reconnoître l'impossibilité absolue & inséparable d'avec la matiere , bien loin d'en calculer les effets , & de reconnoître par-là l'importance de ces recherches. Cette impossibilité absolue de satisfaire à la condition la plus essentielle , est une preuve qu'il faut nécessairement ajouter quelque nouvelle pièce dans la construction des Boussoles d'inclinaison ; & en est-il de plus simple que celle que j'ai décrite , qui , outre cela , a encore un très-grand avantage , c'est celui de faire en même tems la fonction des deux languettes , expliquées au paragraphe 26 , moyennant lesquelles on peut très-facilement & très-exactement équilibrer toute la machine , de sorte que son centre de gravité soit parfaitement dans l'axe des tourillons , qui est l'autre condition , également nécessaire & essentielle , puisqu'il faut absolument que le centre de gravité soit dans l'axe des tourillons , & qu'il y demeure , quelque position qu'on donne à la machine.

REMARQUE II. J'ai dit dans la construction de notre nouvelle Boussole , que les deux aiguilles doivent être parfaitement égales en tout ; à cela on auroit raison de m'objecter que , comme il n'est pas permis de faire l'une & l'autre aiguille d'acier , puisque l'action de l'aiguille aimantée seroit altérée par la non-aimantée , il est impossible de satisfaire à cette condition. Mais il faut remarquer que je n'ai d'abord demandé une parfaite égalité entre les deux aiguilles , que pour rendre notre raisonnement plus clair & plus sensible ; il suffit de faire en sorte que les poids des aiguilles & leurs inflexions absolues , marquées par *g f* dans la 3<sup>e</sup> Figure soient les mêmes. Cette condition même est

encore

encore trop limitée, il suffit de faire que le produit du poids par l'inflexion absolue soit le même pour les deux aiguilles; & cette condition est très-facile à remplir, quand même on fait une aiguille d'acier & l'autre de cuivre, & qu'elles sont fort inégales. Il y a pourtant une réflexion fort essentielle à faire, qui facilitera extrêmement la construction des deux aiguilles.

REMARQUE III. *Concernant la maniere de construire les deux aiguilles compagnes de la Boussole.* Soit  $af$ , (Figure 7.) l'aiguille de cuivre, qu'on veuille ajuster à une aiguille donnée d'acier quelconque; je dis qu'il faudra d'abord donner à cette aiguille de cuivre la forme d'un parallelepipède, fort égal dans toute sa longueur: soit après cela le côté  $afgb$  l'un des deux opposés, qui reçoivent les tourillons en  $o$ : ensuite on cherchera l'inflexion de cette aiguille dans un plan parallele au côté  $afgb$ , de la maniere que j'ai dit aux paragraphes 33 & 34. On comparera cette inflexion avec celle de l'aiguille d'acier, qu'il faudra chercher de la même façon. Soit l'inflexion de la premiere à celle de la seconde comme  $m$  à  $n$ : après cela il n'y aura plus qu'à limer le côté  $afgb$ , jusqu'à ce que le poids de l'aiguille de cuivre soit à celui de l'aiguille d'acier, comme  $n$  à  $m$ ; car il est clair qu'en limant ce côté  $afgb$ , on ne change pas l'inflexion de l'aiguille, causée par son propre poids, & qu'on ne diminue par-là que le poids de l'aiguille.

On voit par-là qu'on peut faire l'aiguille de cuivre beaucoup plus petite que celle d'acier, si on le trouve plus convenable pour ne pas charger inutilement les tourillons, pourvû qu'on la rende d'autant plus flexible. Cette construction est donc très-aisée; mais je recommande sur-tout de faire les aiguilles exactement uniformes dans toute la longueur, tant par rapport à la matiere, que par rapport à la configuration, & qu'on cherche très-exactement les inflexions des aiguilles, marquées par  $gf$  de la Figure 3<sup>e</sup>, & qu'on soit attentif à rendre les poids réciproquement

Prix. 1743.

F

proportionels aux inflexions avec beaucoup d'exactitude.

§. 45. On pourra encore conserver parfaitement l'équilibre de la maniere qui suit. Soit dans la huitième Figure, *AB* une aiguille droite: qu'on y ajoute au milieu une languette perpendiculaire *gm*, chargée d'un petit poids mobile en *n*. On voit que par le moyen de ce petit poids mobile, on pourra mettre l'aiguille en équilibre dans telle position qu'on voudra; on pourroit trouver par le calcul, combien il faut descendre ou monter le petit poids pour tenir l'aiguille en équilibre sous un angle donné; mais je crois qu'il vaut mieux chercher par des expériences, dans quels endroits il faudra mettre le petit poids pour équilibrer l'aiguille successivement sous un angle d'inclinaison de  $5$ ,  $10$ ,  $15^{\circ}$  &c. jusqu'à  $90^{\circ}$ . Pour faire ces observations avec plus d'exactitude, on pourra caneler en vis la languette *gm*, qui entre dans l'écrou du petit poids *n*; placer d'abord le petit poids au sommet de la languette; mettre l'aiguille dans sa situation horizontale, & puis l'équilibrer pour eette situation, mais l'équilibrer de maniere que la moindre inclinaison fasse trébucher l'aiguille, ce qui est facile à faire; après cela il faudra donner à l'aiguille une inclinaison de  $5^{\circ}$ , & descendre le petit poids en le tournant, jusqu'à ce que l'aiguille conserve d'elle-même son inclinaison de  $5^{\circ}$ . On sent bien que cela est possible, puisqu'en laissant le petit poids au sommet, l'aiguille trébucheroit; & qu'en le descendant trop, l'aiguille retourneroit vers sa situation horizontale: on fera cette manœuvre de  $5$  en  $5$  degrés, & on marquera à chaque fois le nombre de tours qu'il a fallu donner au petit poids. Enfin, après ces préparations, on aimantera l'aiguille.

Pour se servir de l'aiguille, on montera ou descendra le petit poids, jusqu'à ce que l'inclinaison marquée par l'aiguille s'accorde avec celle que marque le petit poids *n* sur la languette.

Cette méthode d'observer l'inclinaison des Boussoles; nous fourniroit un grand nombre de réflexions: mais

comme je lui préfère, quoiqu'elle soit très-bonne, celle qui suivra, bâtie à peu près sur le même principe; je ne m'arrêterai pas à les exposer ici, d'autant que je suis persuadé qu'elles n'échapperont pas au Lecteur. M. Mufchenbroeck a déjà employé la languette  $mg$ , pour corriger l'effet des inflexions de l'aiguille; mais je ne vois pas quel avantage on tireroit de cette languette, sans le petit poids  $n$ , qui seul corrige lesdites inflexions. La remarque la plus essentielle, que je ne crois pas devoir passer sous silence, concerne la proportion des parties. Or comme le petit poids  $n$  sert sur-tout à corriger les inflexions de l'aiguille, nous supposerons d'abord l'aiguille dans sa situation horizontale, & courbée en  $agb$ , & que l'axe des tourillons soit au point  $g$ : soit le centre de gravité commun de l'aiguille & de la languette au point  $c$ , & nommés  $gc$ ,  $= a$ : soit le poids total de l'aiguille & de la languette  $= P$ ; le petit poids  $n = p$ , & faites  $gm = \frac{P}{p} a$ : on voit que si on place ensuite le poids  $n$  en  $m$ , le centre de gravité qui étoit auparavant  $c$ , sera élevé au point  $g$ : si vous donnez ensuite à l'aiguille une inclinaison dont le cosinus soit  $c$ , en nommant le sinus total  $r$ ; il faudra faire  $gn = \frac{r}{c} \times gm$ , placer le petit poids en  $n$ , & le centre de gravité de tout le système sera encore en  $g$ : on pourroit donc faire les divisions sur la languette par ce calcul, ce que je vais éclaircir par un exemple.

Soit le poids total de l'aiguille & de la languette de 6000 grains: la petite distance  $gc = \frac{1}{3}$  ligne: nous avons montré comment on peut toujours la trouver avec la dernière précision: soit le poids  $p = 60$  grains: nous aurons pour ces suppositions,  $P = 6000$ ;  $p = 60$ ;  $a = \frac{1}{3}$ ; & nous trouverons d'abord  $gm = 33\frac{1}{3}$  lig. Si l'on vouloit ensuite chercher le point  $n$ , où il fallût mettre le petit poids pour équilibrer l'aiguille sous un angle de  $30^\circ$ , il faudroit multiplier ladite quantité de  $33\frac{1}{3}$  lig. par le cosinus de  $30^\circ$ , & diviser

F ij

par le sinus total , & par conséquent faire la distance  $g n = 28, 867$  lignes, & ainsi des autres cas.

Mais il vaut encore mieux d'observer les points  $n$ , parce que de cette manière on remédie en même tems à tous les autres inconvéniens, au lieu que par le calcul on remédie seulement aux inflexions de l'aiguille, qui est, à la vérité, le plus grand inconvenient, mais qui n'est pas le seul.

§. 46. Il nous reste encore une méthode, fondée à peu près sur les mêmes principes que la précédente.

Soit  $AB$ , ( *Fig. 9.* ) l'aiguille partagée en deux au point  $g$ , autour duquel je la suppose librement mobile; soit son centre de gravité dans un point quelconque  $f$ , en supposant pourtant  $fg$  très-petite: du centre  $g$ , tirez par le point  $f$  le cercle  $hfdm$ , supposez après cela le petit poids  $p$  mobile tout le long de l'aiguille, qui, dans sa place  $p$ , tiennent l'aiguille dans sa situation horizontale; tirez la droite  $fp$ , qui coupe la verticale  $mgh$  en  $o$ , & puis l'horizontale  $fe$ : nommez  $P$  le poids de l'aiguille, &  $p$  le petit poids mobile; on aura par la nature de l'équilibre,  $P \times fe = p \times pg$ : après cela supposez l'aiguille dans une situation quelconque  $ab$ : le centre de gravité de l'aiguille s'éloignera davantage de la verticale  $mgh$ , & si l'aiguille étoit parfaitement roide, il viendrait en  $d$ , en faisant l'angle  $dgf$  égal à l'angle  $agA$ : mais on voit qu'on peut aussi éloigner le petit poids  $p$ , pour que l'équilibre subsiste encore; je suppose qu'il faille le mettre en  $u$ , & je me propose de trouver  $pu$ , en faisant encore abstraction de l'inflexion de l'aiguille.

Du centre  $g$ , décrivez les arcs-de-cercle  $p q$  &  $u r$ ; tirez aussi la droite  $dr$ , qui coupe la verticale  $mgh$  en  $t$ , de même que les horizontales  $dc$  &  $rs$ ; nous aurons encore  $P \times dc = p \times rs$ , à cause de l'équilibre nouveau; soit le sinus de l'angle d'inclinaison  $agA$ , ou  $dgf = s$ , son cosinus  $= c$ , le sinus total  $gh = r$ ; on trouvera  $dc = \frac{c}{r} \times fe + \frac{s}{r} \times ge$ , &  $rs = \frac{c}{r} \times gr$ ; ces valeurs étant substituées, nous aurons,

$$P \times \frac{c}{r} \times fe + P \times \frac{s}{r} \times ge = p \times \frac{c}{r} \times gr.$$

Cette équation nous donne  $gr = gu = gp + pu = \frac{p}{p} \times fe + \frac{p}{p} \times \frac{s}{c} \times ge$ ; or,  $p \times gp = P \times fe$ , ou  $gp = \frac{p}{P} \times fe$ ; il reste donc simplement,

$$pu = \frac{p}{p} \times \frac{s}{c} \times ge.$$

On peut donner à cette équation une autre forme plus commode; soit  $fe$  ou le sinus de l'angle  $fg h = m$ ; son cosinus  $ge = n$ ; on aura  $ge = \frac{n}{m} \times fe$ ; mettez à la place de  $fe$  sa valeur  $\frac{p}{P} \times gp$ , & vous aurez  $ge = \frac{n}{m} \times \frac{p}{P} \times gp$ , & cette valeur étant substituée dans notre équation, on aura

$$pu = \frac{n}{m} \times \frac{s}{c} \times gp.$$

Cette équation nous marque comment il faudroit placer le petit poids  $p$ , pour tenir l'aiguille en équilibre, quelque inclinaison qu'on lui donne, supposé que l'aiguille ne souffre aucune inflexion; elle nous donne à connoître que les distances  $pu$  sont en raison directe des sinus des angles d'inclinaison, & en raison inverse de leurs cosinus.

Je vais éclaircir cela par un exemple, afin qu'on ne puisse soupçonner notre méthode d'aucun inconvénient. Soit  $AB$  de 4 pieds, ou de 576 lignes, le poids de l'aiguille de 6000 grains & le petit poids  $p$  de 10 grains; soit la distance  $gp$  de 12 lignes, c'est-à-dire, qu'il faille mettre d'abord le petit poids à la distance de 12 lignes, depuis l'axe des tourillons, pour donner à l'aiguille l'équilibre horizontal: quant à l'angle  $fg h$ , on le trouvera en ôtant entierement le poids  $p$ , & en observant ensuite combien  $Ag$  se met au-dessous de l'horison. Supposé qu'on ait trouvé cet angle de  $45^\circ$ , on aura  $\frac{n}{m} = 1$ . Ces suppositions demandent que  $fg$  soit de  $\frac{1}{2} AB$

F iij



## 46 MEMOIRE SUR LES BOUSSOLES

de ligne. Si on vouloit que cette distance  $fg$  fût plus grande, en conservant à  $gp$  sa valeur de 12 lignes, il faudroit augmenter à proportion le petit poids  $p$ . Voici à présent une petite Table de distances  $gu$  en millièmes parties de pouces, en faisant varier les inclinaisons de l'aiguille de 5 en 5 degrés.

<i>Inclinaisons de l'Aiguille, exprimées par degrés.</i>	<i>Distances du petit poids, depuis l'Axe des Tourillons en mil- lièmes parties de pouces.</i>
0	1, 000
5	1, 087
10	1, 176
15	1, 268
20	1, 364
25	1, 466
30	1, 577
35	1, 700
40	1, 839
45	2, 000
50	2, 192
55	2, 428
60	2, 732
65	3, 214
70	3, 747
75	4, 732
80	6, 671
85	12, 430
90	infinie.

Cette Table nous donne à connoître quelle loi les distances du petit poids mobile observeroient par rapport aux inclinaisons de l'aiguille, pour la tenir toujours dans un parfait équilibre, si l'aiguille n'avoit point d'inflexion, ou que son inflexion fût constamment la même : mais comme ces inflexions varient, il faut suivre un autre calcul ; pour

n'être pas trop prolixé, je n'indiquerai le calcul que dans un cas.

Supposons que l'aiguille soit équilibrée horizontalement, ce qui demande que l'angle  $fgh$  soit nul, aussi bien que la première distance  $gp$ . Le centre de gravité se trouvera alors dans la ligne  $gh$ ; mais sa distance au point  $g$ , doit être censée composée de deux parties: la première est due à l'inflexion de l'aiguille, ( elle est indiquée par  $gc$  dans la 3<sup>e</sup> Figure ) que je nommerai  $a$ , & à cette partie j'ajoute encore une autre  $\epsilon$ , qui reste toujours la même; je considère cette petite distance  $\epsilon$ , parce qu'il n'est pas dans notre pouvoir de faire rencontrer le centre de gravité précisément dans le point que nous nous proposons. Ceci posé, on voit facilement par les principes que nous avons expliqués jusqu'ici, qu'on aura cette équation.

$P \frac{sc}{rr} \cdot a + P \frac{s}{r} \cdot \epsilon = p \times \frac{c}{r} \cdot x$ , dans laquelle on suppose  $gu = x$ , & que mettant le petit poids en  $u$ , l'aiguille sera équilibrée dans sa situation  $agb$ ; on aura donc cette équation,

$$gu = x = \frac{Prs\epsilon + Psc a}{pcr}.$$

Je ne pousse pas plus loin ces calculs, parce que mon intention n'est pas de m'en servir pour faire les divisions dans la partie de l'aiguille  $gB$ , mais seulement de faire sentir que la construction que je vais donner n'est absolument sujette à aucun inconvénient.

*Construction d'une autre nouvelle Boussole.* Il faut donc d'abord ajouter à la partie  $gB$ , un petit poids comme de dix grains, pour une aiguille d'environ 6000 grains; approcher ce petit poids des tourillons, jusqu'à environ la vingt & quatrième partie de  $gB$ ; ensuite mettre toute l'aiguille en équilibre avec la même attention qu'on a employée jusqu'ici dans la construction des aiguilles simples, en laissant le petit poids toujours dans sa place. On pourra pourtant laisser à l'aiguille un peu plus de panchant pour la situation:

horizontale que pour sa situation verticale. Cela fait, il faut avancer ou reculer le petit poids  $p$ , jusqu'à ce que l'aiguille se mette horizontalement, & marquer subtilement l'endroit du petit poids. Après cela, il faut l'approcher de l'extrémité  $B$ , jusqu'à ce que l'aiguille prenne une inclinaison de 5 degrés, & en marquer encore l'endroit, & ainsi de suite, en augmentant les inclinaisons de l'aiguille de 5 en 5 degrés.

Après ces préparations, il faut aimanter l'aiguille, en observant que le côté de l'aiguille auquel est attaché le petit poids, devienne le côté Boreal, pour les pays où la pointe Méridionale de l'aiguille s'élève, & qu'au contraire ce côté devienne le côté Méridional, pour les pays où l'inclinaison de l'aiguille se fait d'un sens contraire. Et voilà toute la construction.

*Maniere de se servir de cette nouvelle Bouffole.* Elle ne consiste qu'à mettre d'abord le petit poids à la place qu'on présumera convenir à peu près à la véritable inclinaison de l'aiguille; après quoi on avancera ou reculera le petit poids, jusqu'à ce que l'inclinaison marquée par l'aiguille s'accorde avec celle que marque le petit poids; & de cette façon, l'inclinaison marquée par l'aiguille, sera la véritable inclinaison: car comme l'aiguille reste toujours dans un équilibre parfait, une force infiniment petite peut l'en faire sortir, comme nous avons démontré; & si l'inclinaison de l'aiguille n'étoit pas la véritable, la pesanteur Magnétique agiroit encore sur l'aiguille, & ne lui permettroit pas de se tenir en repos. Je suis entièrement persuadé du succès parfait de cette nouvelle Bouffole, qui n'a aucun inconvénient, qui remédie à la fois aux deux grandes difficultés que nous avons examinées si scrupuleusement jusqu'ici; sçavoir à l'impossibilité morale de placer le centre de gravité dans un point donné, & à l'impossibilité absolue de fixer ce centre de gravité, & qui remédie encore à un troisième inconvénient, dont je n'ai point encore fait mention, & que j'indiquerai dans la suite: je n'ajouterai que deux remarques, qui m'ont paru les plus essentielles.

REMARQUE

REMARQUE I. Plus on aura réussi à équilibrer l'aiguille, & à la rendre indifférente à toutes les positions, plus on pourra diminuer le petit poids : deux ou trois grains auroient été suffisans pour l'aiguille de M. Muschenbroeck. On pourra remarquer ici, que la plus grande exactitude possible dans l'équilibrement, consiste à mettre l'axe des tourillons entre les points  $g$  &  $c$ , de la troisième Figure : en ce cas, la quantité  $\epsilon$  devient négative, & les divisions sur  $gB$  (Fig. 9.) se feront à peu près comme le marque cette équation.

$$gu = x = \frac{Psc\alpha - Prs\epsilon}{pcr};$$

dans laquelle pourtant la quantité  $\alpha$  est toujours plus grande que  $\epsilon$ . Cette équation nous fait voir qu'il faudra d'abord éloigner le petit poids des tourillons ; ensuite il restera presque dans la même place, & quand on augmentera davantage l'inclinaison de l'aiguille, on trouvera qu'il faudra rapprocher le petit poids des tourillons ; il faudra même le placer précisément dans l'endroit des tourillons, lorsqu'on aura  $c = \frac{\epsilon}{\alpha} r$ , après quoi il faudra le mettre sur le côté opposé  $gA$ , en l'avançant continuellement vers  $A$ . S'il étoit en notre pouvoir de placer le centre de gravité précisément au point qu'on se propose, je conseillerois de le placer pour la situation horizontale de l'aiguille, en sorte que l'axe des tourillons fût précisément au milieu du centre de gravité & du sommet de la courbure de l'aiguille. En ce cas, un grain & demi suffiroit pour équilibrer une aiguille longue de 4 pieds, & du poids de 6000 grains, dans toutes ses positions. Si on prend le poids plus grand que d'un grain & demi, les divisions en deviendront plus serrées : mais ces aiguilles faites avec tant d'exactitude, demandent aussi des Observateurs très-habiles, & d'être maniées avec une grande délicatesse. Il n'y aura point de mal à rendre les aiguilles un peu moins mobiles, à placer l'axe des tourillons un peu plus haut, & à faire ledit poids mobile un peu plus

Prix. 1743.

G

grand; il faudra sur-tout se relâcher beaucoup sur la trop grande mobilité des aiguilles, quand elles doivent servir sur mer; je traiterai cet article dans la suite. Ces Bouffoles ont ce grand avantage, qu'elles peuvent encore servir avec assez d'exa&ctitude, quoique le centre de gravité soit considérablement plus bas que l'axe des tourillons.

REMARQUE II. J'ai déjà indiqué que ces Bouffoles remédient en même tems à un troisi&me inconvénient, qui est le seul que nous n'avons pas encore examiné. Ce sont les défauts que peuvent avoir les tourillons. Ils devroient être parfaitement ronds. Tous les Auteurs en ont reconnu la nécessité; & ils ont même attribué une grande partie des défauts qu'ils ont remarqués dans les Bouffoles d'inclinaison, à la non-parfaite cylindricité des tourillons. Je ne s&çais s'ils sont assez fondés là-dessus; & il me semble que de la façon qu'on construit les tourillons, ils ne s&cauroient manquer d'être assez arrondis, pour ne plus pouvoir occasionner d'erreur sensible: quoi qu'il en soit, leur non-parfaite cylindricité ne peut produire aucune erreur dans nos Bouffoles, puisque je suppose les divisions faites sur l'aiguille, non par le calcul, mais par des observations. Ces divisions observées, redresseront tous les défauts, de quelque nature qu'ils soient.

§. 47. Examinons donc enfin, quel empêchement la non parfaite cylindricité des tourillons peut causer aux Bouffoles d'inclinaison, lorsqu'on ne la redresse point par les corrections que nous venons de décrire. Pour cet effet, supposons que la section perpendiculaire des tourillons soit une ellipse presque circulaire, dont le grand axe soit  $a$ , & le petit axe  $a - \alpha$ , en considérant  $\alpha$  comme beaucoup plus petit que  $a$ : supposons aussi que dans la position verticale du petit axe de cette ellipse, le centre de gravité de l'aiguille se trouve précisément dans l'axe des tourillons, qui passe par les centres de toutes les ellipses, ce centre de gravité s'éloignera du plan vertical qui passe par la ligne d'appui, aussi-tôt que l'aiguille se tournera, & sa distance sera

généralement  $= \frac{r}{s} \alpha$  : si l'on entend par  $r$  le sinus total, par  $s$  le sinus de l'angle de rotation de l'aiguille, & par  $\alpha$  le cosinus de cet angle. Cette distance est donc la plus grande lorsque vous détournez l'aiguille de sa première situation, d'un angle de 45 degrés, & elle devient alors  $= \frac{1}{2} \alpha$ . Il est donc vrai que si on s'éloignoit, dans la construction des tourillons, tant soit peu de la figure cylindrique, ces petites erreurs en pourroient causer de bien grandes, dans les observations de l'inclinaison des Bouffoles ordinaires; car si le grand axe de notre ellipse étoit d'une demi-ligne, & que ce grand axe fût au petit axe, par exemple comme 20 à 19, la différence des deux axes indiquée par  $\alpha$ , seroit  $\frac{1}{40}$  de ligne, & sa moitié  $\frac{1}{80}$  de lig. marqueroit combien le centre de gravité pourroit se jeter de côté, par la révolution de l'aiguille sur ses tourillons ellipsoïdiques. Or il est certain que de-là il pourroit naître des erreurs de quelques degrés, dans les observations de l'inclinaison de l'aiguille; c'est donc un nouveau degré de perfection à nos Bouffoles, puisqu'elles remédient en même tems à cet inconvénient.

§. 48. J'ose donc me flatter, non-seulement qu'on ne désapprouvera pas ces nouvelles Bouffoles, mais encore que l'on sera persuadé par les raisonnemens qui nous y ont conduit, qu'elles sont les plus parfaites & les plus simples qu'il étoit possible de donner. Ce qui est le plus recherché & le plus ingénieux, n'est pas toujours le plus préférable, sur-tout quand on n'a pas commencé ses recherches par une exacte théorie; on trouve souvent dans les machines qu'on propose, un certain tour d'invention, qui, étant examiné selon les vrais principes de mécanique, est tout-à-fait ridicule, ce que je pourrois confirmer par un grand nombre d'exemples. Je souhaite qu'on fasse l'épreuve de ces Bouffoles; mais comme elles demandent beaucoup d'attention, tant dans la construction que dans les observations, les premiers essais pourront ne m'être pas aussi favorables que les épreuves réitérées. Il y a une infinité de

petites choses à observer dans nos méthodes , pour leur donner tout l'avantage dont elles sont susceptibles , qui peuvent échapper dans les premiers essais , comme d'équilibrer l'aiguille & de la rendre mobile jusqu'à un certain point ; d'y proportionner le petit poids ; le choix de l'équilibre principal , de l'endroit où il convient de placer le petit poids dans l'équilibre principal , &c. Il n'y a que ceux qui ont bien examiné nos principes , qui pourront décider toutes ces questions , sans aucun essai préalable. Les autres ne le feront qu'après un grand nombre d'observations déjà faites. Tout ce détail m'emporteroit trop loin , & ennuiroit peut-être. Je me contenterai de remarquer en général , que lorsque la Bouffole doit servir pour tous les pays , on pourra s'en tenir aux constructions telles que je les ai décrites ; mais que si elle ne doit servir que dans une même ville , on fera mieux de mettre d'abord le petit poids au milieu des tourillons & de l'extrémité de l'aiguille ; d'équilibrer ensuite l'aiguille pour la même position , qu'on soupçonnera être son inclinaison , après qu'on l'aura aimantée , & de la rendre assez mobile , pour qu'en faisant parcourir au petit poids l'espace d'environ deux pouces , l'aiguille soit détournée de sa situation d'environ 5 degrés , après quoi on pourra faire les divisions de degré en degré. Cette précaution d'équilibrer l'aiguille sous le même angle , qu'on croira être la vraie inclinaison de la Bouffole , & de rendre en même tems l'aiguille fort mobile , suffit presque seule pour connoître assez précisément les inclinaisons de la Bouffole , & leurs variations d'un tems à un autre ; mais ces Bouffoles ne seront pas tout-à-fait si exactes , que si on y ajoutoit en même tems le petit poids mobile , & ne pourront servir que pour une même ville. Si on vouloit faire 90 aiguilles , équilibrées chacune sous un angle différent , & de degré en degré , cette provision d'aiguilles toutes simples , suffiroit pour connoître avec beaucoup de précision la vraie inclinaison dans tous les pays du monde , & en tout tems ; il n'y auroit

qu'à examiner laquelle de ces aiguilles feroit la moins éloignée de son équilibre naturel, par l'action de la pesanteur Magnétique.

§. 49. Disons encore un mot sur l'attention qu'on doit apporter à mettre les deux tablettes bien horizontalement. Supposons que ces tablettes aient une petite inclinaison, dont le sinus soit  $=s$ , & le sinus total  $=r$ , & soit le rayon des tourillons  $=\mathcal{C}$ , il est clair que si l'on suppose le centre de gravité de l'aiguille précisément dans l'axe des tourillons, il ne fera plus dans le plan vertical qui passe par la ligne d'appui, mais qu'il en sera éloigné de  $\frac{s}{r}\mathcal{C}$ , ou plutôt de  $\frac{\sqrt{rr-ss}}{rr}\mathcal{C}$ . Soit, par exemple,  $\mathcal{C} = \frac{1}{4}$  ligne, & l'angle d'inclinaison des tablettes d'un degré, la distance dudit centre de gravité au plan qui passe par la ligne d'appui, sera de  $\frac{1}{229}$  ligne; ce qui, dans l'aiguille de M. Muschenbroeck, auroit encore pû causer une erreur d'environ un degré dans l'inclinaison de la Bouffole. (parag. 25.)

§. 50. Cette réflexion nous fournit une maniere de connoître tout d'un coup l'erreur totale que peuvent causer tous les défauts qui se trouvent dans une aiguille ordinaire non-aimantée: c'est d'incliner peu à peu les tablettes, jusqu'à ce que les tourillons venant à se rouler, l'aiguille ait fait un tour entier. On verra que l'inclinaison qu'il faudra donner aux tablettes pour cet effet, sera assez considérable; car il faut qu'elle redresse tout ce que le petit frottement, l'imparfait équilibrement, la variation du centre de gravité, les défauts des tourillons peuvent opérer sur l'aiguille, pour l'empêcher de tourner librement: quand on aura remarqué le plus grand angle qu'il aura fallu donner à l'inclinaison des tablettes, on nommera son sinus  $s$ , &

il est clair que la quantité  $\frac{s}{r}\mathcal{C}$ , ou si l'on veut,  $\frac{\sqrt{rr-ss}}{rr}\mathcal{C}$ , multipliée par le poids de l'aiguille, marquera le plus grand effort requis pour donner un tour entier à l'aiguille, en la



## 54 MEMOIRE SUR LES BOUSSOLES

supposant couchée sur des tablettes horisontales ; & de-là on connoitra par le vingt-cinquième paragraphe , combien cet effort peut détourner l'aiguille aimantée de sa juste inclinaison. Dans l'aiguille de M. Muschenbroeck , l'angle d'inclinaison des tablettes, est à peu près égal à l'angle d'erreur qui en peut résulter dans l'inclinaison de l'aiguille aimantée ; & comme cette erreur se peut trouver également des deux côtés , il faut encore prendre le double , pour connoître toute la variation possible. Si M. Muschenbroeck avoit fait de cette maniere l'épreuve de cette aiguille , je suis sûr qu'il auroit trouvé qu'il falloit incliner les tablettes de 4 à 5 degrés , pour faire faire un tour entier à l'aiguille.

§. 51. Voilà donc mes réflexions les plus essentielles sur la meilleure construction des Boussoles d'inclinaison ; je ne dirai rien sur les précautions générales qu'on doit prendre pour donner aux aiguilles la plus grande vertu Magnétique , & pour s'assurer de tous les autres avantages. Tous les livres qui traitent de cette matiere en sont remplis ; ce n'est pas ici l'endroit de répéter ce que les autres ont dit : je me contenterai donc de dire , qu'il faut être exact à mettre l'aiguille dans le plan du méridien Magnétique : j'aurai occasion de toucher cet article , & de faire voir comment on peut obtenir que l'aiguille s'y mette d'elle-même très-exactement, aussi tôt qu'on l'en aura approchée , & comment on pourra en même tems éviter encore le petit frottement des tourillons qui doivent rouler sur les tablettes. Au reste , on sent assez , sans que je le dise , que les aiguilles doivent être conservées avec une extrême attention. Je crois que le meilleur sera de les tenir suspendues verticalement. Sur mer , on pourra les attacher par les deux bouts , & tâcher en même tems de conserver leur position verticale : si on vouloit vérifier de tems en tems les divisions faites sur nos Boussoles , il faudra leur ôter toute leur vertu Magnétique , ce qu'on fait en les mettant au feu , & en les laissant ensuite se refroidir dans leur situation horisontale ;

peut être vaudroit il mieux les mettre dans le plan de l'équateur Magnétique.

J'ai oublié de dire que lorsque les aiguilles souffrent de grandes inflexions, ce n'est pas proprement l'extrémité de l'aiguille qui marque son inclinaison, mais la tangente tirée au point  $g$ ; (Fig. 2.) d'où il est clair qu'il faudra toujours ajouter à l'arc marqué par l'extrémité  $a$ , un petit arc qui soit égal à  $gf$ , qu'on peut connoître exactement par nos méthodes, & qui est proportionnel au cosinus de l'angle d'inclinaison de l'aiguille. Dans celle de M. Muschenbroeck, cette  $gf$  pouvoit être de  $\frac{4}{7}$  de ligne, son inclinaison étant nulle, & pour son inclinaison de  $67^\circ$ , la petite  $gf$  auroit été d'environ  $\frac{1}{3}$  de lig. ou de  $\frac{1}{8 \frac{1}{2} 4}$  partie de la moitié de l'aiguille, laquelle moitié étant prise pour le rayon, & concevant la droite  $ag$ , l'angle  $Ag a$  seroit de 4 minutes, qu'il faudroit ajouter à l'angle marqué par l'extrémité de l'aiguille courbée par son poids, & ainsi des autres exemples. On pourra donc faire une Table pour ces petites corrections. Examinons à présent quelle est la meilleure maniere de faire les observations de l'inclinaison de l'aiguille aimantée sur mer, ce qui fait la seconde partie de la question proposée par l'Académie.



*Sur la meilleure maniere d'observer sur Mer  
l'Inclinaison de l'Aiguille aimantée.*

§. 52. **N**ous avons vû de quelle maniere on pourra connoître exactement l'inclinaison de l'aiguille; mais nous avons vû aussi avec quelle exactitude & quels soins les observations doivent être faites; le moindre mouvement, le soufle, un carosse qui passe, tout pourra incommoder l'Observateur. Quel succès donc se promettre de ces sortes d'observations sur mer? C'est un point que je me propose encore d'examiner & de réduire à ses premiers principes, pour être d'autant mieux fondé dans les remarques que je ferai sur cette matiere:

§. 53. J'ai démontré au paragraphe dixième & dans les précédens, que si on vouloit rendre les tourillons mobiles dans des viroles, le frottement que j'ai appelé parallele, emporteroit seul presque tout l'effet de la pesanteur Magnétique; cette réflexion nous a conduit naturellement au mouvement roulant des tourillons sur des tablettes horizontales: mais comme de cette façon l'aiguille est entièrement libre, les roulis du vaisseau pourront facilement la jeter de côté & d'autre: on pourra remédier en quelque façon à cet inconvénient, en ajoutant aux tablettes des rebords, tant en dehors qu'aux deux côtés; mais aussi-tôt que les tourillons viennent à toucher les bords, ils ne peuvent plus rouler, & ne sçauroient se tourner que sur leur axe, & dès-lors il se fait un frottement parallele, qu'on doit toujours éviter. C'est pourquoi l'Observateur prendra bien garde, qu'au moment de l'observation les tourillons ne touchent point les bords des tablettes. Cela ne sera pas difficile, si la mer est un peu calme; & si elle ne l'est point, il est superflu d'entreprendre ces sortes d'observations. J'ai démontré aussi au paragraphe 49, de quelle conséquence il

il est de faire les tablettes bien horifontales ; c'est pourquoi il faudra enchasser ces tablettes dans une piece mobile , qui , par son propre poids , retienne les tablettes dans cette position , & qu'on puisse en même tems tourner autour d'un axe vertical , pour mettre l'aiguille dans le plan du méridien Magnétique. Je crois aussi que trop d'exactitude à équilibrer l'aiguille , pourroit faire sur mer plus de mal que de bien ; je conseillerois plutôt de faire en sorte que le centre de gravité soit d'environ une demi-ligne au-dessous de l'axe des tourillons, & d'augmenter à proportion le poids mobile sur l'aiguille. La Bouffole en aura d'autant plus de penchant à s'approcher de sa juste inclinaison ; & ne s'en laissera pas détourner si facilement. C'est un grand avantage à nos Bouffoles, de marquer assez exactement l'inclinaison , quoique leur centre de gravité soit perpétuellement au-dessous de l'axe des tourillons ; & on doit profiter de cet avantage sur mer : il est vrai que les observations en feront un peu moins exactes ; mais il vaut mieux se relâcher un peu sur l'exactitude , que de se mettre hors d'état de faire les observations , pour peu que le vaisseau soit agité. Voilà , ce me semble , toutes les précautions qu'on peut prendre sur mer , à moins qu'on n'en vienne à des principes tout différens de ceux que nous avons considérés jusqu'ici : voyons s'il n'est pas possible d'en trouver de nouveaux.

§. 54. Je remarque que ce qui rend les observations de l'inclinaison de la Bouffole presque impraticables sur mer, c'est qu'il n'est pas permis de retenir les tourillons dans des virolles , parce que les frottemens en deviendroient trop grands ; examinons donc s'il n'est pas possible d'imaginer quelque nouveau principe pour prévenir les frottemens , & qui permette de retenir les tourillons dans leur assiette. Voilà les réflexions que j'ai faites là-dessus.

Un corps solide ne peut changer de position sans mouvement relatif : ce mouvement se fait ou sur un corps solide , (& en ce cas je suis persuadé qu'on ne sçauroit perfectionner

*Prix.* 1743.

H

## 58 MEMOIRE SUR LES BOUSSOLES

l'usage des Bouffoles d'inclinaison plus que nous avons fait ; soit par terre , soit par mer : ) ou il se fait dans un fluide ; c'est donc uniquement de ce nouveau principe des fluides , qu'on peut encore esperer quelque secours.

§. 55. Tout fluide résiste aux corps par l'inertie de ses parties. Cette résistance est proportionnelle aux quarrés des vitesses ; elle ne sçauroit donc jamais empêcher le moins du monde les corps qui nagent dans les fluides , de prendre parfaitement la situation que demande l'équilibre par rapport à la pesanteur du fluide , & du corps qui y nage ; puisque tout son effet ne peut consister qu'à retarder un peu cette situation. Il est vrai qu'il y a dans les fluides quelques autres résistances à considérer , qui se remarquent sur-tout dans les mouvemens fort lents ; mais toutes les expériences prouvent clairement , que dans les fluides qui n'ont point de tenacité , tels que l'eau , le mercure , &c. toutes ces résistances dépendent simplement des vitesses , & qu'elles ne sçauroient jamais empêcher les corps de se mettre très-parfaitement dans leur situation d'équilibre. Qu'on attache , par exemple , à un fil très-délié , aussi long qu'on voudra , un poids d'une pesanteur spécifique , tant soit peu plus grande que l'eau ; ce poids submergé sous l'eau , remettra toujours le fil très-parfaitement dans la situation verticale , quoiqu'il n'y soit poussé que par une force presque infiniment petite. S'il y a donc moyen de prévenir entièrement le frottement , c'est uniquement par le secours des fluides , qu'on pourra obtenir cet avantage. Cela m'a fait penser , si l'on ne pourroit pas se servir des aiguilles d'inclinaison à peu près de la maniere qui suit.

§. 56. Soit  $AB$ , ( *Fig. 10.* ) l'aiguille ;  $CD$ , l'axe des tourillons , qui traverse deux petits globes , en passant par leur centre  $E$  &  $F$ , auxquels ils doivent être affermis ; que ces globes soient arrondis avec grand soin , parfaitement égaux & homogènes ; après cela , je suppose deux cylindres , tels que représentent  $MPQT$ , ( *Fig. 11.* ) dont le diamètre intérieur soit un peu plus grand que celui des

globes qui y doivent entrer, & que ces cylindres soient remplis de mercure jusqu'en  $NR$ ; au bord de chaque cylindre, on entaillera verticalement une coupure  $TS$ , pour y passer les tourillons de l'aiguille : après quoi la douzième Figure marque comment les deux globes sont soutenus par le mercure dans les deux cylindres. Enfin, on mettra l'aiguille en équilibre de  $5$  en  $5$  degrés, moyennant le petit poids  $p$ , comme au paragraphe 46.

§. 57. Je me contenterai d'avoir exposé en gros mes idées là-dessus, quoique je voie bien qu'il faudra être attentif à un grand nombre de circonstances : on tâchera sur-tout d'approcher de fort près le centre de gravité de l'aiguille de l'axe des tourillons; de faire les deux boules parfaitement égales; de les bien arrondir; de faire que leur centre de gravité soit dans le centre des boules, & de passer l'axe des tourillons exactement par lesdits centres. Cependant toutes les petites erreurs qu'on commettra, seront redressées par les divisions convenables, qui marqueront les justes endroits du petit poids  $p$ , pour mettre l'aiguille dans un parfait équilibre, quelque inclinaison qu'on lui donne.

Pour plus grand succès, on pourra encore affermir les deux cylindres à une même pièce, qui, par son propre poids, se mette toujours dans une même situation par rapport à l'horison, & retienne les cylindres dans leur situation verticale, & qu'on puisse en même tems tourner autour d'un axe vertical, pour mettre l'aiguille à peu près dans le méridien Magnétique.

§. 58. Cette maniere de se servir des Bouffoles d'inclinaison sur mer, ne sçauroit manquer d'avoir de grands avantages sur toutes les autres : ici les tourillons ne peuvent s'échapper; & cependant bien loin de perdre leur mobilité, ils peuvent se tourner sans souffrir le moindre frottement. Car quand même les tourillons toucheront les bords des coupures  $TS$ , ou que les boules touchent les bords des cylindres, il n'y aura aucun frottement, parce

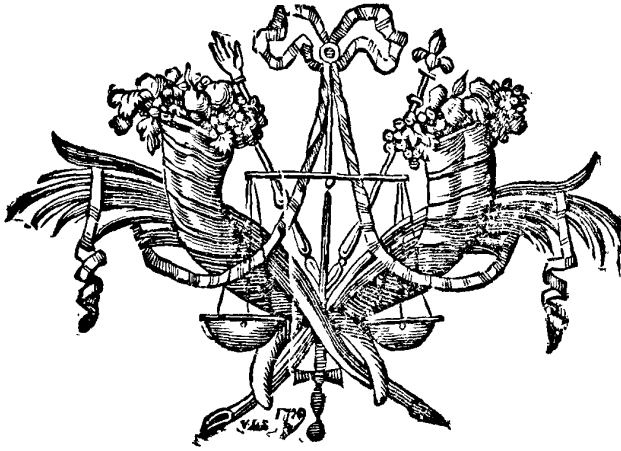
H ij

qu'il n'y a point de pression aux points d'attouchement : outre cela les surfaces du mercure sont toujours horizontales ; & comme on peut sans inconvénient donner aux coupures assez de largeur , pour que les tourillons puissent se tourner horizontalement de quelques degrés , on aura encore cet avantage , que l'aiguille se mettra d'elle-même entièrement dans le méridien Magnétique , s'il est vrai que ce soit un méridien ; c'est-à-dire , quelque inclinaison qu'on donne à une aiguille aimantée , elle se mettra toujours dans le même plan vertical , ce que je ne sçache pas avoir encore été assez confirmé. Tous ces avantages subsistent même sur terre , de sorte que je ne crains point de recommander cette méthode , dans quelque situation qu'on le trouve.

§ 59. Ces avantages tirés de la nature des fluides , nous en font encore espérer de plus grands , puisqu'il n'est pas impossible de construire des aiguilles uniformes & égales dans toute leur longueur , d'une même pesanteur spécifique avec un certain fluide. Une telle aiguille submergée dans ce fluide , n'a point de pesanteur ; ne souffre ni frottement ni inflexion : & on sçait que la vertu Magnétique ne laisse pas d'exercer toute sa force sur l'aiguille. On pourroit , par exemple , renfermer l'aiguille dans un tuyau de verre , & y laisser autant de vuide qu'il en faut , pour rendre le tout d'une pesanteur spécifique , égale à celle de l'eau. Il est vrai que l'on rencontre dans ces idées beaucoup d'inconvéniens , mais qui sont accidentels , & non inséparablement attachés à la nature de la chose. Ce seroit un avantage infini , de détruire l'action de la pesanteur jusque dans chaque point de l'aiguille , ce qui rendroit les observations de l'inclinaison de la Bouffole encore plus sûres & plus précises , que ne sont celles de la déclinaison ; & s'il est possible d'atteindre à ce dernier degré de perfection , c'est uniquement de ces nouveaux principes qu'on pourra l'espérer.

Au reste , je ne me suis appliqué dans ces recherches ,

qu'à la construction des aiguilles aimantées, fans rien dire de quelle maniere on doit appliquer le quart-de-cercle, pour prendre la mesure de l'angle que l'aiguille fait avec l'horison. J'ai cru devoir abandonner ce point, qui n'a aucune difficulté, à l'industrie & à l'adresse des ouvriers, pour ne point surcharger ce Mémoire.







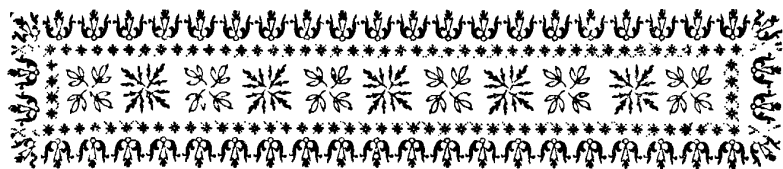
DE OBSERVATIONE  
INCLINATIONIS MAGNETICÆ  
DISSERTATIO,  
ILLUSTRISSIMÆ ACADEMIÆ REGIÆ  
Scientiarum Parisinæ æquissimo iudicio,  
pro Anno 1743.  
S U B M I S S A.

---

*Nihil turpius est Physico, quàm fieri sine causa quicquam dicere.*

A. DD. EULER, Matheseos Professore, è Societate  
Academiæ Imperialis Petropolitanæ.

**DE**



DE OBSERVATIONE  
INCLINATIONIS MAGNETICÆ  
DISSERTATIO,

ILLUSTRISSIMÆ ACADEMIÆ REGIÆ  
Scientiarum Parisinæ æquissimo iudicio  
pro Anno 1743.

S U B M I S S A.

---

*Nihil turpius est Physico, quàm fieri sine causa quicquam dicere.*

§. I. **Q**uemadmodum omne corpus in se spectatum indifferens est tam ad motum quàm ad quietem, atque vi propriâ inertix in eo, quem tenet statu, perpetuò perseverat: sic quoque ad omnes situs recipiendos æqualiter est comparatum, neque unum quempiam situm magis quàm ullum alium per se affectat. Quare cùm mutatio statûs, sive motûs, sive quietis, certissimè vim quandam externam tanquam causam mutationis declaret, dubium planè est nullum, quin affectatio certi cuiusdam sitûs à vi quâpiam externa proficiscatur. Sic quando videmus corpus pendulum in situ verticali acquiescere, gravitati causam tribuimus; ac, si corpus fluido innatans ad unum situm magis proclive observamus, quàm ad reliquos, præter gravitatem causam rectè in viribus aquæ partem corporis

*Prix.* 1743.

I

submersam prementibus collocamus. Simili modo si corpus flumine abreptum, in uno maximè situ deferitur, id non temerè fieri judicamus, sed in hoc quoque situ æquilibrii quandam speciem agnoscimus.

§. 2. In Magnete autem omninò duplicem effectum à viribus externis oriundumprehendimus; non solum enim alius Magnes ab alio ac ferro attrahitur, verùm etiam ad omnes situs, in quibus quidem suspensus per gravitatem acquiescere posset, minimè indifferens reperitur: hæcque proprietas posterior adeò cernitur, cùm prioris ne vestigium quidem animadvertere licet. Nisi enim Magnes in vicinia alterius Magnetis vel ferri versetur, nullum profus conatum singularem de loco, quem occupat, recedendi percipimus. Interim tamen non instar reliquorum corporum in quovis situ persistere valet; sed unum perpetuo præ reliquis, si sibi permittetur, eligit, in quo consistat: in hocque situ tam pertinaciter hæret, ut quamvis vi ex eo deturbetur, se tamen sponte in eum recipiat. Quod phænomenum eò magis est notatu dignum, quòd præter Magnetem, nullum aliud adhuc inventum sit corpus, quòd simili modo certum aliquem situm affectaret.

§. 3. Quamvis hæc constans directio Magneti sit propria; tamen faciliùs ac promtiùs observatur in acu chalybea, cui similis indoles per affricationem ad Magnetem est inducta. Plerumque enim tam moles Magnetis, quàm ejus figura impediunt, quominùs tam citò se ad eam, quam intendit, positionem applicare queat; & prætereà eadem impedimenta sunt in causa ut Magnes non tam commodè suspendi, nec per suspensionem omnis effectus à gravitate oriundus tam facilè tolli queat, sicut præsens institutum omninò efflagitat. Contrà verò acus omni adhibitâ diligentia ita potest fabricari, ut cunctis his incommodis careat; primò enim in lineam rectam extenditur, ut situs, quem tenet, faciliùs & distinctiùs dignosci queat. Deinde gracilis redditur, quòd promtior evadat ad motum recipiendum; tum vero ita paratur, ut commodè suspendi & ab omni effectu

gravitatis liberari possit. Quibus rebus fit, ut acus Magnetica, etiamsi non alia ac ipse Magnes gaudeat virtute, multò tamen aptior sit ad determinatam illam directionem à Magnete intentam patefaciendam. Cùm igitur in hac Dissertatione constituerim in modum facillimum inquirere, quò illa directio exactissimè cognosci queat, loco Magnetis perpetuò acum Magneticam substituam: neque de ipso Magnete aliter fermo incidet, nisi quatenus est fons istius virtutis directricis in acu.

§. 4. Cùm igitur acus Magnetica certum quendam situm; in quo acquiescat, requirat, atque in alium situm depulsa sponte suâ in eundem revertatur, causam esse oportet externam, quæ acum in istum situm impellat, in eoque contineat. Tametsi autem Illustrissima Academia Scientiarum hoc tempore non causam hujus phænomeni, sed tantùm idoneam id ipsum observandi penitusque cognoscendi methodum postulet, tamen sine ullâ cognitione causæ nihil certi in hoc negotio præstari posse videtur. Ignoratâ enim prorsùs causâ hujus directionis, impedimenta, quæ observationem turbare valeant, nullo modo cognosci, multò verò minùs evitari poterunt. Neque verò ad hoc institutum necesse est, ut vera hujus proprietatis Magneticæ causa perspiciatur, quam discussionem mihi in sequentem annum reservo; sed sufficiet causam qualemcunque, dummodo isti soli phænomeno producendo par sit in animo fingere, ut habeamus, quorsùm nostras ideas dirigamus, undeque subsidia ad impedimenta superanda petamus. Interim tamen non vereor, ne tali causâ generali fingendâ nimis longè à veritate recessero.

§. 5. Omninò igitur statuo cunctas Magnetis proprietates à materiâ quâdam subtili proficisci, quæ motu suo tam attractionis, quàm directionis phænomena producat. Hæc itaque materia subtilis undique dispersa in quovis loco certam ac determinatam tenebit directionem, secundùm quam moveatur. Materia porrò isthæc in nulla alia corpora præter Magnetem & ferrum virtute Magneticâ imbutum agit:

I ij

dum autem in Magnetem pluribus modis agit, hinc eum tantum effectum considerasse sufficiet, quo cum ipse Magnes, tum præcipue acus Magnetica, secundum eam ipsam directionem disponuntur, in quâ materia illa subtilis movetur; hocque tam pertinaciter, ut eadem acûs cuspis perpetuò ad eandem plagam dirigatur, neque ambæ extremitates utcunque similes inter se commutari queant. Tum verò ita comparata est hæc materia subtilis, ut nisi corpus aliud Magneticum in vicinia acûs reperiatur, nullum alium effectum in acum exerat præter directionem secundum motum suum; hincque acus, etsi virtute Magneticâ imbuta, cessat esse in æquilibrio, in quo antè quiescebat, tamen prorsus non fit gravior, sed idem quod antè pondus retinet. Denique acus, si semel fuerit directionem materiæ subtilis nacta, non solum in ea persistit, sed etiam si inde declinetur, in eundem situm se convertit. Generalia hæc sunt phænomena potius quàm conclusiones ex causâ derivatæ; ex quo eò minus erit metuendum, ne hæc secutus in errores delabar.

§. 6. Quando igitur directionem acûs Magneticæ explorare volumus, nihil aliud conamur, nisi ut directio motûs, quò materia subtilis Magnetica circumfertur, in dato loco accuratè definiatur. Atque vicissim si directio acûs Magneticæ, omni adhibitâ circumspeditione post exponendâ, observetur, eo ipso innotescet directio cursûs, quem Magnetica materia tenet eo tempore eoque in loco. Observationes enim adhuc institutæ luculenter evincunt cursum materiæ Magneticæ, cui phænomena Magnetis tribuimus, non solum in diversis locis esse diversum, sed etiam in eodem loco labente tempore sensibiliter immutari. Ceterum satis notum est plures acus Magneticas eodem loco eodemque tempore admodum diversas positiones recipere, præcipue si inclinatio spectetur; quæ diversitas certè vitium in acubus potius arguit, quàm inconstantiam tantam in motu materiæ subtilis. Quamobrem si inclinatio Magnetis investigatur, non quantum data acus inclinet quæritur, quod

effet facillimum, sed in hoc quæstionis cardo versatur, ut ea inclinatio definiatur quam habitura esset acus omni vitio carens; vel quod eodem redit, ut modus acus Magneticas omni vitio carentes fabricandi indicetur. Atque in hunc sensum quæstionem ab Illustrissima Academia propositam interpretandam esse arbitror.

§. 7. Habebit ergò materia ista subtilis Magnetica in dato loco datoque tempore certam ac determinatam motûs sui directionem, quæ quomodò per observationes explorari debeat, hîc me ostendere debere intelligo, si quidem quæstioni ab Academiâ Regiâ propositæ satisfacere velim. Quæcunque autem sit ista directio, primùm videntum est quo pacto ea, quibusque mensuris modo intelligibili describi queat, ut quisque ex descriptione distinctam sibi ideam ejus directionis formare possit. Commodissimè verò hoc more solito fieri posse videtur, dum primùm superficiem planam constantem, horizontem scilicet, assumimus, atque inclinationem ejus directionis ad hoc planum assignamus, quæ mensuratur angulo, quem ista directio in plano verticali sumta cum horizonte constituit; iste ergò angulus erit illa ipsa Magnetis inclinatio, quæ quæritur. Deinde cognitâ inclinatione, positio plani verticalis per directionem describendam transeuntis super horizonte debet designari; in quo negotio, cum horizon soleat secundùm plagas mundi cardinales dividi, nulla omninò inest difficultas. Præcipua autem horizontis divisio fit per Lineam Meridianam, & angulus, quo ille circulus verticalis ab hac lineâ distat, vocatur declinatio Magnetis. Cognitis ergò cum declinatione tum inclinatione acûs Magneticæ omni numero absolutæ, directio cursûs materiæ Magneticæ innotescet.

§. 8. Quoniam vitia, quibus acus Magnetica sunt obnoxia, inclinationem potissimùm turbant, declinationem verò non admodùm afficiunt, multò difficilior quoque est observatu inclinatio, quàm declinatio. Proficiscuntur autem hæc incommoda præcipuè ab acûs gravitate naturali; quæ



uti declinationem minimè turbat, eò quòd ejus directio ad horizontem est perpendicularis, ita tota impenditur ad inclinationem alterandam. Quamobrem maxima cura in hoc collocari debet, ut effectus à gravitate oriundi in observatione inclinationis Magneticæ omninò destruantur atque exuantur. Perspicuum autem est omnem operam quæ ad hæc impedimenta evitanda impendetur, fore irritam, nisi priùs quantum & quot modis gravitas inclinationem Magnetis naturalem perturbare valeat, distinctè cognoverimus. In hac disquisitione plures occurrent quæstiones cum in se spectatæ utiles & notatu dignæ, tum verò perturbationes à gravitate ortas ita clarè demonstrantes, ut deinceps multò faciliùs sit futurum, acum Magneticam ita adstruere, & ad usum accommodare, ut situ suo veram materiæ subtilis Magneticæ directionem exhibeat.

FIG. I.

§. 9. Si gravitas omninò abesset, seu acus in fluido ejusdem secum gravitatis specificæ volitaret, tum dubium est nullum, quin acus statim sese in situm cum directione materiæ Magneticæ congruentem sit compositura; quam directionem acûs hoc modo effici conficiamus. Sit linea  $ba$  directio motûs materiæ Magneticæ; acus autem versetur in situ  $ACB$ , ita ut à directione Magneticâ aberret angulo  $ACa$ , seu  $BCb$ . Ejusmodi igitur acum sollicitans statui debet, à quâ centrum gravitatis acûs  $C$ , non de loco suo moveatur. Statui igitur oportet acum in duobus punctis  $A$  &  $B$  à centro gravitatis  $C$  æquè remotis, à viribus æqualibus sollicitari in directionibus oppositis  $AP$ ,  $BQ$ , quas ad acûs longitudinem normales assumo, quoniam ab iis eatenùs tantùm in acu motus generari potest, quatenùs sunt ad ipsam normales. Ab his igitur duabus viribus acus circa centrum gravitatis  $C$  immotum convertetur, ac versùs situm  $ab$  redigetur. Quoniam autem, cum acus fuerit in situm  $ab$  adducta, vires penitùs cessare debent, necesse est ut quantitas harum virium ab angulo  $ACa$  ita pendeat, ut evanescente angulo ipsæ vires evanescant. Apparebit autem phænomenis satis propè satisfieri, si istæ vires sinibus

anguli  $ACa$  proportionales statuuntur, tum enim primùm oscillationes minimæ, quas acus circa situm quietis  $ab$  peraget, erunt isochronæ; & deinde acus in eundem situm  $ab$  redigetur, etiamsi angulus  $ACa$  major fuerit recto; quas condiciones experientia postulat.

§. 10. Ex hac hypothefi virium Magneticarum definiri poterit motus, quo acus ex quolibet situ in situm naturalem  $ab$  pervenit, atque successivè acceleratur. Gravitate igitur adhuc sepositâ, sit semiffis longitudinis acûs  $AC = BC = a$ : massa autem totius acûs sit  $= M$ , quam per totam longitudinem æquabiliter distributam assumo. Pervenerit jam acus ex situ obliquo quocunque in situm  $ACB$ , quem figura exhibet; ac ponatur angulus  $ACa = z$ , ejusque sinus  $= x$ , sinu toto posito  $= 1$ , ita ut sit  $dz = \frac{dx}{\sqrt{(1-xx)}}$ . Nunc autem habeant extremitates  $A$  &  $B$  tantam circa  $C$  celeritatem quæ debeatur altitudini  $v$ . Sint jam vires  $AP$ , &  $BQ$ , quibus acus sollicitatur  $= px$ , ita ut  $p$  illa vis, qua utraque acûs extremitas urgetur, cùm acûs directioni  $ab$  normaliter insistit. His positis, erit  $dv = \frac{-6px}{M} \cdot a dz = \frac{-6p}{M} \cdot \frac{ax dx}{\sqrt{(1-xx)}}$ : hincque integrando,  $v = \frac{6ap}{M} (C + \sqrt{(1-xx)})$ . Inceperit acus motum, cùm esset ad  $ba$  inclinata angulo, cujus cofinus  $= n$ , sitque anguli  $ACa$  cofinus  $= \sqrt{(1-xx)} = y$ , erit  $v = \frac{6ap}{M} (y-n)$ . Quando ergò acus in situm  $ab$  appellet, celeritas ejus in extremitatibus debita erit altitudini  $v = \frac{6ap}{M} (1-n)$ ; ipsa ergò hæc celeritas erit ut sinus dimidii anguli, quem acus descripsit.

§. 11. Quòd si jam gravitas insuper accedat, quoniam per eam corpora sibi relicta nunquam ad quietem pervenire possunt, sed perpetuò descendunt, necesse est ut per suspensionem corpora retineantur, ne nunquam moveri desinant. Quò igitur acus Magnetica gravis tandem acquiescat, necesse est ut ea suspendatur, vel fulcro imponatur;

hocque modo semper dabitur situs in quo acus quiescet : ad quem definiendum trium rerum rationem haberi oportebit ; primò scilicet gravitatis naturalis , quâ acus ad motum cietur , deinde vis illius Magneticæ acum sollicitantis , ac tertio ipsa suspensionis ratio erit habenda . Cùm autem suspensio innumerabilibus modis pro arbitratu nostro possit variari , dum binæ illæ vires non sunt in nostra potestate positæ , à suspensione potissimum situs , in quâ acus æquilibratur , pendebit . Suspendio nimirum efficiet , ut situs acûs æquilibrii modo magis , modo minus à situ , quem materia subtilis Magnetica ipsi inducere annitur , differat : hincque fit ut diversæ acus inclinatoryæ tantopere à se invicem discrepent . Quamobrem cùm acus Magnetica ita instructa requiratur , ut ejus situs æquilibrii prorsus non differat à directione materiæ Magneticæ , ejusmodi suspensionem investigari oportebit in quâ gravitas effectum vis Magneticæ nullo modo perturbet .

FIG. III.

§. 12. Sit primùm acus omnis virtutis Magneticæ expertus , eaque more solito ita suspendatur , ut ejus centro gravitatis existente in  $C$  , ea mobilis reddatur circa punctum fixum  $O$  supra centrum gravitatis  $C$  positum . Hic igitur manifestum est , si intervallum  $OC$  fuerit normale ad longitudinem acûs  $AB$  ; tum acum in situ horizontali non solum esse quieturam , sed etiam inde deturbatam eodem sponte se esse recepturam : sin autem intervallum  $OC$  evanescat , tum acum ad omnes omninò situs fore indifferentem . Imposita sit acus , uti fieri solet , cuspidi immobili  $DO$  , ut super ea liberè in gyrum agi , quasi circa axem verticalem queat ; atque gravitas hunc motum horizontalem prorsus non afficiet , illum nec impediendo nec adjuvando . Quamobrem si ad gravitatem accedat virtus Magnetica quæ conabitur acum , cùm in eum circulum verticalem , in quo directio Magnetica versatur , motu horizontali perducere , tum verò acum directioni Magneticæ convenienter ad horizontem inclinare , perspicuum est priorem effectum à gravitate nullo modo turbatum iri . Ideoque acus  
motu

motu horizontali in eum circulum verticalem, in quo movetur materia Magnetica, adducetur; hocque pacto veram Magnetis declinationem monstrabit gravitate non obstante.

§. 13. Longè aliter autem inclinationis ratio est comparata, quippe quæ ab acûs gravitate exposito modo suspensæ plurimum afficitur atque alteratur. Quod ut clariùs appareat, ponamus acum horisontali motu jam in eum circulum verticalem esse perductam, quem declinatio requirit, sitque  $ab$  directio materiæ Magneticæ, in quam acus se reciperet, si nihil obstaret. Cùm igitur acus utrinque ad hanc positionem  $ab$  sollicitetur, à gravitate autem in situ horizontali contineatur, revera aliquantum inclinabitur, situmque quempiam medium inter horizontalem, quem gravitas postulat, & situm  $ab$  quem materia Magnetica desiderat, eliget. Sit  $AB$  iste acûs situs, quem utrâque vi sollicitata occupabit,  $C$  ejus centrum gravitatis in mediâ longitudine positum, ac ponatur  $AC = BC = a$ . Porro sit distantia poli  $O$  circa quem acus est mobilis, à centro gravitatis  $C$ , nempe intervallum  $OC = c$ , quod uti assumimus ad longitudinem  $AB$  sit normale. Ex  $C$  ducatur recta verticalis  $CM$ , quæ simul pondus acûs, quod sit  $= M$ , exprimat; ac ponatur angulus  $bCM = \alpha$  quem directio Magnetica  $ab$  cum verticali constituit: cujus anguli sit sinus  $= m$ , & cosinus  $= n$ , existente sinu toto  $= 1$ . Hanc autem directionem  $ab$ , unâ cum acûs structurâ hîc tanquam res cognitas assumo.

FIG. III.

§. 14. Ex his definiri poterit situs æquilibrii  $AB$ , in quo acus acquiescet: hunc in finem ponatur angulus  $ACa = z$ , ejus sinus  $= x$ , & cosinus  $= y$ . Vis igitur quâ acus in utraque extremitate  $A$  &  $B$ , normaliter ad sui longitudinem situm  $ab$  versùs urgebitur, erit  $= px$ , denotante  $p$  vim illam, quâ acus, si ad  $ab$  normaliter est posita, sollicitatur. In æquilibrio ergò nunc esse debent hæ duæ vires  $Aa$ ,  $Bb$ , quarum utraque est  $= px$ , cum vi gravitatis  $CM = M$ : quoniam  $CO = c$ , normalis est ad  $AB$ , ideoque parallela

Prix. 1743.

K

directionibus virium  $px$ , erit uniuscujusque momentum  $= pax$ , & utriusque momentum junctim  $= 2pax$ , quia utrumque ad acum in eandem plagam gyrandam tendit. Huic itaque momento æquale esse debet momentum à vi  $CM = M$  ortum respectu poli  $O$ , quod est  $= M.CO$ , sin.  $MCO = M.CO.$  cof.  $MCB$ . At est  $CO = c$ , & cof.  $MCB =$  cof.  $MCb.$  cof.  $BCb -$  sin.  $MCb.$  sin.  $BCb = ny - mx$ : unde momentum à gravitate ortum erit  $= Mc(ny - mx)$ , quod æquale est momento  $2pax$ . Habebitur ergò ista æquatio  $2pax = Mncy - Mmcx$ , quæ dat  $\frac{x}{y} = \frac{Mnc}{Mmc + 2pa}$ , qui valor exprimet tangentem anguli quæsitæ  $ACa$ , seu  $BCb$ . Ad hunc ergò angulum acus in circulo verticali, per directionem Magneticam transeunte inclinabitur, si mobilis fuerit circa axem horizontalem per punctum  $O$  transeuntem, & ad circulum illum verticalem normalem.

Fig. IV. §. 15. In hac disquisitione assumi punctum  $O$  circa quod acus est mobilis ita esse situm, ut ejus distantia  $OC$ , ad longitudinem acûs esset normalis. Quo autem iste calculus latius pateat, ponam hoc intervallum  $OC$  utcunque esse ad longitudinem  $AB$  inclinatum. Manente ergo distantia  $OC = c$ , sit anguli  $ACO$  sinus  $= \mu$ , cosinus  $= \nu$ , & ex  $O$  in  $AC$  demissum perpendiculum  $Oc$  erit  $= \mu c$ , & spatium  $Cc = \nu c$ . Sit ut antè  $AC = BC = a$ ; pondus acûs  $CM = M$ , anguli  $MCb$  sinus  $= m$  cosinus  $= n$ : anguli verò quæsitæ  $BCb$  sinus sit  $= x$ , & cosinus  $= y$ . Jam cum acus in  $A$  &  $B$  sollicitetur vi  $= px$ ; erit momentum vis in  $A$  applicatæ  $= px(a - \nu c)$ , & vis in  $B$  applicatæ momentum  $= px(a + \nu c)$ , ita ut summa horum momentorum sit ut antè  $= 2pax$ . Deinde verò quia est angulus  $MCO = MCb + BCb + BCO = MCb + BCb + COc +$  recto, erit sinus  $MCO =$  cof.  $(MCb + BCb + COc) = (\mu n - \nu m)y - (\mu m + \nu n)x$ , unde momentum ponderis est  $Mc(\mu n - \nu m)y - Mc(\mu m + \nu n)x$ , quod æquale esse debet momento virium Magneticarum.

contrà nitenti  $2 p a x$ . Hinc reperietur anguli quæsiti  $ACa$ , seu  $BCb$  tangens  $\frac{x}{y} = \frac{Mc(\mu n - \nu m)}{Mc(\mu m + \nu n) + 2 p a}$ . Hæc formula latissimè patet, ac præcedentem in se complectitur, si ponatur  $\mu = 1$ , &  $\nu = 0$ , quo casu quippe fit angulus  $ACO$  rectus.

§. 16. Hinc patet duobus casibus fieri posse ut angulus  $BCb$  evanescat, atque acus sese in ipsam materiæ Magneticæ directionem  $ab$  componat, quorum primus est, si fuerit distantia  $OC = c = 0$ ; hoc est si acus ex ipso sui centro gravitatis  $C$  suspendatur. Alter casus locum habet, si fuerit  $\mu n - \nu m = 0$ ; at  $\mu n - \nu m$  exprimit cosinum summæ angulorum  $MCb + COc$ . Quòd si ergo summa horum duorum angulorum faciat angulum rectum, quod evenit, si fiat angulus  $MCb =$  angulo  $ACO$ , tum acus in æquilibrio constituta ipsam directionem Magneticam  $ab$  indicabit, fietque hoc statu recta  $CO$  verticalis. Si igitur cognita esset directio Magnetica  $ab$ , facillè ejusmodi acus confici posset quæ suspensa cum ipsâ directione Magneticâ congrueret, etiamsi axis suspensionis  $O$  non per centrum gravitatis  $C$  transeat, dummodo punctum  $O$  ita accipiatur, ut angulus  $ACO$  æqualis fiat angulo  $MCb$  quem directio Magnetica cum recta verticali  $CM$  facit. Hocque eò faciliùs præstari posset, etiamsi locus centri gravitatis  $C$  non accuratissimè constet, quod intervallum  $OC$  pro lubitu assumi potest; hoc scilicet eousque augeri poterit, ut error à situ centri gravitatis non exactissimè cognito oriundus prorsùs fiat insensibilis.

§. 17. Ex hoc autem modo inclinationem Magneticam explorandi parum commodè nanciscimus, cùm ante acús parationem ipsam directionem Magneticam nosse oporteat. Interim tamen videatur pluribus tentaminibus successivè instituendis vera inclinatio Magnetis cognosci posse per angulum  $ACO$ , tum enim si angulus  $ACO$  æqualis sit angulo quæsito  $MCb$ , linea  $OC$  in æquilibrio fiat verticalis, in quem situm pervenire nequit, nisi illi anguli inter

K ij

se sint æquales ; per plura tentamina tandem ille angulus  $ACO$  indagari poterit, qui rectæ  $CO$  situm verticalem conciliet. Quæ quamvis esse possit via in se certa, tamen ad usum practicum nimis foret crassa, atque veram directionem Magneticam vix propiùs indicaret, quàm per acus solitas fieri solet. Ponamus enim angulum  $MCb$  prope jam innotuisse, atque angulum  $ACO$  tantum statui ut expressio  $\mu n - y m$  fiat exigua satis, sive nihilo major, sive minor: priori casu habebit  $\frac{x}{y}$  valorem affirmativum, posteriori negativum quoque haud magnum: unde sinus anguli  $ACa = x$  erit admodum parvus. Hoc casu utique linea  $OC$  cum verticali  $CM$  non erit in directum posita, sed angulum cum ea constituet, cujus sinus erit  $= \frac{2pax}{Mc}$ : hic autem angulus ob fractionem  $\frac{2p}{M}$  quàm minimam uti postea videbimus, tam erit exiguus, ut planè non possit esse perceptibilis. Neque verò intervallum  $c$  præ  $a$  tantopere diminuere licebit, ut illa diminutio resarciatur. Hoc ergo pacto fit, ut directionem Magneticam propemodum quidem, at omnino non exactè cognoscere valeamus.

§. 18. Interim tamen hanc viam directionem Magneticam explorandi non prorsùs rejiciendam esse arbitror, cùm iis difficultatibus non sit obnoxia, quibus altera suspensionem è centro gravitatis postulans, urgetur; tametsi equidem eam nondum ad hunc perfectionis gradum perduxerim, ut ad usum practicum transferre audeam. At venient fortasse tempora, quibus hinc multò majores fructus percipere licebit, cùm scilicet omni accuratone etiam minimi anguli discerni & mensurari poterunt. Cognito enim angulo  $ACO$ , suspendatur acus in meridiano Magnetico ex axe horizontali  $O$ , & in statu æquilibrii dispiciatur, utrum recta  $OC$  in  $N$  producta à verticali  $CM$  Boream  $B$  an Austrum  $A$  versùs declinet? nam si declinatio hæc ad Austrum vergat, indicio erit angulum  $MCb$  minorem esse angulo  $ACO$ ; contrà verò, si  $OC$  producta Boream  $B$ :

versus declinet à verticali  $CM$ , constabit angulum  $ACO$  minorem esse angulo  $MCb$ . Priori casu inclinatio ab acu monstrata nimis erit parva, posteriore verò nimis magna. Atque hoc modo si angulorum minimorum concedatur dimensio, post aliquot tentamina angulum  $ACO$  ita formare licebit, ut rectæ  $CN$  situm verticalem, ipsique acui directionem Magneticam veram conciliet. Verumtamen ob gravia obstacula, quæ nondum è medio tollere possum, hanc methodum tantùm mihi indicasse sufficit, campumque aperuisse aliis majori curâ colendum.

§. 19. Revertor igitur ad casum alterum, quo positio acûs cum directione Magnetica congruit: neque ista convenientia à gravitate naturali perturbatur, uti fit in reliquis suspensionis casibus omnibus. Præstat autem iste alter casus præ modo memorato hoc potissimum, quòd acûs præparatio cognitionem inclinationis Magneticæ in antecessum non requirat, sed quantacunque fuerit inclinatio, acûs structura eadem maneat: ex quo hoc nascitur commodum maximi momenti, ut ope acûs ad hunc modum præparatæ in omni loco omnique tempore inclinatio eâdem operâ possit explorari. Quam ob causam hunc modum præcedenti tantopere anteferendum esse censeo, ut omne studium ad eum solum excolendum sim adhibiturus. Requiritur ergò hoc maximè, ut acus, ex ipso sui centro gravitatis quàm accuratissimè suspendatur, neque in hoc vel minimus error committatur. Quod opus cùm sit difficillimum, tum eò magis erit elaborandum, ut omnia impedimenta cognoscamus, iisque feliciter occurramus. Cognito autem centro gravitatis, acus ita axe perfectissimè tornato erit transfigenda, ut centrum gravitatis in medium axem incidat, ipseque axis simul ad longitudinem acûs sit exactissimè normalis. Neque enim in inclinatione indaganda acus stylo imponi potest, uti fieri solet, quando declinatio observatur; sed acum circa axem mobilem efficere oportet, quò liberius ad quemvis angulum inclinari queat

§. 20. Ex formulis suprâ ope calculi erutis satis luculenter.

K iij



FIG. V.

perspicitur, quanta aberratio inclinationis acûs à verâ directione Magneticâ nascatur, si centrum axis, seu punctum suspensionis  $O$ , non in centrum gravitatis  $C$  incidat. Imprimis autem notandum est errorem quàm minimum in suspensione commissum perquàm notabilem aberrationem in acûs inclinationem importare; eò quòd vis Magnetica  $p$  præ pondere acûs  $M$  ferè evanescit. Idem igitur hoc clariùs apparebit, si quantitatem absolutam vis Magneticæ  $p$  per experimenta determinavero, quod sequenti modo satis commodè fieri poterit. Ponamus igitur acum  $AB$ , ex ipso gravitatis centro  $C$  esse suspensam, ejusque axem normalem esse ad meridianum Magneticum, in quo  $ab$  sit vera directio Magnetica, quæ cum directione verticali  $CM$  faciat angulum  $MCb$ , cujus sinus sit  $= m$ , cosinus  $= n$ . Acus igitur hæc sine mora sese in situm  $ab$  recipiet. Poterit autem extremitati  $A$  ejusmodi pondusculum imponi, quo acus in situ horizontali  $AB$  conservetur. Sit hoc pondusculum per experientiam exploratum  $= q$ ; & cum vis Magneticæ momentum hoc casu sit  $= 2pna$ , posito  $AC = BC = a$ , erit  $qa = 2pna$ , ideoque  $p = \frac{q}{2n}$ .

FIG. IV.

§. 21. Ex cognito ergò tum angulo inclinationis Magneticæ  $Bcb$ , tum pondusculo caudæ  $A$  imponendo  $q$ , ut acus in situ horizontali persistat, statim reperitur vis Magnetica absoluta  $p$  pro data acu, Muschenbroeckius autem observavit acui, 4 ped. longæ & ponderis 6105 granorum, quæ inclinationem habebat  $67^\circ$ , ita ut angulus  $bCM$  sit  $23^\circ$  in cauda  $A$  imponi debuisse pondusculum  $1\frac{1}{2}$  granorum, quo acus in situ horizontali perseveraret. Fiet ergo ob  $q = 1\frac{1}{2}$  gran. &  $n = \cos. 23^\circ = \sin. 67^\circ$ , vis Magnetica  $p = \frac{81}{100}$  gran. quæ vis respectu gravitatis acûs 6105 gran. est ferè imperceptibilis. Assumpto hoc pro  $p$  valore, si ponamus eandem acum 4 pedum vitio tantillo laborare, ut centrum axis  $O$  distet à centro gravitatis  $C$  intervallo  $OC = c$ , lineamque  $OC$  ad acum Austrum versùs  $A$  inclinatum esse angulo  $OCA$  cujus sinus  $= r$ , cosinus  $= v$ , veræque Magneticæ

inclinacionis  $MCb$  sinum esse  $=m$ , cosinum  $=n$ ; his positis, erit tangens anguli aberrationis  $BCb = \frac{6105c(\mu n - \nu m)}{6105c(\mu m + \nu n) + 3259}$ , uno pede per 1000 scrupula expresso. Sit angulus  $ACO$  rectus, & verus angulus  $MCb$  sumatur  $23^\circ$ , prodibit tangens anguli  $BCb = \frac{5620c}{2385c + 3259}$ : unde apparet si error  $OC$  unicam tantum partem millesimam pedis adæquet, ut sit  $c = 1$ , angulum  $BCb$  fore  $45^\circ$ ; & si  $OC$  decies sit minus, errorem tamen in angulo  $BCb$  ascendere ad  $9^\circ$ . Quibus perpensis, non amplius mirari debemus summum diffensum, qui in observationibus circa inclinationem acûs Magneticæ institutis,prehenditur.

§. 22. Ex his simul intelligitur, quàm difficile sit acum Magneticam præparare, quæ veram materiæ Magneticæ directionem ostendat, cum minimus error è non accuratâ centri gravitatis cum puncto suspensionis congruentiâ ortus satis ingentem declinationem positionis acûs à directione Magneticâ pariat. Hoc certè Muschenbroeckius cum in instrumentis conficiendis, tum in experimentis instituentis solertissimus, sufficienter est expertus. Tanto enim studio tres acus inclinatorias diversæ longitudinis elaboravit, ut neget unquam tantam diligentiam in hoc negotio fuisse adhibitam; interim tamen confitetur has acus magnoperè à se invicem discrepasse, dum enim longissima 4 pedum inclinationem monstraret  $67^\circ$ ; altera  $3\frac{1}{2}$  pedes longa ad angulum  $72^\circ$  inclinabatur; tertia verò bipedalis tantum ad  $60^\circ$  infra horizontem deprimebatur; etiamsi omnes hæ acus eidem Magneti essent affricæ. Quanquam autem iste Auctor arbitratur hanc differentiam à longitudinis diversitate proficisci; tamen hoc minimè probat, dum ne duas quidem acus æquè longas & æqualiter inclinantes exhibere potest. Quin potius veram hujus dissensûs causam ex allatis clarissimè perspici autumo; indeque rectè mihi quidem concludere videor, eo modo, quem Muschenbroeckius proponit, majorem consensum in variis acubus sive ejusdem sive diversæ longitudinis ne expectari quidem posse, nisi.

fortè in duabus acubus casu errores se invicem adæquent.

§. 23. Quoniam hic quantitatem virtutis Magneticæ, quâ datâ acus dirigitur, ex eo experimento definire licuit, quo pondusculum caudæ in nostris quidem regionibus imponendum fuit observatum, quod acum in situ horizontali continere valeat, optarim, ut simili modo ponduscula caudæ imponenda fuissent observata, quæ acum in quovis alio situ continere valerent. Per hujusmodi enim experimenta simul hypothesis, quâ assumpsi vim directricem acûs Magneticæ esse in ratione sinuum angulorum, quibus situs acûs à situ intento distet, explorari, hocque vel confirmari posset vel refutari. Talia autem experimenta cum nusquam inveni, tum ipse instituire non sustineo. Cum enim ad hoc acus inclinatoria requiratur omnibus numeris absoluta, quæ sibi relicta sine ullâ aberratione in directione materiæ acquiescat; quali accuratissimus Muschenbroeckius omni adhibitâ industriâ vix ac ne vix quidem est potitus; fateor me ad tale negotium suscipiendum minimè esse paratum. Quamvis enim modo post explicando acum accuratissimam fabricari posse planè confidam, tamen, cum ipse non sim artifex, tum ejusmodi artifices experti, quales hoc opus requirit, non sunt in potestate. Neque verò sive hæc hypothesis vera sit, sive falsa, multum interest; cum fabrica acûs Magneticæ post tradenda ab hac hypothesis minimè pendeat, sed per eam tantum non parum illustretur, ac obstacula clariùs ob oculos ponantur.

§. 24. At verò video aliam insuper patere viam istam hypothesin examinandi, per quam non solum pro datâ acûs à situ naturali deviatione vis directrix definiri, sed etiam pro infinitis aliis intermediis simul cognosci queat. Hoc scilicet efficietur, si ad examen revocentur oscillationes, quas acus inclinatoria, si è situ naturali removeatur, eundo ac redeundo instar penduli absolvit, donec tandem omni motu consumpto in situ naturali directionis Magneticæ acquiescat. Hujusmodi autem experimenta plurima recensentur in citatâ Muschenbroeckii dissertatione de Magnete,  
quæ

quæ idcirco commodè ad hunc usum transferri possunt. Cum enim ex duratione oscillationum non solum vis illas producens, sed etiam quemadmodum ea in quavis elongatione à situ quietis sit comparata, colligi queat, ex ejusmodi experimentis ingens accedet subsidium ad naturam virtutis Magneticæ propiùs cognoscendam. Primùm igitur investigabo, cujusmodi oscillationes vi hypotheseos meæ in qualibet acu inclinatoriâ oriri debeant; ac deinceps motum oscillatorium observatum cum isthoc hypothetico comparabo, ut appareat, quantum experientia ab hypothese abhorreat. Præterea verò vires ex oscillationibus conclusæ examinari poterunt, quantum cum vi antè definita consentiant; sicque hypothesis ad veritatem propiùs adduci poterit.

§. 25. Sit igitur  $AB$  acus inclinatoria summo studio elaborata, quæ ex centro gravitatis  $C$  suspensa in plano verticali secundum directionem Magneticam constituto liberimè circumagi queat. Quiescat primùm acus in situ  $ab$  qui cum directione Magneticâ perfectè congruat, tum verò ex hoc situ declinetur ad angulum  $\alpha$ , cujus sinus ponatur  $= m$ , ex quo, cum in  $A$  &  $B$  urgeatur viribus ad sui longitudinem normalibus, & æqualibus inter se, & sinui anguli  $\alpha$  proportionalibus, mox versùs situm  $ab$  recedet, & pluribus instar penduli oscillationibus peractis tandem in ipso situ  $ab$  acquiescet. Durante hoc motu pervenerit in situm  $AB$ , qui à situ quietis  $ab$  distet angulo  $ACa = z$ , cujus sinus sit  $= x$ , in quo motum habeat  $ab$  versùs tantum ut extremitatum  $A$  &  $B$  celeritas debita sit altitudini  $v$ . Ponatur porrò ut antè, semissis longitudinis  $AC = BC = a$ ; massâ acûs per totam longitudinem  $AB$  æqualiter distributâ  $= M$ , ita ut ejus momentum respectu axis  $C$  sit  $= \frac{Maa}{3}$ : & vis acum jam in utroque termino sollicitans ex hypothese erit  $= px$ . Promoveatur acus per arcum infinitè parvum  $- dz = \frac{-dx}{\sqrt{(1-xx)}}$ , eritque acceleratio intereà nata  $dv$

Prix. 1743.

L

$$= \frac{2 p a x}{\sqrt{M a a}} \cdot \frac{-a a d x}{\sqrt{(1-x x)}} = \frac{-6 p a}{M} \cdot \frac{x d x}{\sqrt{(1-x x)}}$$
, cujus integrale [debito modo ex motûs initio temperaturum erit  $v = \frac{6 p a}{M} (\sqrt{(1-x x)} - \sqrt{(1-m m)})$ ], unde in quovis acûs situ ejus celeritas cognoscitur. Durarent quidem hæc oscillationes in æternum, nisi cùm aëris resistentia, tum frictio eas continuò diminuerent, ac tandem prorsùs extinguerent.

§. 26. Angulus ergò  $z$  absolvetur tempore, cujus elementum est 
$$= \frac{d x \sqrt{M a}}{\sqrt{6 p (\sqrt{1-x x} - \sqrt{1-m m})} (1-x x)}$$
; cujus integrale si ita capiatur, ut evanescatposito  $x = 0$ , tum verò ponatur  $x = m$ , dabit tempus semiffis oscillationis; quod utique pendebit à quantitate arcûs descripti  $a$ . Veruntamen oscillationes minimæ erunt isochronæ: quæ quantæ sint futuræ ut appareat, ponamus arcum  $a$  valde esse parvum, ut sinus  $m$  &  $x$  præ sinu toto 1 quasi evanescant, eritque 
$$\sqrt{(1-x x)} = 1 - \frac{x x}{2}; \sqrt{(1-m m)} = 1 - \frac{m m}{2} \text{ \& } \frac{1}{\sqrt{(1-x x)}} = 1 + \frac{x x}{2}$$
. Hinc fiet 
$$\sqrt{(1-x x)} - \sqrt{(1-m m)} = \frac{m m - x x}{2} + \frac{m^2 - x^2}{8} \text{ \& } \frac{1}{\sqrt{(\sqrt{(1-x x)} - \sqrt{(1-m m)})}} = \frac{1}{\sqrt{\frac{m m - x x}{2}}} = \frac{(m m + x x)}{8 \sqrt{m m - x x}}$$
. Ex quibus elementum temporis erit 
$$= \frac{\sqrt{M a}}{\sqrt{3 p}} \left( \frac{d x}{\sqrt{(m m - x x)}} + \frac{(3 x x - m m) d x}{8 \sqrt{(m m - x x)}} \right)$$
, quæ formulæ cùm à quadraturâ circuli pendeant, ponatur ratio diametri ad peripheriam  $= 1 : \pi$ , eritque si post integrationem ponatur  $x = m$ , integrale 
$$\int \frac{d x}{\sqrt{(m m - x x)}} = \frac{\pi}{2} \text{ \& } \int \frac{x x d x}{\sqrt{(m m - x x)}} = \frac{m m \pi}{4}$$
, quibus valoribus substitutis fiet tempus dimidiæ oscillationis 
$$= \frac{\pi}{2} \left( 1 + \frac{m m}{16} \right) \sqrt{\frac{M a}{3 p}}$$
: tempusque integræ oscillationis erit 
$$= \pi \left( 1 + \frac{m m}{16} \right) \sqrt{\frac{M a}{3 p}}$$
: & si arcus  $a$

evanescat tempus oscillationis minimæ prodit  $= \pi \sqrt{\frac{M a}{3 p}}$ .

§. 27. Si simili modo computentur penduli simplicis à sola gravitate animati cujus longitudo  $= f$ , oscillationes, reperietur tempus unius oscillationis  $= \pi \sqrt{2 f}$ . Quamobrem si  $f$  fumatur pro longitudine penduli simplicis isochroni cum acu inclinatoriâ, habebitur  $\pi \sqrt{2 f} = \pi \left(1 + \frac{m m}{16}\right) \sqrt{\frac{M a}{3 p}}$ , hincque  $f = \frac{M a}{6 p} \left(1 + \frac{m m}{8}\right)$ . Ob-

fervato autem motu ejusmodi acûs inclinatoriæ suspensæ, ex theoriâ pendulorum innotescit longitudo penduli simplicis isochroni  $f$ : & cùm prætereà dentur pondus acûs  $M$ , ejus longitudo  $= 2 a$ , & sinus anguli in dimidia oscillatione percurfi  $m$ , reperietur ex æquatione inventa vis Magnetica directrix absoluta  $p$ : erit scilicet  $p = \frac{M a}{6 f} \left(1 + \frac{1}{8} m m\right)$ , ita ut valor ipsius  $p$  reperiat in pondere cognito expressus, quæ est perfectissima virium cognoscendarum ratio. Ex his ergò primùm patet tempora oscillationum majora fore, quò sint arcus percurfi majores: id quod cum experientiâ egregiè consentit: acus enim ad quinque gradus à situ naturali deducta ut primâ oscillatione arcum  $10^\circ$  absolveret, primam oscillationem tempore  $22''$ , ultimam verò simulque minimam tempore  $16''$  absolvit. Hæc ratio autem inter  $22$  &  $16$  multò major est, quàm ex formula esse deberet: unde concludi oportet vires sollicitantes in minore quàm sinuum angulorum ratione crescere, etsi resistentia aëris non parum ad oscillationes majores retardandas conferat.

§. 28. Quòd si autem tempus absolutum unius oscillationis contemplemur, arcu oscillatione percurso jam factò minimo, ut ejus sinus  $m$  negligi queat, erit  $p = \frac{M a}{6 f}$ . Muschenbroeckius autem observavit acûs quadrupedalis cujus pondus erat  $6105$  granorum, oscillationes minimas peractas esse  $16''$ . Hinc erit  $M = 6105$  gran.  $a = 2$  ped. vel  $a = 2000$  scrup. Cùm ergò longitudo penduli simplicis

singulis minutis secundis oscillantis sit 3266 ejusmodi scrup. erit seu longitudo penduli denis fenis secundis oscillantis = 836096 scrup. ex quibus valoribus substitutis reperietur virtus Magnetica absoluta  $p = 2 \frac{2}{7}$  gran. qui valor triplo major est illo valore  $\frac{4}{7}$  gran. quem suprâ pro eadem acu invenimus ( paragrapho 21 ). Unde manifestò perspicitur vim Magneticam directricem, si anguli, quibus acus à situ naturali declinant, fiant majores, in minore quadam ratione quàm in ratione sinuum horum angulorum crescere. Præterè oscillationes plurium acuum à Muschenbroeckio observatas inter se comparavi atque deprehendi tempora oscillationum proximè longitudinis acuum rationem sequi, ita ut sit  $\sqrt{\frac{M a}{3 p}}$  uti  $a$ , ideoque perpetuò  $\frac{M}{p a}$  quantitas constans. Quòd si ergò perpetuò longitudo acûs in partibus millesimis pedis Anglici exprimatur, erit ferè constanter  $\frac{M}{p} : a = 127 : 100$  seu proximè erit  $p = \frac{100 M}{127 a}$ , pro oscillationibus quasi infinitè parvis.

§. 29. Sic itaque comparatus erit motus oscillatorius acûs inclinatoriæ, si axis per centrum gravitatis transiens, circa quem acus mobilis existit, fuerit horizontalis simulque ad directionem materiæ Magneticæ normalis. Quoniam verò per hanc suspensionem effectus gravitatis aufertur omnis, perinde ac si planè gravitas non adesset, manifestum est situm axis horizontalem ad rem nihil prorsùs conferre: atque motum oscillatorium omninò eundem esse proditurum, utcunque axis acûs ad horizontem fuerit inclinatus, dummodò ad directionem materiæ Magneticæ sit normalis: hoc est, dummodò axis acûs collocetur in plano, quod ad directionem materiæ Magneticæ est normale. Dantur ergò innumerabiles acuum suspendendi modi, qui omnes oscillationes æque diurnas producant, & qui, quod præcipuè est spectandum, in acu eundem quietis situm efficiunt; in his enim omnibus suspensionibus acus in ipsâ directione Magneticâ acquiescet. Hoc adeò pacto, si acûs centrum gravitatis in ipsum axis medium incidat, per infinitas suspen-

ſiones diverſas , vera directio Magnetica explorari ac deſiniri poterit : niſi fortè directio Magnetica fuerit ad horizontem normalis ; tum enim axis acûs perpetuò in ſitu horizontali debet eſſe ſirus , quæ poſitiones etſi ſunt numero infinitæ , tamen ſi ad uſum ſpectemus , vicem unius tantùm ſuſpenſionis ſuſtinent.

§. 30. Quando autem axis , circa quem acus mobilis eſt , non fuerit normalis ad directionem Magneticam , ſed cum ea angulum obliquum conſtituat , tum in motu ſuo ne ad hanc quidem directionem perſtingere , multò minùs in eâ quieſcere poterit. Interim tamen circa axem ſuum mobilis in certo quodam ſitu acquieſcet , diverſo quidem à directione Magneticâ , veruntamen ita comparato , ut cum axe acûs & cum directione Magneticâ in eodem plano verſetur ; quippe qui ſitus inter omnes , quos acus recipere valet , proximè accedit ad eum , quem natura intendit. Sic acus declinatoria , quæ circa axem verticalem eſt mobilis , in eo tandem circulo verticali quieſcet , qui per directionem materiæ Magneticæ tranſit ; ſicque veram declinationem Magnetis offendit. Ex quo intelligitur ſi axis acûs in ipſam directionem Magneticam diſponatur , tum acum ad omnes ſitus recipiendos æquè fore proclivem , neque ullum præ ceteris eſſe electuram. In reliquis verò caſibus , quibus axis acûs cum directione Magneticâ angulum obliquum facit , tum non ſolùm unum ſitum præ reliquis omnibus affectat , ſed etiam circa eum oſcillationes peraget , lentiores quidem , quàm ſi axis ad directionem Magneticam eſſet normalis , attamen ſimili modo determinandas. Si enim ſinus anguli , quem axis cum directione Magneticâ conſtituit ſit ,  $= k$  , erit pro oſcillationibus minimis longitudo penduli ſimplicis iſochroni  $= \frac{M a}{6 k p}$  : ſi à diminutione virtutis Magneticæ antè memoratâ mentem abſtrahamus.

§. 31. Ex his proprietatibus adipiſcimus modum certum ac facilem , acum inclinariam propoſitam quamcunque examinandi , an ſit perfectâ , veramque inclinationem



Magneticam ostendat: quo ipso præcipuam partem quæstionis ab Illustrissima Academia Regia propositæ contineri arbitror. Nisi enim via certa pateat, cujus ope cognosci queat, utrùm proposita acus inclinatoria quæsito perfectè satisfaciat necne? nescio quomodò acus bonæ à pravis ac vitiosis discerni, atque adeò judicari possit, utrùm quis quæstioni satisfecerit necne? Nemo enim non dubitaret acum à se fabricatam pro optima venditare, & quantumvis ea ab aliis dissentiret, errorem in reliquis omnes conjicere. Hanc ob rem celeberrimum Muschenbroeckium vehementer miror nequidem de modo cogitasse, quo inter tres acus suas inclinatorias tantoperè inter se discrepantes, eam quæ ad veritatem proximè accederet, dignoscere posset. Maximè autem demiror hunc virum aliàs in iudicando tam cautum, ut nihil, nisi quod experientia clarissimè evincat, admittere velit, tamen non dubitasse istam discrepantiam acuum suarum, inconstantia cuidam ipsius virtutis Magneticæ, & quasi morositati substantiæ cujuscumque intelligentis phænomena Magnetica gubernantis, adscribere; cum tamen ipse optimè notasset, quantam curam ad acum bonam conficiendam adhiberi oporteret, atque ex minimo vitio in structura commisso ingentes errores enasci posse.

§. 32. Oblatâ igitur acu Magneticâ, plurimis imò innumerabilibus modis explorare poterimus, utrùm ea veram directionem Magneticam patefaciat necne? Primò enim cognito per acum declinatoriam bonam plano verticali, in quo directio Magnetica versatur, collocetur axis acûs propositæ in situ horizontali ad istud planum normali, atque notetur inclinatio, in qua acus tandem liberrimè mobilis consistet, qui situs tantisper pro verâ directione Magneticâ habeatur, donec contrarium appareat. Deinde ad hanc directionem planum normale constituatur, & axis acûs pro lubitu secundùm hoc planum disponatur, situsque quietis in quo acus consistit, diligenter notetur; qui, si congruat cum situ primùm observato, probabile erit indicium acum esse

bonam, & quia ejusmodi examina innumera institui possunt, omnium consensus bonitatem acûs omni modo evincet: sin autem inter hæc examina dissensus deprehendatur, dubium erit nullum, quin acus sit repudianda. Prætereà verò etiam acûs axis secundùm ipsam directionem Magneticam primùm observatam disponatur, ut appareat, an acus nunc ad omnes situs prorsùs sit indifferens; nisi hoc enim animadvertatur, certum erit indicium, directionem primùm observatam non esse veritati consentaneam.

§. 33. Ad hæc examina instituenda ejusmodi opus erit machinâ idoneâ, cujus ope axis acûs ad omnes situs disponi, acusque liberrimè gyrari queat. Tum verò quoque ejus indolis machinam esse oportet, ut per eam facilè cum situs axis tum positio acûs ipsa dignosci atque determinari possit. Axis igitur  $pq$  acûs Magneticæ  $AB$  cujus termini  $p$  &  $q$  in cuspides non nimis acutas desinunt, commodissimè intra duas cavitates conicas  $rps$ ,  $rqs$  maximè politas, aut ex vitro crystallove confectas constitui posse videtur. Quo autem frictio minus noceat, & quantum fieri potest, tollatur, anguli concavi ad  $p$  &  $q$  aliquanto obtusiores esse debent angulis convexis axis  $pq$ , ut contactus quasi in uno fiat puncto. Cavitates istæ conicæ ope cochlearum infixæ sint annulo  $AEBF$ , ita ut earum distantia pro lubitu augeri diminuive possit, prouti agilitas acûs cujusque propositæ postulat. Sit iste annulus more solito in gradus divisus, ipse verò in situ verticali contineatur, à capitulo  $K$ , cui ad quemvis gradum immitti & cochlearum ope confirmari potest: quem in finem capitulum  $K$  instructum est indice  $I$  monstrante, quænam limbi divisio inum teneat locum. Hoc igitur modo axis  $pq$  ad angulum quemcunque facilè poterit inclinari; figura enim repræsentat situm axis  $pq$  verticalem, in quo si indici  $I$  respondeat initium divisionis in limbo annuli factæ, numerus graduum, qui ad indicem  $I$  transfertur, monstrabit, quantum angulum axis  $pq$  cum linea verticali constituat.

FIG. VII.

§. 34. Hoc autem motu axis acûs perpetuo manebit

in eodem circulo verticali : quare ut is in alium quemcunque circumulum verticalem converti queat , reddatur ipsum capitulum  $K$  cum pede  $KL$  mobile super basi fixâ  $LM$  azimutha repræsentante ; ita ut conversione pedis super basi azimuthali  $MO$  annulus  $EAFB$  in circumulum verticalem quemcunque statui possit. Hunc in finem peripheria basis more solito divisa est in 360 gradus, & pedi  $KL$  annexus est index  $LM$  cum annulo in eodem plano existens , qui igitur perpetuò monstrabit, in quonam circulo verticali annulus, simulque axis acûs versetur. Ipsa denique basis annexas habeat regulas  $N$  &  $S$  sibi diametraliter oppositas , quæ ad Lineam Meridianam applicatæ situm totius instrumenti ad usum accommodatum determinant. Hocque pacto instrumentum ita erit paratum , ut axis acûs in quocunque situ proposito collocari & affirmari possit , quemadmodum experimenta instituenda requirunt. Quo autem positio acûs, in qua utcunque suspensa acquiescit, faciliùs dignoscatur, annulus normaliter ab  $A$  ad  $B$  cingatur limbo quasi æquatore  $GH$ ,  $GH$ , quem ex duabus partibus crenam inter se intercipientibus confici conveniet, ut acûs extremitates intra hanc fissuram liberè moveri queant : hujusque limbi seu æquatoris divisio monstrabit perpetuò acûs positionem, quæ, quomodo tum respectu horizontis tum inclinationis se habeat, sine difficultate intelligetur.

§. 35. Machina secundùm hæc præcepta affabrè constructa, non solùm acubus explorandis, eo quo exposui modo, inserviet, sed etiam, cùm acûs fuerit bona, inclinatio & inclinatio Magnetis satis expedite observari poterit. Acu igitur intra cavitates conicas inclusâ, basis ope regularum  $N$  &  $S$  secundùm Lineam Meridianam diligenter collocetur, simulque secundùm libellam constitutur, ut tam pes  $KL$  quàm planum annuli ad horizontem sit normale. Tum pes  $KL$  cum annulo ita convertatur, ut index  $LM$  in Lineam Meridianam incidat, quod eveniat, si index ad principium divisionis in ora basis factæ sistatur; sicque simul planum annuli  $EAFB$  in circulo meridiano erit constitutum.

constitutum. Deinde annulus capitulo *K* ita infigatur, ut bacilli *Ep* & *Fq* cavitates conicas gerentes in situm verticalem perveniant; quod evenire pono, si index capituli *I* principio divisionis in annulo factæ respondeat. Hoc modo axis acûs situm tenebit verticalem, & acus mobilis erit in plano horizontali, in quod æquator incidet. Notetur ergo in æquatoris fissura punctum, in quo acus acquiescet; & quoniam annuli margo *B* Septentrionem spectat, si hinc divisio æquatoris incipiat, innotescet statim declinatio Magneticæ, si quidem acus ritè fuerit virtute Magneticâ imbuta, etiamsi axis non perfectè per centrum gravitatis acûs transeat.

§. 36. Declinatione sic inventâ, convertatur pes *KL* cum annulo super basi eousque, donec acus quiescens in æquatoris fissura nonagesimum gradum ab *B* numerando attingat. Tum pede immoto annulus in capitulo per arcum  $90^\circ$  circumagatur, ut axis acûs in situm horizontalem perducatur, sicque fiet ut jam acus moveatur circa axem suum in plano verticali per directionem Magneticam transeunte; atque æquatoris fissura nunc situm tenebit verticalem, ejusque gradus nonagesimus, cum centro acûs semper manebit horizontalis. Notetur ergò situs, in quo acus acquiescet, hincque cognoscetur vera acûs Magneticæ inclinatio, si quidem acus omni careat vitio. At verò hoc ipsum, utrum in acu vitium insit necne? per varios situs, in quos axis acûs dirigitur, ope machinæ hujus facilè explorabitur, cùm ad quemcunque situm facilè collocari possit. Hujusmodi autem examina beneficio hujus machinæ instituenda satis antè sunt exposita, ut superfluum foret ea hîc repetere. Tædiosum enim esset in figura machinam præsentante omnes operationes describere, quibus axis acûs ad quemvis datum situm perducatur, cùm tamen eadem operationes & motiones facillimè intelligantur, si machina fuerit constructa, atque ob oculos posita.

§. 37. Quoniam ope hujus instrumenti acus vitiosæ non solum à bonis facilè & expedite discernuntur, sed etiam

intelligi potest, in quamnam partem error vergat, etiam ope acûs vitiosæ vera materiæ Magneticæ directio cognosci posse videtur. Quum enim errorem, si quis in acu insit, animadvertamus, si modo possemus erroris quantitatem explorando eruere, quæstioni omni numero ita satisfaceret, ut directionem Magneticam sine acûs perfectissimæ adminiculo cognoscere possemus; id quod ob summam acus probatas fabricandi difficultatem, maximam afferret utilitatem. Videtur quidem ex pluribus aberrationibus observatis veritas elici posse; at verò attendenti mox patebit hoc præstari non posse, nisi priùs ratio constet quam vis Magnetica directrix in diversis à situ naturali elongationibus sequitur. Quæ ratio cum nihil minus sit quàm cognita, neque sine acu bonâ cognosci posset, hinc nullum ferè commodum in præsentè investigatione expectari potest. Quamobrem hæc nobis tantum relinquitur provincia, ut in methodum certam ac non nimis operosam inquiramus, cujus ope acus Magneticæ omnibus numeris absolutæ confici atque ad usum adstrui queant: quæ est ipsa illa quæstio, in qua Muschenbroeckius alique naturæ scrutatores tantum studium collocaverunt.

§. 38. Quo hujusmodi acus perfecta conficiatur, primùm ipsius acûs figura ac magnitudo spectari debet, tum verò axis, cujus ope suspenditur, atque tertio ipsa suspensio, de qua quidem jam fusiùs est explicatum. Quod igitur primùm ad figuram attinet, experientia docuit prismaticam quadrangularem ipsi maximè convenire; ejusmodi enim acus Magnete tacta multò majori imbuitur virtute, quàm cylindrica aut ulla alia à prismaticâ recedens, quæ quidem ejusdem sit & longitudinis & crassitie. Deinde verò virtus à Magnete excepta plurimùm augetur, si inter acûs longitudinem, latitudinem & crassitiem idonea intercedat ratio; ita ut cum eadem longitudine crassitudo neque nimis magna nec nimis parva jungatur. Observavit enim Muschenbroeckius acum 4 pedes longam maximâ virtute Magneticâ imbui, si ipsi detur latitudo circiter semi-pollicis,

crassities verò quadranti pollicis æqualis. Quanquam autem hic Auctor acu tantæ longitudinis ad inclinationem observandam utitur, tamen quia ipse tantam longitudinem ad declinationem invenit minùs aptam, & uterque effectus ab eâdem causâ proficiscitur, mallem equidem acus breviores etiam in inclinationis negotio anteferre. His scilicet rationibus conjunctis, cùm acus semipedales pro declinatione censeantur aptissimæ, acus longitudinis unius pedis videntur ad nostrum institutum maximè accommodatæ, siquidem earum pondus circiter constituatur 600 granorum.

§. 39. Ejusmodi ergò acus ex chalybe durissimo simul ac purissimo fabricetur per totam longitudinem ejusdem crassitiei, nisi quòd extremitates in cuspides acuminentur, quòd faciliùs ejus situs in limbi divisione cognosci queat. In hujus itaque acûs medio puncto erit ipsius centrum gravitatis saltem proximè: hocque ideò in loco ad latitudinem utrinque cuspides normaliter afferruminentur, quæ torno summâ curâ elaborentur, & in terminis acuminentur, ut axem circa quem acus liberrimè circumagi queat, exhibeant. Magis enim convenit hunc axem ex duabus partibus constantem utrinque afferruminari, quàm acum in medio perforare axemque transfigere; plurimùm enim refert, ut acûs continuitas secundùm longitudinem quàm minimè interrumpatur. Deinde verò etiam expediret axem ex ære potius confici quàm ferro, ne virtus acûs ab axe ullo modo turbetur: quoniam autem metuendum est, ne axis æneus per attritionem mox damnum patiatur, ex chalybe durissimo quoque ipsum confici oportebit; neque enim hinc, quia utrinque æqualiter prominet, ulla sensibilis alteratio in acûs directione oriri potest, hoc ipsum experientiâ testante. Quamobrem nisi velimus axem utrinque afferruminare, poterit acus cum axe ex eâdem chalybis laminâ excindi, ubi præcipuè erit attendendum, ut axis sit in directum extensus, atque ad acûs longitudinem perfectè normalis, quod quidem torni ope faciliè obtinebitur.

M ij

§. 40. Cùm acus hoc modo omni adhibitâ diligentîâ unâ cum axe fuerit parata , parum aberit , quin medium axis per centrum gravitatis transeat. Superest igitur , ut , quia axis non amplius mutari potest , centrum gravitatis acûs in medium axis perducatur. Primùm igitur indagari debet, utrum jam centrum gravitatis ab axis medio sit remotum , & quam in partem discedat; quæ investigatio more solito institui non potest, nisi acus à solâ gravitate sollicitetur. Quamobrem maximè erit cavendum , ne acus jam in hoc statu ullam acquisierit vim Magneticam ; quæ cautela uti summo perè est necessaria, ita multò erit difficilior , quàm videatur. Difficillimum enim est chalybem , ita attemperare , ut omni virtute Magneticâ careat. Et, quamvis chalybi per ignitionem omnis vis Magnetica admittitur , tamen inter refrigerandum de novo aliquâ virtute imbuitur , pro ratione sitûs , in quo frigitur. Quò propiùs enim positio , in qua acus ignita refrigerio committitur , ad directionem Magneticam accedit , eò major vis Magnetica in ipsam intrat. Quam ob causam conveniet acum , dum refrigeratur , in situ ad directionem jam circiter cognitam Magneticam normali tenere , vel interea quaquaversùs agitare. Deinde verò etiam notari oportet , acum etiam cùm à limâ tum à malleo virtutem Magneticam adipisci nonnunquam solere , quas ergò circumstantias attentissimè perpendi oportebit.

§. 41. Hanc ob causam , methodum consuetam acûs ope limæ in æquilibrium redigendi , dum continuò in parte , quæ gravior deprehensa fuerit , aliquid abraditur , donec perfectum obtineatur æquilibrium , omninò probare non possum. Ad hoc accedit , ut ista operatio non solum sit maximè laboriosa , tædiique plenissima , sed etiam admodum incerta , dum limæ ope non ad arbitrium pars præponderans levior reddi potest ; & , si nimium fuerit abrasum in parte oppositâ , eadem operatio de novo repeti debet , quò tandem fiet , ut figura acûs nimium defirmeretur , quo ipso virtus Magnetica ingens detrimentum patitur.

Præterea duplici modo centrum gravitatis à medio axis aberrare potest. Velenim axe cum acu in situm horizontalem posito, in plano horizontali per medium axis transeunte, reperietur centrum gravitatis; vel minus. Si in hoc plano non inest, sed vel suprâ vel infrâ cadit, ope limæ vel in parte superiore acûs vel inferiore quicquam abradi deberet, donec centrum gravitatis in hoc planum horizontale incidat. Tum verò adhuc vel iis vel ultra medium axis cadet, ac propterea alterutrum brachium limari debet, quò non solum æquilibrium hoc respectu difficulter obtinebitur, sed dum lima applicatur, æquilibrium priori respectu iterum facilè destruitur, adeò ut hoc pacto vix ac ne vix quidem acus in perfectum æquilibrii statum reduci queat.

§. 42. Hoc igitur modo tædioso æque atque incerto acus Magneticas præparandi penitus relicto, aliam proponam viam, quâ tutius & expeditius ac sine tot tentaminibus centrum gravitatis exactissimè in medium axem perducì queat, quo simul limæ usus nonnunquam tantoperè perniciosus evitetur. Acus *AB* modo suprâ indicato fabricata circa medium muniatur lamellâ æneâ *ab* per quam axis *C* utrinque promineat. Ad alterum latus super axe affixum sit frustulum *d*; in quo cochlea *c* capitulo graviusculo *c* instructa magis minusve infigi, hocque pacto centrum gravitatis vel attolli vel deprimi queat. Tum in dorso acûs super lamella promineant corpuscula *e* & *f* foraminibus cochleatis pertusa, per quæ transeat filum cupreum *gh* utrinque in capitula crassiora *g* & *h* terminatum, cujus fili motu centrum gravitatis vel ad dextram vel ad sinistram promoveri possit. Totum hunc apparatus fatis levem esse pono, prout acûs magnitudo postulat, ut ejus pondus non nimis augeatur. Inferiorem acûs planitiem omninò nudam esse oportet, ut apparatus iste non impediatur, quominus acus super Magnete traduci possit. Cùm igitur ista armatura in superiori superficie potissimum applicata centrum gravitatis per se aliquantulum fursum promoveat, ora lamellæ inferior *ab* aliquantò crassior conficiatur, ut centrum

FIG. VIII.



gravitatis totius non minùs proximè in medium axis incidat.

§. 43. Acus autem cum apparatu descripto ita jam sit comparata, ut centrum gravitatis proximè in medium axem *C* incidat; id quod peritus Artifex facilè impetrabit, neque ad hoc opus præcepta admodùm requiret. In hoc statu axis acùs in situ horizontali imponatur duobus excipulis vitreis politissimis parumper excavatis, ut acus liberrimè sine ullâ frictione gyron possit. Tum primùm despiciatur, utrùm acus in situ horizontali consistere queat, an minùs: &, si alterum brachium præponderet, tum ope fili *g h* in contrariam plagam adigendi perfectum æquilibrium in situ horizontali facilè obtinebitur; sicque centrum gravitatis in rectam verticalem per medium axis transeuntem incidet. At fieri adhuc potest ut vel suprâ vel infrâ axis medium cadat: quod cognoscetur, si acus obliquè posita vel sese in situm horizontalem restituit vel ab eo magis recedit. Utrumque hoc incommodum tolletur, si capitulum *c* ope cochleæ vel magis in sinum infigatur, vel inde extrahatur, qui motus cùm ad libitum possit attemperari, atque æquilibrium ratione sitûs horizontalis jam ante effectum non turbet, sine ingenti operâ acus in situm convenientem constituetur, ita ut ad omnes omninò situs recipiendos sit indifferens, in hoc igitur statu semel invento perpetuò debet relinqui.

§. 44. His omni diligentîâ præparatis, acus ad Magnetem generosum ac liberalem secundùm præcepta artis affricetur, habebiturque acus tam ad declinationem quàm inclinationem directionis Magneticæ observandam maximè idonea. Ea igitur machinæ suprâ descriptæ inferi, atque omnibus modis, utrùm sit perfecta, examinari poterit, quò certius ipsi confidere queamus: quin etiam si quod vitium in structurâ commissum deprehendatur, id in fabricâ aliarum acuum eò faciliùs evitabitur. Quando autem acus omni vitio carens fuerit inventa, tùm quidem machinæ suprâ descriptæ inclusa usui inservire poterit; quòd si autem

ad inclinationem tantum indagandam adhiberi debeat, sufficiet axem perpetuò in situ horizontali conservare; neque ideò opus erit cavitatibus conicis reliquisque ambagibus instrumenti præscripti. Imponi scilicet poterit axis acûs duobus fulcris vitreis maximè politis, &, ne hinc inde vagari possit, paulisper excavatis; sicque evitabitur prorsus frictio, quam unquam cavitates conicæ producere possent. Et quia declinatio Magnetis aliunde assumi potest cognita, ne quidem circulo azimuthali opus erit.

§. 45. Postquam igitur acus fuerit fabricata atque explorata, ad inclinationem tantum observandam sufficiet tabula *SN sn*, in cujus alterâ planitie circulus diametri unius pedis (si quidem acus sit pedalis) *a c b d* divisus sit in gradus & minuta. Tum cavitates vitreæ in tabulâ & trabeculâ *EF* ita disponantur, ut axis iis impositi medium per centrum circuli illius transeat; vel potius his cavitatibus jam positus circulus describatur ac dividatur. Conveniet etiam tabulam laminâ vitreâ operire, ut acus sit inclusa & ab omni injuriâ tempestatis libera, nihilo verò minùs transvitrum ejus positio dignosci queat. Ista autem acûs defensio eò magis est necessaria, quod tantillâ cochlearum, quibus acus in statum æquilibrî est constituta, conversione acus prorsus inutilis reddatur. Hæc ergò tabula secundum meridianum Magneticum, qui ex declinatorio constat, collocetur; & quò situm teneat verticalem, simulque supremus margo *SN* fiat horizontalis, machina instructa est libellâ *GH*; quæ si ita constituatur, ut binæ cuspides *G* & *H* se attingant, ad usum sit parata. Observari ergò poterit gradus quem cuspis acûs *B* tangit, & quoniam divisio circuli à diametro horizontali incipit, perspicietur inclinatio Magnetica non solum ad gradus, sed ad dena ac fortassè ad quina minuta.

§. 46. Haud multò difficilior erit ope ejusdem instrumenti in navibus, nisi tempestas sit admodum turbida, inclinationem acûs Magneticæ observare, etiamsi declinationis observatio sit difficillima in mari. In mari autem, loco libellæ

FIG. IX.

*GH*, uti conveniet binis dioptris *NS*, per quæ ad horizon-  
tem visatur, ut principium divisionis circuli *acdb* situm  
acûs horizontalem indicet. Planum tabulæ autem proprio  
pondere, si cura observatoris accedat, quasi spon-  
te tenebit verticalem. Nil igitur superest, nisi ut per acum  
declinatoriam meridianus Magnetis notetur, tabulaque ita  
disponatur, ut ea in hoc meridiano seu circulo verticali per  
directionem Magneticam transeunte versetur. Quo factò  
gradus, quem cuspis acûs *B* monstrat, indicabit inclina-  
tionem acûs Magneticæ, quæ adeò cognosci potest decli-  
natione nondum inventâ. Quin etiam sine acu declinato-  
riâ, ope propositi instrumenti inclinatio Magnetis investi-  
gari poterit, cùm enim manente axe acûs horizontali, in-  
clinatio sit minima, quando axis ad meridianum Magne-  
ticum fuerit normalis, tabula tamdiu convertatur donec  
inclinatio fiat minima, quæ erit vera inclinatio materiæ  
Magneticæ.

F I N I S,

# DISSERTATIO

D E

## M A G N E T E.

*Cette Piece est une des trois entre lesquelles le  
Prix Triple a été partagé.*

---

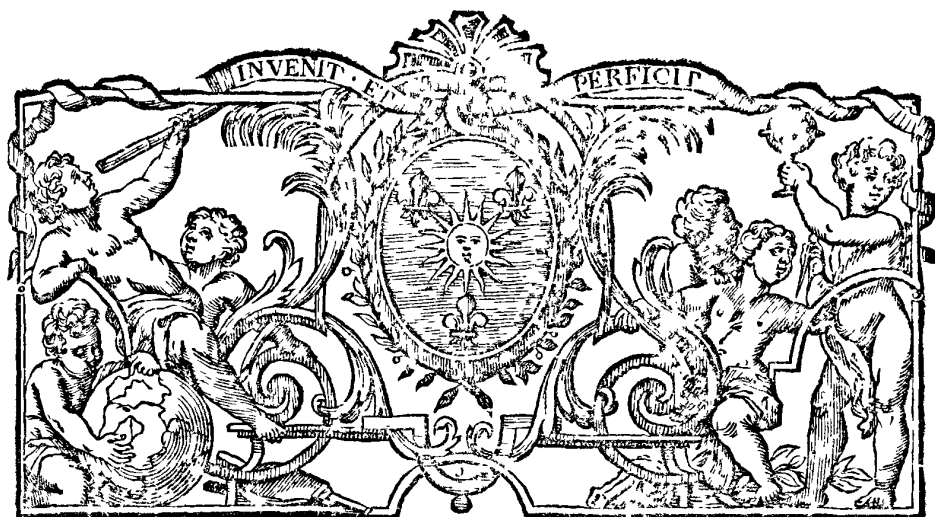
*Quærendi defatigatio turpis est, cùm id, quod quæritur,  
sit pulcherrimum. Cic. de fin. bon. & mal.*

A D. D. EULER, Matheseos Professore, è Societate  
Academiæ Imperialis Petropolitanae.

Prix 1744.

A





# DISSERTATIO

DE

# MAGNETE.

---

*Quærendi defatigatio turpis est, cùm id, quod quæritur, sit pulcherrimum. Cic. de fin. bon. & mal.*

---

§. I.



REDO ego, Illustrissimam Academiam Regiam illorum opinioni minimè assentiri, qui causam virtutis Magneticæ quærendo defatigati non dubitant ullam horum phænomenorum causam intelligibilem dari pertinaciter negare. Hoc certè mihi

Virtutis Magneticæ causâ  
Physica datur,

quidem clarissimè confirmare videtur repetita hujus ejusdem quæstionis propositio, qua Academia Regia satis luculenter publicè declarat, quærendi defatigationem esse turpissimam, cùm id, quod quæritur, sit pulcherrimum. Cùm

*Prix. 1744.*

A ij

enim Illustrissima Academia ante biennium hanc de Magnete quæstionem cum lauti præmii promissione proposuisset, neque tamen quicquam invenisset, in quo acquiescere posset, gravissimam sanè causam hanc quæstionem deferendi habuisse, videretur. Verùm tantum abest, ut istam investigationem propterea relinquendam censeat, ut potius præmium duplicare, hocque magis animos ad istud negotium suscipiendum inflammare decreverit.

Hæc causa est vehementer abscondita.

§. 2. Ququam equidem nunquam dubitavi, quin omnes naturæ effectus à causis mechanicis proficiscantur; ac semper malui ignorantiam meam palam profiteri, quàm quicquam sine causa fieri, dicere; tamen natura Magnetis perpetuò mihi tam ardua ac tantopere abscondita est visa, ut omne studium atque operam in ejus indagatione frustra à me impendi sim arbitratus: quæ causa me etiam absteruit, ut, cùm primùm hæc quæstio proponeretur, in ea enodanda ne quidem elaborare sim ausus, non quò mihi dignitas quæstionis minùs esset perspecta, sed quoniam vidi tot præstantissimorum virorum, qui hoc opus sunt aggressi, conatus irritos fuisse omnes. In primis verò me detinuit celeberrimi Muschenbroeckii provocatio, qui conquestis atque examinatis summo studio experimentis id tandem se evicisse jactat, virtutum Magneticarum causam prorsùs non esse Mechanicam, neque ulli substantiæ materiali adscribi posse. Quod etsi mihi quidem minimè persuasit, tamen spem ademit omnem in hoc sublimi negotio quicquam proficiendi.

Non tam fons, quàm explicatio virtutis Magneticæ desideratur.

§. 3. Si hoc consilium protinùs sequi voluisssem, nunc certè maximè ab hoc onere me abstinere oporteret, postquam tot egregia summoque studio elaborata tentamina ipsius Academiæ æquissimo judicio sint repudiata. Quæ cùm apud me diligentius evolvissem, fieri profecto non posse mihi visum est, ut omnès conjecturæ, quæ ad phænomena Magnetis explicanda adhuc sunt excogitata, à veritate æqualiter abhorreant, propterea quòd nullum fontem, ex quo vires Magneticæ promanare queant, prætermissum esse

videbam. Quamobrem non tam in novum fontem, ex quo hujusmodi vires deriventur, inquirendum esse intellexi, quàm in ipsum derivationis modum. Neque idcirco primam originem adhuc latere existimo, sed solum rationem, quâ ex jam cognita origine singula Magnetis phænomena dilucidè deduci atque explicari queant. Quod negotium cum sit difficillimæ indaginis propter plurimas quæstiones maximè intricatas antè evolvendas, non amplius tantopere miror, evidentem horum phænomenorum explicationem etiam nunc desiderari.

§. 4. Omnino autem Cartesius mihi videtur, qui istam explicationem primus ferè cum ratione est aggressus, non adeo à scopo aberrasse, ut ejus idea penitus rejici debeat. Quamvis enim totum negotium neutiquam confecerit, tamen naturam secutus neque in prima causa assignanda, neque in ipsa explicationis ratione tantum à veritate recessisse videtur, quantum factum esse comperio à pluribus Philosophis recentioribus, qui dum ejus ideas reformare atque emendare voluerunt, in crassissimos errores inciderunt. Atque omnino novissimi Philosophi mihi quidem videntur eò longiùs à veritate digressi, quò majus studium attulerint ad antecessorum sententias evertendas & explodendas. Sicque novitatis studium cognitioni veritatis vehementer impedimento fuisse existimo. Hoc pacto enim factum est, ut profligatis omnibus rationalibus modis naturam Magnetis explicandi, nil aliud relinqueretur, nisi ut causa incorporea in medium produceretur.

§. 5. Quoniam igitur dubium est nullum, quin omnes Magnetis effectus à causa corporea sive mechanica profisciantur, hanc causam partim in interna Magnetis structura, partim in materia extra Magnetem subsistente quæri oportebit. Cùm enim hæc virtus, cujus causam investigamus, non in omnibus corporibus, sed in certa tantum specie, ad quam scilicet Magnetem ac ferrum Magnetica virtute imbutum referimus, reperiatur, necesse est, ut interna horum corporum indoles sit prorsus peculiaris, atque à

Recentiores  
Physici parùm  
in hac expli-  
catione profes-  
cerunt.

Causa virtu-  
tis Magneti-  
cæ, partim in-  
tra, partim ex-  
tra Magnetem,  
quæri debet.



natura reliquorum corporum, in quæ talis vis non cadit ; penitèrs diversa. Quomodocunque autem hæc interna corporum Magneticorum constitutio sit comparata, tamen ab ea sola oriri non possunt illa phænomena, quibus videmus duos Magnetes se mutuò non contingentes in se invicem cùm attrahendo, tum repellendo, tum etiam dirigendo agere, & vires exercere. Ex quo perspicuum est, præter internam corporum Magneticorum structuram, adesse materiam quandam hæc corpora ambientem, atque extra illa subsistentem, quæ cum ipsa structura cuncta phænomena producere valeat.

Causæ exte-  
næ existenti-  
à Philosophis  
pluribus indu-  
bium vocatur.

§. 6. Quod ad priorem causæ partem attinet, neminem fore arbitror, qui internum Magnetis statum à reliquis corporibus discrepare neget. Etiam si enim Magnes præ reliquis corporibus non præditus esset tam eximiis virtutibus, tamen propter hoc ipsum, quòd differat à reliquis corporibus, nemo dubitaret in ipso structuram peculiarem, qua distinguatur, statuere. Longè aliter autem de materia illa externa, in qua alteram causæ partem positam esse dico, nonnullos Philosophos hoc præsertim tempore sentire video, qui pertinaciter negant ullam materiam subtilem ad naturæ phænomena explicanda adhiberi oportere, cujus existentiæ per clarissima experimenta ad oculum demonstrari non possit. Quæ lex etsi primùm ad compescendam libidinem pro arbitrio ac sine causa urgente materias quasvis subtiles fingendi, meritò est sancita, tamen nunc quidem à plerisque ita latè extenditur, ut penè omnis causarum cognitio funditùs tollatur.

Existentiæ  
materiæ sub-  
tilis asseritur.

§. 7. Hoc loco autem isti circumspècti naturæ scrutatores primùm declarent, an planè negent ullam in mundo existere materiam tam subtilem quæ neque sensus perceptibili modo afficiat, neque per experimenta eò reduci queat, ut quasi manibus palpari possit. Quæ opinio, uti per gravissimas rationes ostendi posset absurdissima, ita vix quenuquam fore credo, qui eam apertè ac seriò tueri velit. Ita igitur sententiam suam mitigabunt, ut non licere dicant in explicatione

cujusquam phænomeni naturæ ad ullam materiam confugere, quæ sensibus percipi nequeat : hocque non quasi ejusmodi materia subtilis non detur, sed quòd ejus existentia sensibus probari non possit. Quòd si ergo cujuspiam phænomeni causa in ejusmodi materia imperceptibili lateat, quod sanè fieri posse, nisi in prius absurdum recidere velint, negare non poterunt, quomodo se Physicum gerere oportebit? Num causam ibi, ubi non est, quærere, an fortè omnino ne quærere quidem velle debebit? quorum illud homine, hoc verò Physico ita est indignum ut quod maximè. Quid igitur his cautis Philosophis, quod respondeant, relinquatur non video, nisi vel ejusmodi phænomena sine ulla causa fieri dicere, vel ad qualitates occultas revocare velint, quorum utrum Physico sit turpius, tam facilè non dixerim. Sin autem substantiæ cuidam immateriali & quasi spiritui causam adscribendam esse putant, sibi ipsi minimè constant : qui dum ideo omnem materiam subtilem ex Physica profligant, quòd sensus non titillet ; propter hoc ipsum spiritus introducendos esse arbitrantur, quòd sensus nostros prorsùs effugiant. Ita fit, ut dum nihil, nisi cujus existentia sensibus probari possit, in Physica admittere volunt, iidem ipsi innumerabilia spirituum genera introducant, quorum existentia neque per experimenta ; neque per rationem unquam evinci queat, qua certè Philosophandi ratione, nihil quod magis esset ridiculum, excogitari potest.

§. 8. His summis incommodis perpensis, universa tandem ista severa præceptio eò reducetur, ut in statuendis ejusmodi materiis subtilibus, per quas phænomena naturæ explicentur, admodùm cautum esse oporteat ; quo sensu si accipiatur, equidem ita assentior, ut in hoc præcepto firmissimum totius Philosophiæ præsidium positum esse existimem. Non quòd putem majorem hypotheses atque materias subtiles fingendi libertatem cognitioni veritatis esse perniciosam ; mihi enim omnino persuasum est, non nisi post plurima tentamina, quæ hypothesis excogitandis in-

*In statuenda materia subtili Physicum circumspicuum esse oportet.*

instituantur, ad veritatem nobis pertingere licere: sed summâ circumspectio in hoc versari debet, ut nullam ejusmodi materiam subtilem, qualem animo concepimus, in mundo actu existere credamus, antequam certissimè habeamus exploratum, ejusmodi materiam non solùm esse possibilem, sed etiam cunctis phænomenis mechanicè explicandis esse aptam. Quamdiu autem nobis ad hunc certitudinis gradum pervenire non datur, ejusmodi hypotheses ita tolerari conveniet, ut ad res tantùm probabiles referantur.

Virtutem  
Magneticam à  
materia qua-  
dam subtili o-  
riri ostendi-  
tur.

§. 9. Si hac jam adhibitâ cautelâ ad Magnetem revertamur, ejus effectus statim luculenter ostendunt, subsistere quoque extra Magnetem materiam quandam subtilem, quæ phænomenorum causam in se complectatur. Neque verò, dum hoc assumo, hypothesin mihi fingere videor: cùm enim ex res, quæ in sensus incurrunt, his phænomenis producendis non sufficiant, necesse est ut à materia quadam subtili sensus nostros effugiente efficiantur: quod cùm à nemine in dubium vocari possit, concedi omnino debet, ejusmodi materiam subtilem certissimè actu existere. Et quanquam plurimi, qui hanc de Magnete quæstionem sunt aggressi, voti non facti sunt compotes; tamen nullum in hoc deceptum esse arbitror, quòd materiam subtilem statuerit: sed potius; quòd quisque suo arbitrato naturam atque indolem hujus ipsius materiæ constituerit; cùm nihil aliud admittere debuissent, nisi quod ipsa phænomena hincque legitimè illatæ conclusiones inesse manifestò ostendissent. Quam regulam si omnes naturæ scrutatores diligentius observassent, scientia certè naturalis non tantopere erroribus ac tenebris scateret, ut, quid verum sit, quidve falsum, vix discernere liceat.

Principia præ-  
sentis theoriæ  
breviter ob o-  
culos ponun-  
tur, ac ratio  
instituti de-  
claratur.

§. 10. Quo autem clariùs sententiam meam de causa virtutis Magneticæ exponam, primùm aperiam, quemadmodum equidem cùm structuram Magnetis ac ferri internam, tum indolem materiæ illius subtilis, cujus existentia jam est demonstrata, comparatam esse statuam. Deinde verò simul rationes afferam, cur hoc potius modo utriusque statum

statum concipi debere credam , quàm ullo alio ; sicque sententiam , quæ initio , me non repugnante , instar hypothese ac meræ fictionis spectari potest , ita confirmabo , ut non solum possibilis , sed etiam verisimilis videri incipiat. Tertio autem fusiùs explanabo , quomodo ex his positis principiis omnia atque singula Magnetis phænomena secundum leges naturæ tam dilucidè consequantur , ut etiamsi adhuc essent incognita , tamen per solam theoriam à priori prædici ac definiri queant. Quod si præstitero , hypothesis , quæ modò probabilis erat facta , summum probabilitatis gradum , hoc est , certitudinem plenam , nanciscetur ; atque adeo hypothesis esse cessabit , in numerum rerum actu existentium transitura. Hocque pacto nullum ampliùs supererit dubium , quin veram omnium Magnetis proprietatum assignavero causam. Quocirca Judices ab Illustrissima Academia Regia constitutos rogo , ut has meas meditationes debitâ cum attentione legere atque examinare velint.

§. II. Quodnam sit illud discrimen , quod Magnetem à reliquis corporibus distinguit , atque aptum reddit ad tam insignes & mirabiles proprietates recipiendas , quæ in reliqua corpora , solo ferro excepto , nullo modo cadere queant , id quidem mihi per exclusionem certissimè definiri posse videtur. Cùm enim ad hæc phænomena producenda materia subtilis extra Magnetem subsistens requiratur , hujus respectu in ipso Magnete nonnisi pororum , per quos materiæ subtili transitus vel concedatur vel denegetur , ratio haberi poterit. Quòd igitur Magnes tam singulari præditus sit proprietate , id à configuratione pororum ejus venit , in qua propterea positum est illud , quod quærimus , discrimen Magnetem à reliquis corporibus distinguens. Quò diligentius autem omnes Magnetis effectus perpendimus , eò magis in hac sententia confirmamur : maximè autem hoc elucet , si attendamus cum ferro per solum contactum virtutem Magneticam communicari posse ; quo contactu cùm neque addatur neque auferatur quidpiam , neque etiam Magnes de sua virtute quicquam amittat , nihil aliud reliquum

Magnetem  
ratione poro-  
rum à reli-  
quis corpori-  
bus potissi-  
mum discre-  
pare.

est, cui effectum tribuamus, præter pororum conformationem, in qua igitur præcipuum discrimen Magnetis à reliquis corporibus est positum. Hanc eandem veritatem celeberrimus Muschenbroeckius adeo agnoscit, qui tamen constanter negat effectus Magneticos mechanicè explicari posse; qui cum omnibus hypothësis bellum perpetuum indixisset, ejus testimonium, si ullo ad sententiam corroborandam egerem, plurimum ponderis habere debet.

Solos poros non sufficere ad phænomena producenda, sed materiam subtilem præterea requiri.

§. 12. Hinc autem porò solertissimus iste observator rectè concludit, à sola pororum figura ea phænomena, quæ in Magnete conspiciamus, minimè oriri posse; quod quidem ita certum est, ut nullâ probatione indigeat. Eatenus enim tantum à poris effectus sensibilis resultare potest, quatenus materiæ cuiuspiam fluidæ per eos vel transire vel non transire liceat. Quamobrem præter certam pororum Magnetis figuram necessariò statui debet materia quædam fluida, quæ cum sensibus non percipiatur, jure merito subtilis vocatur, neque tamen ideò minùs certè existit, quàm si ipsam manibus palpare liceret. In hoc enim negotio sanè rationis judicium plus valere debet, quàm sensuum testimonium: quippe quòd nisi simul ratione suffulciatur, nullam omninò vim retinet; cum contrà ratio etiam sine sensibus ad profundissimas veritates penetrare valeat. Hoc igitur loco à Muschenbroeckio dissentire cogor, qui cum pororum formas phænomenis producendis impares agnovisset, neque tamen ad ullam materiam sensus non afficientem confugere ausus esset, sibi viam atque aditum ad cognitionem causæ penitèns præclusit.

Porù Magnetis materiæ subtili non quaquaversùs transitum concedunt.

§. 13. Quemadmodum igitur pori respectu istius materiæ subtilis sint comparati, ante omnia est definiendum. Ac primò quidem perspicuum est, si pori Magnetis penitèns essent imperviù materiæ subtili, tum præcipua Magnetis phænomena, quæ in directione secundum certam plagam consistunt, nullo modo produci posse: foret enim Magnes utique ad omnes situs indifferens. Idem eveniret, si Magnes quaquaversùs materiæ subtili transitum liberrimè concederet;

pariter enim nulla esset causa, cur Magnes unum potius situm affectaret, quàm ullum alium, cùm in omni situ materia subtilis æque facilè permeare possit. Cùm itaque Magnes neque prorsùs impervius sit huic materiæ subtili, neque liberrimè transitum concedat; nil aliud reliquum est, nisi ut statuamus, Magnetem huic quidem materiæ transitum concedere, at non liberrimè, neque quaquaversùs æquali cum facilitate. Hoc modo jam consequimur id, in quo cardo rei versatur, quòd Magnes non ad omnes situs sit indifferens, sed perpetuò unum præ reliquis omnibus affectare debeat.

§. 14. Pori igitur, per quos materia subtilis fluere potest, in Magnete secundùm certam quandam directionem erunt dispositi, ita ut materia subtilis nonnisi secundùm hanc directionem corpora Magnetica permeare valeat. Talem structuram clarissimè evincit constans illa, quam Magnes affectare solet, directio: nisi enim in ipso Magnete pori ejusmodi constantem directionem sequerentur, ratio sanè foret nulla, cur Magnes unam præ reliquis positionem desideraret. Hinc igitur pori in Magnete secundùm certam ac determinatam directionem meatus seu canales efformare videri possent, qui materiæ subtili ita transitum præbeant, ut ea secundùm alias directiones permeare nequeat. Attamen hoc modo duæ remanerent directiones sibi è diametro oppositæ, ad quas Magnes induendas æque proclivis esse deberet: concipiantur enim isti meatus secundùm directionem  $AB$  efformati; atque perspicuum erit, materiam subtilem æquè secundùm directionem  $AB$  atque contrariam  $BA$  per Magnetem fluere posse. Quod cùm experientiæ adversetur, quâ constat Magnetem seu acum Magneticam non in duplici situ quiescere posse; necesse est, ut isti meatus non sint utrinque similes, sed ita dissimiles, ut dum materiæ subtili transitum secundùm alteram directionem  $AB$  concedunt, eidem transitum secundùm contrariam directionem  $BA$  denegent.

§. 15. Cùm igitur meatus Magnetici materiæ subtili

B ij

Materia subtilis secundùm unicam directionem per Magnetem fluere potest.

Fig. Ij

Structura  
meatum Magneticorum,  
ex analogia  
determinatur.

transitum quidem permittant, reditum autem in eadem directione recusent, similes propemodum erunt canalibus in corpore animali, qui in sua cavitate sanguinem aliaque fluida devehunt, regressum verò non admittunt, qui effectus valvularum ope obtinetur. Quoniam ergò natura in suis operationibus constantes observat leges, atque ad similes effectus producendos similibus perpetuò utitur causis, dubitare non licet, quin reversio materiæ subtilis in meatibus Magneticis per similem machinationem impediatur. Hanc ob causam leges naturæ atque ad eò veritatem studiosissimè mihi quidem sequi videor, si meatus Magneticos similibus valvulis instructos statuam, quibus efficiatur, ut materia subtilis in *A* satis liberè intrare, & ad *B* exire queat, contra verò ipsi ad *B* ingressio & progressio versùs *A* per has valvulas præcludatur. Qua ratione autem hæ valvulæ sint constructæ, nosse non admodum refert, dummodo regressui materiæ subtilis coercendo sint aptæ. Interim tamen verosimillimum est, eas à villis seu fibrillis tenuissimis internam meatum cavitatem obsidentibus, atque ab *A* versùs *B* reclinatis efformari. Hujusmodi structura non solum ob simplicitatem veritati maximè est consentanea; sed etiam per ea experimenta, quibus virtus Magnetica tam facile produci iterumque destrui posse ostenditur, plenissimè confirmatur.

FIG. II.

Pororum conformatio in Magnete ac ferro, simulque in reliquis corporibus exponitur.

§. 16. Præcipuum igitur discrimen, quo Magnes ac ferum à reliquis corporibus distinguitur, ita in pororum dispositione est positum, ut Magnetis & ferri Magneticæ virtute jam imbuti, pori constituent meatus utrinque quidem apertos, at valvulis seu villis ita instructos, ut materia subtilis ad alteram tantum extremitatem intrare, & per totum meatum progressa in altera extremitate exire queat. In ferro autem virtutis Magneticæ experte insunt quidem pori illi fibrillis valvularum vices sustinentibus obsiti, verum nondum ita ordinati, ut meatus continuos, in quibus fibrillæ illæ ubique secundum eandem plagam sint reclinatæ, constituent. Hæ corporum Magneticorum structurâ evictâ,

manifestum est, reliqua corpora omnia ejusmodi poris ac meatibus carere debere; quamobrem vel quaquaversus materiam illam subtilem liberrimè transire sinunt, vel omninò ipsi erunt impervia. Experientia autem manifestò docet, materiam istam subtilem, à qua virtus Magnetica pendet, reliqua corpora omnia liberrimè permeare, propterea quòd effectus Magnetis à corporibus quibuscunque interpositis prorsus non impeditur, quod fieri non posset, nisi materia subtilis liberrimum transitum per omnia corpora non Magnetica inveniret.

§. 17. Quod porrò ad materiam illam subtilem attinet, quæ meatus Magneticos percurrendo virtutem magneticam dictam producat, eam primùm ab aëre esse diversam, dubitari omninò nequit, cum quòd ea reliqua corpora liberrimè permeat, tum verò maximè, quòd eadem Magnetis phænomena in vacuo observentur. In æthere igitur ista materia subtilis resideat necesse est, siquidem universum fluidum maximè elasticum undique diffusum ætheris nomine complectamur. Non solùm autem verisimile est, universum ætherem non ex materia homogœna esse conflatum, sed mox ex ipsis Magnetis phænomenis fusiùs ostendetur; duplicem saltem materiam, alteram crassiozem, alteram subtiliorem in æthere statui debere; quarum hæc tantùm, quæ est subtilior, per meatus Magneticos transire valeat, alterâ crassiore penitùs exclusâ. Interim hoc discrimen non impediet, quominùs utraque materia ætheris æquali vi elasticâ sit prædita, ita ut universus æther hoc nonobstante ubique eadem & æquabili elasticitate gaudeat. Cùm igitur hæc hypothesis nullam contradictionem involvat, ob mox allegandas rationes, statuo præcipuam virtutis Magneticæ causam in ætheris parte subtilissima esse positam; atque meatus Magneticos tam esse arctos, ut istam partem subtilissimam tantùm transmittant, crassioribus autem moleculis sint impervii. Reliqua autem corpora omnia ætheri transitum liberrimè concedere, extra dubium est positum.

Materia subtilis  
meatus Magneticos  
permeans, est  
pars ætheris.

§. 18. Est itaque æther fluidum heterogœnum, ex  
B ij



Materias ætheris diversas difficulter uniri.

particulis diversæ molis conflatum, simili modo, quo aërem ex diversis materiis compositum esse constat; nihilo verò minùs æther perinde ac aër, si variæ istæ particulæ æquabiliter fuerint inter se permixtæ, fluidum homogœneum mentietur. Sin autem istæ materiæ à se invicem fuerint secretæ, tum utique fluida constituent heterogœnea, quæ etiam si ratione elasticitatis in æquilibrium consistant, tamen non nisi difficulter rursùs inter se permiscuntur. Similis scilicet conditio in omnibus fluidis, quæ ex moleculis diversæ magnitudinis constant, deprehenditur: quemadmodum in aqua & oleo, vel etiam in aëre & aqua manifestum est; quæ materiæ etsi in debita ratione permixtæ consistere possunt, tamen à se invicem segregatæ difficulter se iterùm permisceri patiuntur. Hic itaque nihil assumo, nisi quod cùm veritati maximè sit consentaneum, tum verò etiam constanter à natura effici observetur. Quamobrem hanc mihi hypothésin concedi jure equidem postulare possem, etiam si nullas præterea rationes afferrem; cùm autem clarissimè sim ostensus, omnia Magnetis phænomena tam facilè ac legibus naturæ convenienter hinc explicari posse, hanc indolem ætheris etiam demonstrasse jure mihi videbor.

Principia theorizæ Magneticæ traduntur.

§. 19. Hæc jam sunt duo illa principia, in quibus conjunctis causa omnium effectuum Magneticorum continetur, quorum alterum in peculiari Magnetis ac ferri structura est positum, alterum verò in ætheris natura. In Magnete nimirùm plurimi insunt meatus filamentis quasi valvulis obsiti, per quos subtilissimæ ætheris particulæ transire queant, crassiores verò penitùs excludantur. Quoniam verò non totus Magnes hujusmodi habet structuram, ut ipsi nihil cum reliquis corporibus sit commune, præter hos meatus Magneticos aliis quoque poris amplioribus scatebit, qui non solum materiæ ætheris subtiliori, sed etiam crassiori, liberum transitum concedant. Ætheris porrò indoles faciliùs percipietur, atque adeo mechanicè explicari poterit, si eum ex infinitis vorticulis, in quibus materia subtilissima rapidissimè in gyrum agatur, compositum concipiamus, cujusmodi structuram

summa ætheris elasticitas declarat. Spatia autem angulosa, quæ inter istos vorticulos relinquuntur, ab aliis vorticulis longè minoribus occupari verosimillimum est: atque hi vorticoli minores materiam illam ætheris subtiliorem meatus Magneticos percurrentem exhibere mihi quidem videntur. Hinc autem difficultas, quâ isti minores vorticoli, si à reliquo æthere semel sint separati, se iterùm insinuent, perspicuè intelligitur.

§. 20. Hisce duobus stabilitis principiis, videamus quid ex iis conjunctis consequi debeat. Ac primò quidem manifestum est, præter Magnetem omnia corpora in æthere nullum sensibilem effectum esse productura, cum neque quieti neque motui ejus obsistant, ita ut æther in eodem ferè statu sit permanurus, sive insint in ipso corpora non Magnetica, sive minùs. At verò corporum Magneticorum æthere circumdatorum longè alia erit ratio, propter illos meatus, qui in altero tantùm termino parti ætheris subtiliori introitum permittunt; ob quam singularem structuram fit, ut æther hæc corpora ambiens in æquilibrio esse nequeat. Propter summam enim elasticitatem æther in hiatus istorum meatuum fortissimè premet; & quoniam à parte opposita hæc pressio compesci nequit, necesse est, ut particule ætheris subtiliores in meatus illos Magneticos, quâ introitus patet, ingenti vi irrumpant; quo pacto ætheris partes subtiliores à crassioribus secernentur. Tum verò hæ particule penetratis meatibus in alteris terminis prorumpent, ubi quia sese cum æthere ambiente subito permisceri non patiuntur, quasi à fluido heterogeneo reflectentur, motumque, quâ minimè resistitur, tam diu conservabunt, quoad ab æthere ambiente sensim absorbeantur, sinibusque angulorum iterùm includantur.

§. 21. Quò hæc, quippe in quibus omnis cardo præsentis quæstionis versatur, diligentius evolvantur, ordiamur ab ipsa terra tanquam fonte & communi receptaculo, tam Magnetis quàm ferri. Abundabit ergò terra, propter ingentem mineræ tam Magnetis quàm ferri copiam in visceribus

Effectus materiae subtilis in Magnetem generatim exponitur.

Vortex Magneticus circum terram efformari debuit.

inclusam, maximè talibus meatibus, quales in unoquoque Magnete inesse ostendi. Et hanc ob rem quamprimùm terra initio ætheri fuerit circumfusa, necesse est, ut materia illius subtilior hos terræ meatus Magneticos statim sit ingressa; id quod maxima cum celeritate est factum, quia in has cavitates quasi in loca vacua summâ vi irrupit. Tantâ ergò celeritate emensis singulis meatibus, materia hæc subtilis in ætherem ambientem profiluit; ab eoque tanquam ab obice firmo est reflexa, simili modo ferè quo aër contra aquam fortissimè impulsus repercutitur, atque ad latera deflectitur. Quare hæc materia, quâ minimam invenit resistantiam, moveri perrexit necesse est; ad latera autem defluere debuit, quoniam reverti, unde venerat, tam ob structuram meatuum, quàm ob materiam simili vi insequentem minimè potuit. Facile igitur ad latera defluens ad orificia meatuum revertetur, in quæ initio intraverat; ubi non solum nullam resistantiam offendet, sed quia liberrimè ingredi potest, eò undequaque pressa quasi attrahetur. Cùm igitur fuerit denuò in hos meatus ingressa, atque simili modo reverti debeat, mox flumen continuum seu vorticem perennem circa terram formare debuit; propterea quòd materia subtilis ex meatibus erumpens vestigia antecedentis continuò sequendo quasi sponte ad orificia meatuum perducitur, hocque motu periodico sine ulla intermissione agitatur.

FIG. III.  
Formatio  
vorticis circa  
terram exist-  
entis uberius  
explicatur.

§. 22. Si igitur globus *AB* repræsentet tellurem, in qua meatus Magnetici ab *A* ad *B* sint dispositi, ita ut materia ætheris subtilior ad *A* ingrediatur, in *B* verò exeat; tum ob rationes expositas materia subtilis ad *B* erumpens utrinque deflectet, atque ad *C* & *D* circumfluendo revertetur ad *A*, ubi denuò in meatus Magneticos intrabit, sicque vorticem permanentem circa terram constituet. Neque tamen perpetuò eadem materia ætheris subtilior ad hunc vorticem formandum impendetur; sed in *C* & *D* continuò quædam particulæ cum æthere circumfuso sese permiscebunt; quæ jacturæ autem statim per novam similis materiæ subtilioris ab æthere secretionem ad *A* factam resarciatur: ita ut non obstante perpetuâ

perpetuâ permixtione, quæ fit, dum materia subtilis extra meatus per ætherem revolvitur, vortex tamen perennis conservetur. Erunt igitur *A* & *B* ambo terræ poli Magnetici, qui cum à dispositione meatuum Magneticorum *AB* pendeant, neque cum veris terræ polis singularem habeant connexionem, mirum non est, quòd poli Magnetici à polis mundi discrepent, unde declinationis Magneticæ causa potissimum originem trahit; quæ autem in sequentibus accuratius perpendetur.

§. 23. Quoniam si terra tolleretur, æther in regione *ACBD* ferè quiesceret, quæstio sponte se offert, unde, terrâ in *AB* constitutâ, tam vehemens motus in materia ætheris subtiliori oriatur; constat enim motum sine dispendio virium omninò produci non posse. Cum igitur demonstraverim, istum motum à vi ætheris elastica generari, necesse est, ut hæc vis elastica circa terram sensibilibiter diminuat; atque satis probabile videtur, hanc diminutionem vis elastice reciprocè proportionalem esse distantis à centro terræ. Hoc autem concesso, causa gravitatis tanto studio inquisita, fit maximè obvia. Sit enim corpus *Pp* ad distantiam *OP* à centro terræ *O* positum, cujus crassities *Pp* respectu distantie *OP* quasi sit nulla. Quòd si jam vis ætheris elastica absoluta ponatur = *E*, erit hæc vis diminuta in *P* =  $E - \frac{A}{OP}$  & in *p* =  $E - \frac{A}{Op}$ . At illâ vi corpus deorsùm, hac verò fursùm urgetur, unde vis prævalens, quæ corpus deorsùm urgebit, erit =  $\frac{A}{Op} - \frac{A}{OP} = \frac{A \cdot Pp}{Op \cdot OP}$ , ideoque proportionalis reciprocè quadrato distantie corporis à centro *O*. Hic autem locus non est hæc fusiùs perfequendi, ac pro rei dignitate confirmandi; interim tamen hæc transitio plurimum valere debet ad theoriæ præsentis veritatem evincendam, propterea quòd solius veritatis hoc est proprium, ut cum omnibus phænomenis perfectissimè conveniat.

Causa gravitatis indicatur.

FIG. IV.

§. 24. Cum igitur gravitas inde oriatur, quòd in vicinia terræ vis ætheris elastica debilitetur ob vorticem Magneticum

Prix. 1744.

C

Gravitas universalis corporum mundanorum explicatur.

circa terram formatum, perquam verisimile est Solem atque Planetas pariter ejusmodi meatibus Magneticis abundare; hincque circa corpus cujusque similem vorticem materiæ ætheris subtilioris existere, quo vis elastica ætheris in vicinia horum corporum pro inversa distantiarum ratione diminuatur, sicque gravitas universalis rationem distantiarum inversam duplicatam sequens efficiatur. Hæc certè gravitatis explicatio, sicuti quasi sponte se obtulit, ita statim omnibus reliquis explicationibus, quæ adhuc sunt excogitata, faciliè palmam præripit; quia non solum tantis difficultatibus, quàm reliquæ, non premitur, sed etiam tam faciliè atque naturæ convenienter omnia phænomena felicissimè explanat. Non dubitarim quoque ex hoc eodem principio causam virtutis electricæ dilucidè explicare; verùm quoad hæc mihi fusiùs evolvere liceat, in eum tantum finem hinc annotare visum est, quò veritas systematis, in quo corroborando sum occupatus, eò magis eluceat, atque adversus omnes objectiones, quas equidem non admodum pertimuerim, firmiùs consistat.

Vorticis Magnetici motus curatiùs definitur.

FIG. III.

§. 25. Quod igitur ad vorticem illum materiæ subtilis circa terram formatum attinet, statim manifestum est celeritatem materiæ subtilis in meatibus *AB*, ubi à reliquo æthere omninò est separata, esse maximam, ideo quòd à summâ vi elasticâ sollicitata in his meatibus ferè nullam sentit resistantiam. Quando verò ad *B* ex his meatibus prorumpit, & ab æthere circumfuso quasi reflectitur, & directionem suam ad latera *C* & *D* inflectere cogitur, tum ejus celeritatem vehementer diminui oportet. Hanc ob causam flumen materiæ hujus subtilis extra terram plurimùm amplificabitur, perindè ac fluvius ubi minore celeritate progreditur, in majus spatium se simul expandit ita ut in quovis loco celeritas sit amplitudini spatii quod occupat, reciprochè proportionalis. Huc autem accedit, quòd cum hac materia subtiliori extra meatus Magneticos mota, non exigua ætheris naturalis portio permisceatur; quò fit, ut volumen vorticis extra terram eò magis auferi, contrà verò celeritas diminui debeat.

§. 26. Rationes igitur hæc fati clarè evincunt, motum materiæ subtilis cum reliquo æthere jam permixtæ admòdum lentum esse debere: quocirca ab hoc vortice, quamvis motus sit curvilineus, tamen nulla sensibilis vis centrifuga, quâ effectus gravitatis turbari queat, se manifestare poterit. Hoc igitur maximè mea explicatio tam virtutis Magneticæ, quàm gravitatis atque adeo attractionis universalis, à reliquis se distinguit, quòd dum alii omnes vires in vi centrifuga positas statuunt, ego huic vi nullas vices tribuam, sed hæc omnia phænomena à sola vi elastica ætheris derivem, unde simul corporum cohæsiōnem ac duritiem pendere, omninò dubitari nequit: quo ipso theoriæ meæ maximum firmamentum accedere nemo inficiabitur. Appellabo autem in posterum materiam illam ætheris subtiliorem meatus Magneticos pervagantem, distinctionis causâ, materiam Magneticam; quæ cum in æthere naturali fati rarò sit dispersa, tamen in vicinia terræ in majori portione cum æthere erit permixta, è quòd continuò per meatus Magneticos à reliqua ætheris massa secernitur. Hanc ob rem universa terra circumfusa erit fluxu perpetuo ætheris multò majori copiâ materiæ Magneticæ imprægnati, quàm quidem in aliis regionibus à terra aliisque corporibus mundanis multum remotis in se complecti solet.

§. 27. Si jam originem meatorum Magneticorum in terra formatorum spectemus, perinde erit sive dicam eos simul cum terra esse creatos, sive successu temporis demum ab ipsa materia Magnetica effectos: verumtamen posterius veritati magis videtur consentaneum. Cum enim isti meatus consent poris Magneticis secundum certam directionem dispositis atque valvulis instructis, etiamsi hi pori initio nondum ita fuissent ordinati, tamen quia sunt mobiles, à materia Magnetica, cum semel fuerit ingressa, faciliè secundum certam directionem disponi, sicque in meatus continuos efformari potuerunt. Magna namque debet esse vis materiæ Magneticæ, cum semel poros corporum Magneticorum intrare cœperit, ob summam celeritatem, quâ tum

Status ætheris terram ambientis exponitur.

Origo meatorum Magneticorum traditur.

movetur; hacque vi, si percurſo quopiam ſpatio poros minùs congruè diſpoſitos offenderit, eos facilè ad ordinem dirigere, atque filamenta tenuiſſima, quibus pori ſunt obſiti, ita inflectere valuit, ut meatus continuos conſtituerent. Statuendum igitur eſt, id quod veriſimillimum aliundè conſtat, per totam terram corpora Magnetica continuo tractu & exitiſſe & etiam nunc exiſtere; neque tamen hinc ſequitur meatus Magneticos ubique ſecundùm lineas rectas progredi, ſed ſufficit, dummodo ab uno termino ad alterum ſint continui. Multò minùs ex his colligi poteſt polos Magneticos terræ ſibi è diametro eſſe oppoſitos; quin potiùs fieri poteſt, ut in terra plures duobus poli Magnètica exiſtant, de quo infrà videbo. Interea hinc ſatis tutò concludere licet, quoniam meatus Magnetici per terræ viſcera continuo tractu extenduntur, terram intùs non eſſe excavatam, uti nonnullis Philoſophis eſt viſum.

Meatus Magnètica in terra ſunt mutabiles.

§. 28. Meatus iſti Magnètica in terra ſemel efformati perpetuò in eodem ſtatu permanere deberent, ſi quidem terra quieſceret, neque in viſceribus ejus ulla ſive deſtructio ſive generatio corporum Magneticorum eveniret. Cùm autem terra ingentibus mutationibus, etiam in imis viſceribus, ſit obnoxia, meatus Magneticos hinc quoque aliquam alterationem perpeti debere, maximè probabile eſt. In primis verò motus terræ diurnus non exiguam mutationem in meatibus Magneticis producere debet. Quia enim terra intervallo unius diei circa axem ſuum ab occaſu in ortum rotatur, effectus ætheris idem erit, ac ſi terra quieſceret, æther autem æquali celeritate ab ortu in occaſum circumferretur. Ob hunc motum æther in meatus Magneticos obliquè incurrens vim exercebit ad meatuum directionem immutandam, hincque polos terræ Magnèticos ab ortu ad occaſum promovendos. Quoniam verò pori Magnètica facilè ſe mutari patiuntur, uti ex ferri phænomenis concludere licet, ejuſmodi polorum Magneticorum variatio ſucceſſu temporis actu animadverti debet; eritque iſte effectus eò ſenſibiliſſimus, quò longiùs poli Magnètica à polis mundi fuerint.

remoti. Ex his itaque causa vera mutabilitatis polorum Magneticorum terræ, hincque oriundæ mutabilitatis declinationis Magneticæ clarissimè explicatur.

§. 29. Quamquam hætenùs duorum tantùm polorum Magneticorum terræ mentionem feci, tamen ex iisdem principiis facilè intelligitur, structuram terræ internam ita comparatam esse posse, ut plures polos exhibeat: atque adeo Halleyi systema cum hac theoria egregiè consistere possit, qui prope utrumque polum mundi binos polos Magneticos statuit. Si enim terra circa centrum & axem per notabile intervallum Magneticis corporibus careat, ita ut meatus Magnetici  $AB$  &  $ab$  sensibiliter sint à se invicem sejuncti, tum poli  $A$  &  $a$ , itemque ex altera parte  $B$  &  $b$ , confundi atque unum polum constituere non poterunt; sed quatuor polos diversos repræsentabunt, qui à polis mundi  $P$  &  $p$  vel æqualiter vel inæqualiter distabunt, prout directiones meatuum fuerint axi  $Pp$  parallelæ vel secùs: atque ipsa systemata meatuum  $AB$  &  $ab$  magis minusve ab axe sint remota. Cùm autem hæc ab interna constitutione terræ pendeant, à priori minimè determinari poterunt, sed ex ipsis phænomenis concludi debent; quod negotium observationes circa declinationem & inclinationem acùs Magneticæ institutæ potissimùm conficient. Sufficiat igitur possibilitatem plurium polorum Magneticorum in terra ostendisse; atque ex theoria docuisse, hos polos propter motum vertiginis terræ continuò ab ortu in occasum circumferri debere, quod ipsum cum experientia mirabiliter concordat in hoc hæmispherio, dum repugnat in altero.

§. 30. Hæc in genere de universa tellure, quatenùs virtute Magneticâ pollet, annotare visum est, antequàm theoriam in specie ad Magnetem ac ferrum applicarem: quoniam virtus Magnetica, quæ in Magnete ac ferro deprehenditur, maximam partem vortici illi materiæ Magneticæ circa terram formato originem suam debet. Etsi enim in unoquoque Magnete, si à terra remotus in æthere versaretur, similis materiæ subtilis motus periodicus, & quasi vortex, nasci

In terra plures duobus poli Magnetici inesse possunt.

FIG. V.

Virtus singulorum Magneticorum à vortice terræ potissimùm oritur.

C ij



deberet, tamen is cùm ob corporis parvitatem, tùm propter meatuum paucitatem, respectu vorticis terrestris maximè debilis atque adeo vix foret sensibilis. Sin autem Magnes jam in vortice terræ sit constitutus, multò majorem acquireret virtutem; propterea quòd materia Magnetica hoc loco valde abundat, neque demùm à reliquo æthere secerni debet. Tum verò, in quo maximum positum est momentum, materia Magnetica in vortice terræ jam motu est prædita, quò fit, ut non solùm in meatus Magneticos majori vi irrumpat, sed etiam hos meatus secundùm suam motûs directionem disponere valeat. Unde in Magnete vis sese versùs certas plagas convertendi nascitur, quæ prorsùs abesset, si Magnes in æthere adhuc quiescente versaretur, quippe quo casu Magnes ad omnes situs foret indifferens. Hunc igitur duplicem vorticis terræ effectum in singulos Magnetes diligentius perpendere conveniet, ut intelligatur cujusmodi phænomena in unoquoque Magnete solitario evenire debeant: quo factò, quemadmodùm plures Magnetes tùm inter se, tùm ratione ferri, affecti esse debeant, investigabo.

Circa singulos Magnetes vortex Magneticus generatur.

§. 31. Cùm igitur materia subtilis Magnetica in æthere terræ circumfuso ingenti copiâ abundet, in cujusque Magnetis meatus magnâ vi irrumpet, atque ob summam ætheris elasticitatem vehementi rapiditate per eos fluet. Tantâ igitur celeritate ex his meatibus quoque prorumpet, quàm, cùm resistantiam ætheris conservare nequeat, primùm ipsa celeritas statim diminuetur, tùm verò directio ad latera inflectetur, atque statum permanentem quærendo, tandem ita motum temperabit, ut ad orificia meatuum revertatur. Continuo ergò transitu per meatus atque reditu vortex omninò similis ei quem circa terram generatum esse ostendi, circa singulos Magnetes efformabitur. In hujusmodi autem vortice minore unum Magnetem ambiente materia subtilis Magnetica multò inerit copiosior, quàm in vortice terrestri, eò quòd non solùm eadem materiæ Magneticæ copia adest, sed etiam per meatus Magnetis continuò nova secretio istius materiæ subtilioris ætheris à crassiore accedit. Quare

cùm virtus Magnetica à copia materiæ Magneticæ in quovis vortice contentæ pendeat, circa Magnetes hæc virtus multò magis vigebit, quàm circa terram; atque ob hanc rationem virtus Magnetica terræ generalis etiam à minimo Magnete facilè separatur: quod quamvis per experientiam sit notissimum, tamen clariùs perspicietur, si in effectus virtutis Magnetis, qui in mutua attractione & directione consistunt, datâ operâ inquiremus.

§. 32. Si materia subtilis Magnetica circa terram quiesceret, tum ob summam elasticitatem irrumperet quidem in cujusque Magnetis meatus, vorticemque formaret; verùm nullam prorsùs vim exereret ad Magnetem secundùm certam plagam dirigendum, cùm Magnes utcunque positus eodem modo respectu materiæ subtilis sit affectus, neque vis ætheris elastica quicquam lucraretur, si Magnetem in hanc potiùs quàm aliam plagam dirigeret. Est autem hæc lucri commemoratio non vox inanis; verùm in universa rerum natura maximum habet pondus: ubique enim observamus vires in mundo existentes nil nisi lucri causâ facere, atque effectum semper ita esse comparatum, ut eo conatus & quasi appetitus virium sollicitantium maximè expleatur. Sic funis suspensus, seu catena, eam induit curvaturam, ut ejus centrum gravitatis infimum occupet locum; quoniam hoc modo conatus gravitatis maximè expletur. Atque ex hoc principio omnes quæstiones naturales, etiamsi vias eas à priori resolvendi nulla pateat, tamen per methodum maximorum ac minimorum felicissimè resolvi possunt; id quod pluribus exemplis jam luculenter à Geometris est ostensum, atque multis aliis novis ostendi posset. Quamobrem si in determinatione effectûs à materia Magnetica in meatus incurrente oriundi, à qua mihi ob defectum principiorum subinde hæreat, iste defectus per illud principium universale convenientissimè supplebitur, neque ullum erit periculum ob ignorantiam principiorum genuinorum in errores prolabendi. Quin etiam hoc modo plures aliàs tædiosi calculi evitari possunt.

Magnes non potest esse ad omnes situs indifferens.

Directio Ma-  
gnetis con-  
venire debet  
cum motu  
materiæ Ma-  
gneticæ .

§. 33. Ex hac naturæ lege universalî dijudicare licet; quomodo Magnes in vortice terrestri Magnetico positus affici debeat. Ac primò quidem si à motu hujus materiæ subtilis abstrahamus, ea, uti jam est ostensum, in meatum Magnetis penetrabit, & vorticem circa Magnetem efformabit, qui multò magis materiâ subtili Magneticâ abundabit, quàm vortex terrestris in quo continetur. Quod autem ad motum vorticis terrestris attinet, perspicuum est, si directio meatuum Magnetis ita congruat cum motu materiæ subtilis, ut etiam cursum non inflectendo in meatum ingredi possit, tum motum fore celerrimum, & penetrationem meatuum minimâ difficultate perfici; quoniam & vis elastica & motus in materia subtili jam insitus ad eundem effectum producendum concurrunt. Cùm igitur in hoc statu maximus effectus producat, dubium est nullum, quin vortex terræ Magneticus vi sit præditus Magnetes quosvis in hanc ipsam directionem, in qua effectus oriatur maximus, dirigendi. Atque hoc æque certè evenire debere statuendum est, ac si ipsæ vires, quibus ista directio efficiatur, perfectissimè essent cognitæ. Quamvis autem in hac ratione acquiescere possemus, tamen quia in hac Magnetum conversione omnis theoriæ cardo versatur, operam dabo, ut clariùs intelligatur, quomodo iste effectus secundùm leges mechanicæ producat; quò magis ex consensu causæ finalis cum causâ efficiente veritas theoriæ perspiciatur atque confirmetur.

Conversio  
Magnetis ver-  
sus certam  
plagam me-  
chanicè ex-  
plicatur.

FIG. VI.

§. 34. Consideremus unicum meatum Magneticum in vortice terrestri liberè positum; quod enim in uno meatu evenire debere ostendetur, idem in pluribus atque ideo in integro Magnete usvenire debet. Teneat igitur meatus Magneticus situm  $AB$ , atque materia subtilis vorticiosa hoc loco moveatur secundùm directionem  $AC$ , cujus celeritas per hanc rectam  $AC$  exprimitur, ita ut directio meatûs  $AB$  cum directione motûs materiæ subtilis angulum constituat  $BAC$ ; qui angulus si foret nullus, dubium non est, quin meatus in hoc statu permansurus esset. Consideretur  
nunc

nunc celeritas, quâ materia subtilis Magnetica in meatum esset irruptura, si quiesceret, & à sola elasticitate urgere-  
 tur, & repræsentetur hæc celeritas per rectam  $AB$ . Quo-  
 niam igitur materia subtilis, & proprium habeat motum  $AC$ ,  
 & ad motum  $AB$  suscipiendum sollicitetur, duplici hoc  
 motu efficietur, ut materia subtilis annitatur promoveri se-  
 cundùm directionem diagonalis  $AD$ , completo parallelo-  
 grammo  $ABDC$ , cum celeritate per ipsam diagonalem  
 $AD$  expressa. Ex hoc conatu secundùm directionem  $AD$   
 movendi, nascitur necessariò vis meatum versùs hanc ip-  
 sam directionem convertendi, quæ vis, cum à celeritate  
 ipsa  $AD$ , tum ab angulo  $BAD$ , pendeat. Cum igitur mea-  
 tus  $AB$  in  $A$  urgeatur in directione  $AD$ ; resolutâ hac vi  
 in normalem ad  $AB$  & incidentem, illa, quæ erit ut  $AD$ .  
 sin.  $BAD$ , exhibebit vim convertentem. Quare cum sit ex  
 trigonometria  $AD : AC = \sin. BAC : \sin. BAD$ , erit  
 $AD. \sin. BAD = AC. \sin. BAC$ ; & hanc ob rem vis  
 meatum  $AB$  versùs directionem vorticis  $AC$  convertens  
 erit ut  $AC. \sin. BAC$ .

§. 35. Hinc ergò erit vis, qua meatus Magneticus  $AB$   
 versùs directionem vorticis  $AC$  inflectitur, in ratione com-  
 posita ex celeritate materiæ vorticis  $AC$  & sinu anguli  
 $BAC$ , quo situs Magnetis à directione  $AC$  diffidet. Cum  
 igitur celeritas materiæ vorticis  $AC$  maneat quasi eadem,  
 meatus Magneticus quiescere non poterit, nisi cum fuerit  
 sinus anguli  $BAC = 0$ ; quod quidem duobus casibus fit,  
 altero quo angulus  $BAC = 0$ , altero quo  $BAC =$  duo-  
 bus rectis. Quamvis autem hoc posteriori casu quiescere  
 possit, tamen hic non dabitur status quietis permanens, sed  
 quamprimùm meatus vel tantillum ab hoc situ declinatur,  
 tum sese in alterum æquilibrii statum permanentem, ubi  
 $BAC = 0$ , recipiet, ubi acquiescere poterit. Maximè au-  
 tem in hunc situm contendet, si ab eo ad angulum rectum  
 distet, hoc est, si angulus  $BAC$  fuerit rectus, tum enim  
 hujus anguli sinus fit maximus, quippe sinui toti æqualis.  
 Sin autem angulus  $BAC$  fuerit sive acutus sive obtusus, vis

Vis Magnetis  
 convertens de-  
 terminatur,

Prix. 1744.

D

erit minor. Præterea autem notandum est, quoniam non omnis materia ætheris circumfusi per meatum transire potest, sed tantum ejus pars subtilior, quam materiam Magneticam voco, etiam copiam hujus materiæ in superiorem expressionem  $AC$ . sin.  $BAC$  esse introducendam: ita ut sit vis convertens proportionalis producto ex copia materiæ Magneticæ circa Magnetem existentis, ejus celeritate, & sinu anguli, quo directio meatûs à directione motûs vorticis distat.

Magnetum  
anomalorum  
ratio explica-  
tur.

§. 36. Quilibet igitur Magnes, qui habet meatus suos inter se parallelos & ferè in directum dispositos, eum in vortice situm affectabit, ad quem unumquemque simplicem meatum urgeri ostensum est. Scilicet talis Magnes, nisi ab aliena vi retineatur, vel à gravitate impediatur, in eum situm se componet, in quo directio meatuum cum directione motûs vorticis ita consentiat, ut materia subtilis sine ulla motûs sui inflexione in meatus intrare possit. Hinc autem excludendi sunt Magnetes compositi & quasi anomali, vel ex pluribus Magnetibus simplicibus constantes, vel in quibus meatus nec inter se sunt paralleli, nec in directum formati. Hujusmodi Magnetes idcirco plerumque plures duobus habent polos, simili modo, quo terram quatuor polis præditam esse observationes declarare videntur. Quin etiam numerus polorum in eodem Magnete impar esse potest, quod evenit, si meatus, qui in altera extremitate disjuncti plures polos constituunt, iidem in altero termino uniuntur, unicumque polum efformant. Sic Magnes  $ABb$ , in quo meatus ad  $A$  uniti versùs  $B$  &  $b$  dirimuntur, tres habebit polos in  $A$ , &  $B$  ac  $b$ , quorum quisque eò erit fortior, quò plures meatus ad eum formandum concurrunt. Atque hinc etiam fieri posse intelligitur, ut unus tantum polus distinctus in Magnete deprehendatur, quod eveniet, si meatus ad  $A$  concurrentes versùs alteram extremitatem ita divergant, ut nusquam tot coeant, quot ad polum distinctum repræsentandum requiruntur. Cujusmodi igitur situm tales Magnetes anomali in vortice terræ affectare debeant, faciliè

FIG. VII.

colligere licet ; cùm enim singuli meatus situm intentum recipere nequeant , omnes conjunctim ejusmodi situm medium eligent , in quo vires dirigentes se mutuò in æquilibrio teneant.

§. 37. Cùm ergo Magnetes anomali nullum ampliùs negotium faceffant , si Magnetum simplicium , in quibus meatus cursu parallelo ab uno termino ad alterum in directum extenduntur , duosque polos distinctos exhibent , ratio fuerit exposita , ad hujusmodi Magnetes potissimùm spectabo. Magnetem scilicet sum consideraturus omni ferè crassitie carentem , in quo meatus arctissimè uniti ab uno termino ad alterum secundùm lineas rectas excurrunt , atque adeo acui Magneticæ perfectè similem. Quare cùm acus Magnetica ratione virtutis à Magnete non discrepet , nihil impedit , quominùs in hoc negotio pro Magnete acui Magneticam substituam , quoniam in ea directio multò clariùs percipi potest , quàm in Magnete plerumque difformi. Sit igitur hujusmodi acus Magnetica etiam gravitatis expers , seu ita suspensa , ut sese liberrimè in eum situm , quem vortex terrestris intendit , recipere possit. Sint igitur *A* & *B* duo terræ poli Magnetici sibi è diametro oppositi , in quorum altero *A* materia subtilis terræ meatus ingrediatur , in altero verò *B* iterùm prorumpat. Quanquam autem difficile est determinatu , uter horum polorum Boreæ vel Austro respondeat , quoniam uterque eadem phænomena producit , tamen ne ambiguitas confusionem pariat , citra errorem hoc dubium tollere licebit. Assumam itaque illum terræ polum *A* , ubi materia Magnetica in meatus irrumpit , circa Austrum esse positum , alterumque *B* materiam subtilem evomentem in regione Boreali constitui. Erit enim *B* polus terræ Magneticus Borealis , *A* verò Australis ; neque enim hîc plures polos , etsi adsint , considerasse opus est , cùm quod de duobus demonstrabitur , idem facilè ad plures transferri queat. In figura porrò interior circulus nucleum terræ , in quo vim Magneticam maximè vigere probabile est , repræsentat , exterior verò ipsam terræ superficiem , inter quam

Acus Magnética directio in vortice terrestris indagatur.

FIG. VIII.

D ij

& nucleum crusta terræ superior continetur, ob plurima corpora heterogenea multò minore virtute prædita.

Acus Magneticæ declinationis explicatur.

§. 38. Quanquam lineas illas curvas, per quas materia subtilis ex polo *B* egressa ad polum *A* revertitur, definire non ausim, tamen manifestum est, motûs directionem in ipsis polis *A* & *B* esse verticalem, in locis autem intermediis *C* & *D* horisontalem, quæ loca quasi æquatorem Magneticum exhibebunt: unde quò magis ad polos *A* & *B* accedatur, eò major proditura sit inclinatio directionis materiæ subtilis ad horisontem. Hæc autem generalis motûs idea ad præsens institutum sufficiet, quoniam specialis cognitio ob summam irregularitatem ne quidem sperari potest. Si igitur acus Magnetica *ab*, in qua sit *a* polus materiam Magneticam deglutiens, *b* verò polus eructans, in loco quocunque vorticis terrestris versetur, ea ita disponi debet, ut ejus polus *a* materiæ subtili ingressum præbens polum terræ *B* naturæ contrariæ, unde materia subtilis advehitur, spectet, alter verò polus *b* ad terræ polum *A* vergat, eruntque adeo poli diversæ naturæ sibi amici, ejusdem autem naturæ inimici. Versabitur ergo acus Magnetica primùm in circulo verticali per polos terræ Magneticos transeunte, cujus à meridiano vero distantia in quovis terræ loco exhibebit declinationem Magnetis. Præterea verò nisi acus versetur in æquatore Magnetico *CD*, ad horisontem inclinabitur, atque in hemisphærio quidem Boreali *CB* acus terminus *a* Boream spectans infra horisontem deprimitur, in altero autem hemisphærio supra horisontem elevabitur: quæ inclinatio ad horisontem eò erit major, quò propiùs ad polos Magneticos *A* vel *B* acus admoveatur. Quamobrem ex declinatione & inclinatione acûs Magneticæ in quovis loco terræ directio cursûs materiæ subtilis Magneticæ cognosci poterit.

Phænomena acûs Magneticæ à priori difficulter definiiri possunt.

§. 39. Si igitur terra duos tantùm haberet polos Magneticos sibi è diametro oppositos, tum ex factis aliquot observationibus non adeo difficile foret, pro quovis terræ loco tam declinationem quàm inclinationem acûs Magneticæ à

priori assignare. Verum cùm probabile sit, terram quatuor polis Magneticis gaudere, quorum bini neque sint sibi è diametro oppositi, neque à polis mundi æqualiter distent, tum multò magis arduum erit positionem acûs Magneticæ in quovis loco definire; quoniam comparatio virium, quibus versùs singulos polos urgetur, hincque resultans media directio non nisi summâ cum difficultate suscipi posset. Primum enim ipsi poli Magnetici sine dubio dissimili virtute sunt præditi, unde fit ut etsi acus à binis æqualiter distet, tamen disparibus viribus ad utrumque dirigatur. Tum verò, quia ipsa vis, quò propiùs ad quemque polum accedatur, ob majorem materiæ Magneticæ copiam major evadit, hoc ipsum incrementum ac decrementum ante nosse oporteret, quàm quicquam concludi possit. Ob hunc ergo defectum nihil adhuc certè à priori definire licet; neque verò hoc ad theoriæ confirmationem quicquam conferret, cui unicè immorari debere ipsa quæstionis propositio jubet. Ex his autem, quæ hæctenus dicta sunt, abundè ratio constat, tam declinationis & inclinationis acûs Magneticæ, quàm harum ipsarum rerum mutabilitas, quæ successu temporis ubiqueprehenditur, quippe cujus causa in promotione ipsorum terræ polorum Magneticorum apertissimè est posita.

§. 40. Cùm igitur phænomena acûs Magneticæ, atque adeo uniuscujusque Magnetis in se spectati satis sint explicata, quemadmodùm duo pluresve Magnetes inter se debeant esse affecti, per theoriam investigabo. Præcipuè itaque vorticem, qui circa quemlibet Magnetem à materia subtili formatur, perpendere oportebit; hic autem vortex cùm ad statum permanentem fuerit perductus, ab æthere circumdato undique æqualiter comprimeretur, hincque ipse Magnes undique æqualiter pressus in quiete persistet, siquidem jam eam directionem, quam affectat, sit affectus. Sit igitur Magnes *AB* vortici in polo *A* ingressum, in *B* verò exitum præbens, atque materia subtilis erumpens circa *C* ad latera reflectetur, & ad *a* reversa denuò in polum *A* ingrediatur: in qua utraque reflexione materiæ sub-

Quomodo  
Magnes à vortice  
ad motum  
cieri possit,  
doceatur.

Fig. IX.

D iij



tilis æqualis utrinque vis impendetur, & ab hac æqualitate status æquilibrii pendebit. Quòd si igitur eveniat, ut materia subtilis in  $\mathcal{C}$  sublatis obstaculis directè progredi possit, tum ob cessantem hoc loco reflexionem vortex ex hac parte minori vi premetur, quàm ad  $\alpha$ , hincque ipse Magnes in  $A$  majori vi sollicitatus quàm in  $B$  actu secundùm directionem  $AB$  propelletur. Simili modo si ad  $\alpha$  aliunde sufficiens copia materiæ subtilis advehatur, ut reflexio materiæ vorticis in hac regione suspendatur, tum pressio vorticis ad  $\mathcal{C}$  superabit pressionem ad  $\alpha$ , ideoque ipse Magnes ad  $B$  majore vi impulsus secundùm directionem  $BA$  promovebitur. Similiter intelligitur, si in  $\mathcal{C}$  alius materiæ subtilis fluxus contrà incurrat, qui quasi cum vortice ad  $B$  erumpente conflitetur, tum ob majorem ad  $\mathcal{C}$  reflexionem, compressionem quoque vorticis in hoc loco prævalere debere, unde Magnes ab altero illo materiæ subtilis incurso repellitur in directione  $BA$ . Atque generatim quibus in locis inflexio materiæ subtilis à causa externa vel augetur vel diminuitur, propter vim, quam inflexio postulat, vel auctam vel diminutam, compressio Magnetis iisdem in locis vel major vel minor evadet, sicque sublato vorticis æquilibrio Magnes ad motum sollicitatur.

Magnetes polis amicis se spectantes se mutuò attrahunt.

S. 41. Ex his nunc facilè omnes effectus, qui in Magnetem mutua attractione ac repulsionem cernuntur, determinari poterunt. Sint primò duo Magnetes ita positi, ut eorum axes  $AB$  &  $ab$  in directum jaceant, atque poli diversi nominis  $A$  &  $b$  se mutuò respiciant. Hoc casu perspicuum est, materiam Magneticam ad  $b$  erumpentem, non solùm non tantam resistantiam invenire, sed etiam à vi elastica ætheris ad orificia alterius Magnetis  $A$  urgeri, ita ut materia Magnetica ad  $b$  profiliens recta in meatus  $A$  irrumpat. Hinc igitur neque omnis materia subtilis ex  $b$  erumpens reflectetur, neque ea quæ ex  $B$  in  $A$  esset reversura, cursum suum inflectet; sed ulterius per  $\delta$  &  $\gamma$  ad  $a$  usque progredietur, ita ut per confusionem horum duorum vorticum propemodùm unicus vortex oriatur. Hanc ergo ob causam

FIG. X.

compressio utriusque vorticis, inter polos  $A$  &  $b$  diminuetur, atque isti ambo Magnetes ad se mutuò urgebuntur. Permissio autem vorticum, hincque compressionis ad  $Ab$  diminutio, à magnitudine utriusque vorticis & distantia Magnetum pendebit. Quò enim Magnetes fuerint propiores, eò major pars materiæ Magneticæ ad  $b$  erumpentis recta in  $A$  ingrediatur, hincque eò minor portio reflectendo ad  $a$  perveniet: ob eandemque rationem eò minor portio materiæ subtilis in  $B$  exeuntis ad  $A$  deducetur, sed maximam partem per  $\gamma$  &  $d$  ad alterius Magnetis polum  $a$  propagabitur. Manifestum ergo est, quò Magnetes sibi sint viciniore, eò majori vi eos ad se invicem pelli debere, donec si poli  $A$  &  $b$  ad mutuum contactum perveniant, omnis materia Magnetica ad  $b$  effluens immediatè in alterum Magnetem ingrediatur, simulquè omnis materia ad  $B$  erumpens in  $a$  usque reflectatur; ita ut unus vortex simplex existat, nisi ambo Magnetes magnitudine multum inter se discrepent.

§. 42. Sint denuò axes duorum Magnetum  $AB$  &  $ab$  in directum dispositi; at poli ejusdem nominis seu inimici  $A$  &  $a$  se mutuò respiciant. Atque hoc casu facilè intelligitur ratione vorticum contrarium præcedentis casûs usuvenire oportere; cum enim materia subtilis ad  $B$  &  $b$  reflexa sibi occurrat, & conflictus mutuus nascatur, uterque vortex inter  $A$  &  $a$  propterea magis comprimetur, ex quo Magnetes se mutuò repellere debebunt. Interim tamen dum utraque materia subtilis ex  $B$  & ex  $b$  prorumpens motum suum quantum fieri queat, conservare conatur, dubium est nullum, quin pars quædam materiæ ex  $b$  redeuntis viam sibi per alterum vorticem aperiat, atque per  $e$  in  $A$  ingrediatur: similique modo vorticis ex  $B$  recurrentis portio per  $f$  ad  $a$  penetrabit, sicque permissio quædam vorticum modò major, modò minor orietur. Ex tali ergo vorticum permissione ob rationem antè allegatam attractio oriri debet, quatenus autem reliquæ vorticum portiones eò promptius in  $g$  &  $h$  inflectuntur, ex hac fortiori reflexione repulsio nascetur: qui duo effectus prout alter alterum superaverit, vel

Magnetes polis inimicis se spectantes se mutuò modò attrahere modò repellere possunt.

FIG. XI.

attractionem vel repulsionem generabunt. Quòd si ergo duo Magnetes hoc modo disponantur, fieri poterit, ut se mutuò æque attrahant, ac repellant: quin etiam accidere potest, ut variatâ Magnetum distantîâ, modò attractio, modò repulsio prævaleat, quæ anomalix à figura utriusque Magnetis plurimùm pendebunt, ac præterea in se tam erunt inconstantes, ut repetito eodem planè casu, rarò eadem phænomena observentur. Tam egregiè autem hæc cum experimentis, quæ celeberrimo Muschenbroeckio debemus, consentiunt, ut vel ex hoc solo consensu theoria mea maximum adipiscatur firmamentum, proptereà quòd ii ipsi effectus, qui isti Auctori planè inextricabiles, atque causam intelligentem arguere videbantur, tam pronò alveo ex isto fonte derivantur.

Quomodo  
duo Magnetes  
se fugent, of-  
fenditur.

§. 43. Hi ergo duo Magnetes in isto statu præternaturali perseverare non poterunt, nisi vi in eo detineantur. Ponamus igitur utrumque Magnetem instar versorii mobilem esse super cuspide verticali centrum gravitatis  $C$  &  $c$  sustinente. In hoc statu, si mentem directione generali à vortice terræ ortâ abstrahamus, ratio utique nulla foret, ut hi Magnetes se in hanc potius quàm aliam plagam convertant. At propter permixtionem vorticum, quam figura representat, polus  $A$  versùs  $g$ , polus  $a$  versùs  $h$  recedere debet: hocque modo poli cognomines simulque inimici  $A$  &  $a$  se mutuò fugare videbuntur. Hic nimirùm similis effectus oriri debet, quo meatum Magneticum à vortice terræ dirigi est ostensum: materia namque Magnetica per  $e$  veniens obliquè in meatus Magneticos  $AB$  incurrit, hofque idcirco secundùm eam ipsam directionem, in qua materia subtilis fertur, disponere conatur. Hinc Magnes  $AC$  circa  $C$  versùs  $g$ , & alter circa  $c$  versùs  $h$  converti debet, siquidem permixtio vorticum eo fuerit facta modo, quem figura exhibet: sin autem permixtio contrario modo contigerit, tum etiam Magnetes in plagas contrarias à se invicem recedent. Quousque autem poli  $A$  &  $a$  à se invicem removeantur, in sequenti paragrapho videbimus; interim hoc loco  
tùm

tum ratione permissionis vorticum, tum ratione conversionis plurimum referre norandum est, quomodo dispositio Magnetum horum se habeat, respectu plagarum mundi; vis enim dirigens vorticis terrestri maximè permissionem horum vorticum juvabit, atque efficiet ut Magnetes versùs hanc potiùs quàm alteram plagam convertantur. Hanc autem circumstantiam sitùs magni esse momenti experimenta satis comprobant.

§. 44. Ponamus utrumque Magnetem casùs præcedentis jam per angulum rectum à se invicem recessisse, seu duos Magnetes *AB* & *ab* super cuspidibus *C* & *c* mobiles in eo situ esse positos, quem Figura repræsentat, ubi scilicet sint axes utriusque Magnetis inter se paralleli, sed ita ut poli diversi nominis *A* & *b*, itemque *B* & *a*, in eandem plagam spectent. Primùm quidem vorticem terrestrem cogitatione tollamus, atque manifestum est, portionem materiæ subtilis in *B* profiliantis ad alterius Magnetis polum *a* esse transituram; similiterque portionem materiæ subtilis in *b* erumpentis in alterius Magnetis polum *A* esse ingressuram. Hæc scilicet deflexio à tramite consueto ideo fiet, quia hoc modo subitanea reflexio evitatur. Ex quo simul perspicitur, si hi Magnetes sibi nimis essent vicini, tum hujusmodi communicationem nil lucri fore allaturam. In casu autem, quem Figura repræsentat, cum utrinque omnia sint similia, ratio erit nulla, cur Magnetes convertantur. Quòd si verò alteruter vel tantillum declinetur, fient ex una parte poli amici sibi propiores quàm in altera parte, & hanc ob rem se mutuo attrahendo sese in situm Figuræ *X*. repræsentatum component, nisi inter se nimis sint propinqui. Sin autem effectus vorticis terræ insuper accedat, tum ex combinatione causarum effectus dijudicari debet; ubi quidem perspicuum est, quòd remotiores fuerint Magnetes, eò majorem esse futurum effectum à vortice terrestri oriundum, in exiguis autem distantiiis vires Magnetum esse prævalituras.

§. 45. Distinctè igitur mihi exposuisse videor, quemadmodum duo Magnetes tam ratione attractionis & repulsionis,

Prix. 1744.

E

Quomodo  
duo Magnetes  
suspensi, in se  
mutuo agant:

FIG. XII

Theoria ex  
consensu cum  
experientia  
magis confir-  
matur.

quàm ratione directionis, in se mutuò agant; qui effectus quò magis sunt singulares & admirabiles, eò fortius causam hîc à me assignatam, unde tam planè & luculenter consequuntur, confirmant. Cùm enim effectus simplices plerumque à pluribus causis oriri possint, atque difficile sit ex his, quæ vera sit, discernere: sic effectus compositi, maximèque complicati, cujusmodi sunt phænomena Magnetis, non nisi ab unicâ causâ proficisci possunt, à quâ si vel tantillum aberremus, plerorumque phænomenorum rationem reddere haud valeamus. Quamobrem cùm præcipuorum Magnetis effectuum causa tam naturaliter in theoria hîc exposita contineatur, dubitari profectò nequit, quin hæc sola theoria cum veritate consentiat. In hoc autem genere nullum adhuc inveni experimentum, cujus eventum non solum theoriæ meæ maximè congruum deprehenderim, sed etiam à priori facilè prædixerim. Quoniam verò ea experimenta, quæ circa actionem duorum Magnetum in se mutuò sunt instituta, non difficulter ad casus evolutos reducuntur, iis singulis explicandis non immorabor, cùm eorum solutio non solum ex jam allatis manifestò sequatur, sed etiam tædiosum foret in ejusmodi rebus, in quibus ne scrupulus quidem suboriri queat, longiùs inhærere. Progrediar itaque ad alius generis phænomena, postquàm hoc unicum monuero, corpora quæcunque, ferro excepto, inter binos Magnetes interposita, eorum actionem mutuam nullo modo turbare; cujus circumstantiæ, etsi celeberrimo Muschenbroeckio maximam difficultatem habere visâ est, ratio ex superioribus in promptu est, cùm statuissem, materiam Magneticam cuncta corpora, præter ferrum ac Magnetem liberrimè permeare; quæ assumptio cùm sit naturæ maximè conformis, quâ constat, omnia corpora atheri aliisque fluidis subtilibus, uti calori, esse pervia, tum etiam ex his ipsîs experimentis firmissimè corroboratur.

Virtutis Magnetice communicatio cum ferro perpenditur.

§. 46. Jam præter attractionem, repulsionem ac directionem in Magnete potissimum notatu digna est ejus vis communicativa, quâ cum ferro & chalybe similem suâ vim

ita communicat, ut de suâ vi propriâ nihil amittat: quæ proprietas eorum animos, qui in causam phænomenorum Magnetis inquisiverunt, maximè torisit. Ex cognitiâ autem verâ structurâ quâ virtus Magnetica continetur, manifestum est ad virtutem Magneticam cuiquam corpori conciliandam nil aliud requiri, nisi ut in eo meatus Magnetici efformentur, qui continuo tractu ab uno corporis termino ad alterum progrediantur. Ad hoc ergo primùm in corpore inesse debent ejusmodi pori minimi subtilissimis filamentis obsiti & quasi valvulis instructi: tum autem hi pori ita disponi debent, ut canales continuos constituent, & valvulæ per totum tractum in eundem sensum spectent. Hujusmodi autem poris præter Magnetem præditum est ferum, & chalybs cum aliis corporibus, in quibus hæ ipsæ materiæ abundant. Hæc corpora etiamsi ejusmodi poris scatent, tamen, nisi pori in meatus Magneticos sint dispositi, virtutis Magneticæ erunt expertia. Quamobrem ut his virtus Magnetica inducatur, primùm necesse est, ut pori sint mobiles æque ac filamenta, quibus sunt obsiti; tum verò ejusmodi vis accedere debebit, quæ poros in debitum ordinem redigere valeat. In poris autem non opus est, ut sensibilis mobilitas statuatur, quoniam quæque corpora poris maximè sunt plena, ac levissima mutatio sufficere potest ad poros in seriem continuam disponendos. Filamenta verò quæ in poris valvularum vices gerant, sine mobilitate concipi vix possunt: interim tamen per se perspicuum est, hanc mobilitatem in aliis corporibus esse posse majorem, in aliis minorem.

§. 47. In ferro ergo vel chalybe virtute Magneticâ nondum imbuto, pori isti nullo certo ordine erunt dispositi, sed ita confusè dispersi, ut neque meatus continuos constituent, neque valvulæ ex filamentis formatae ad eandem plagam respiciant, quo in statu quamdiu hæc corpora manebunt, nullâ prorsus vi Magneticâ pollebunt, sed instar reliquorum corporum inertiam jacebunt. Neque verò etiam æther quiescens circumfusus in his corporibus certos meatus

Quomodo in ferro vis Magnetica generetur.

efformare possent, quòd undique eadem vi premat, hincque poros etiam si sint mobiles, in unam potiùs plagam quàm aliam disponere non valebit. At si æther, uti in vortice terrestri usu venit, jam sit immotus, tum secundùm motùs sui directionem majori vi in poros extimos intrabit, quà tandem poros extremos secundùm directionem suam ordinabit: cum enim fluxus materiæ Magneticæ integros Magnetes dirigere valeat, multò magis minimas moleculas in iisque filamenta cingere valebit. Statim autem ac materia Magnetica in uno loco per extremos poros penetravit, ob ingentem quam jam acquisivit celeritatem, faciliùs poros internos in debitum ordinem disponet, dummodo hujusmodi pori reperiantur continui. Cùm autem materia Magnetica ad alterum usque terminum penetraverit, tum prorumpens vorticem formabit, prorsùs uti circa singulos Magnetes existere monstravi: quo formato, ferrum seu chalybs pari virtute Magneticâ pollebit, ac ipse Magnes. Sin autem pori Magnetici non continuo tractu procedant, sed spatia materiâ peregrinâ repleta interjaceant, uti fit in mineris ferri non admodùm fœcundis, tum ejusmodi corpora vi Magneticâ imprægnari non poterunt.

Ferrum successu temporis tandem virtute Magneticâ imprægnatur.

§. 48. Ex his igitur intelligitur à vortice Magnetico terram ambiente in ferro tandem vim Magneticam generari posse, cum iste vortex ad hunc effectum producendum perpetuò vires exercent. Quoniam verò in vortice terrestri materia Magnetica & admodùm lentè movetur, nec in satis magnâ copiâ cum æthere est permixta, ejus vis perquam erit debilis: undè quòd hæc vis fuerit minor, eò plus temporis requiretur ad virtutem sensibilem in ferro excitandam. Ita videmus post longum demùm temporis intervalum bacillos ferreos virtute Magneticâ imprægnari: neque verò iste effectus quovis modo obtinetur, verùm necesse est ut ejusmodi bacilli ferrei constanter in eodem situ retineantur. Nisi enim idem perpetuò situs conservetur, materia Magnetica secundùm aliam directionem ageret, ideoque effectum jam ante productum rursùs destrueret. Præterea

verò eò longiore temporis intervallo opus est, quò minùs mobiles erunt pori in ferro contenti, & quò rigidiora fuerint filamenta, ut non tam facilè in situm convenientem reclinari queant. Ex quo intelligitur, si quâ causâ internæ ferri particulæ mobiliores reddantur, eò citiùs ferrum virtute Magneticâ imprægnatum iri. Hinc ferrum calidum, si in eodem situ diu reponatur, virtutem Magneticam citiùs acquireret, quàm frigidum; quoniam per calorem partes ferri rarefiunt, atque faciliùs inter se commoventur. Non parum quoque ad imprægnationem accelerandam conferre poterunt mallei ictus vel limæ attritus, quippe quibus introitus materiæ subtilis atque pororum commotio non mediocriter juvatur. Quin etiam dissolutione ferri lentâ, cujusmodi evenit, si ferrum lapidi infixum injuriæ tempestatis diu fuerit expositum, ac ferri particulæ solutæ sensim se in poros lapidis insinuent, actioni vorticis Magnetici liberior aditus aperitur, atque dum singulæ ferri particulæ debito modo disponuntur, lapis tandem iis repletus perfectum Magnetem mentietur.

§. 49. Vis Magnetica hoc modo in ferrum illata eò erit fortior, quò plures meatus continuos materia Magnetica sibi efformaverit: simul autem hæc vis in ferro eò pertinaciùs inhærebit, quò id fuerit durius, sive ab initio jam tale fuerit, sive demum postquàm virtutem Magneticam jam est adeptum, tale sit factum. Quò durius scilicet fuerit ferrum, eò difficiliùs quidem virtutem Magneticam adipiscitur, at verò adeptam pertinaciùs conservat: contrà verò ferrum mollius promtiùs quidem virtute Magneticâ imbutur, sed eò faciliùs ac citiùs eam iterùm amittit. Hanc ob causam videmus ferrum multò faciliùs virtutem Magneticam impetrare quàm chalybem; chalybem verò vim semel receptam fortiùs retinere. Ferrum autem virtute Magneticâ iterùm privatur, si in situ contrario vortici terrestri diu exponatur, quò fit ut materia subtilis sibi secundum aliam directionem meatus formando, eos qui jam antè inerant, sursùs destruat. Hæc ergo destructio iisdem mediis promoveri

Virtus Magnetica in ferro facilè iterùm destrui potest.

E iij



potest, quibus ante imprægnationem accelerari ostendimus. Inflexio nimirum, mallei ictus atque limatio, quibus operationibus pororum ordo turbari, & meatus interrumpi possunt, virtutem Magneticam afficient, eamque penitus delere valent. Inprimis autem calor atque ignitio plurimum virtutem Magneticam turbabunt, atque etiam ob hanc rationem ipse Magnes vi suâ penitus exui potest, quæ omnia cum experientia tam arctè consentiunt, ut etiam ex hac parte nullum dubium circa veritatem hujus theoriæ superesse possit.

Figura ferri plurimum confert ad vim Magneticam accipiendam.

FIG. XIII.

§. 50. Quò autem ferri frustum virtute Magneticâ imbuatur, plurimum interest, cujusmodi habeat figuram, & in quonam situ hæc figura respectu vorticis materiæ Magneticæ reponatur. Quod ad figuram attinet, aptissima deprehenditur ea, quæ sit oblonga instar trabeculæ efformata, neque nimis tenuis, neque nimis crassa. Primùm enim patet, figuram rectam  $AB$  præstare incurvatæ  $ab$ , eò quòd materia subtilis semel in  $A$  vel  $a$  ingressa cursum suum faciliùs in directum prosequitur, quàm secundùm lineam curvam vel inflexam. Quoniam deinde materia subtilis Magnetica per poros ferri facillimè movetur, maximam autem resistentiam offendit, dum ex ferro in ætherem aperta egreditur, in trabecula recta  $AB$  parùm materiæ Magneticæ ad latera effluet, sed fere omnis secundùm longitudinem  $AB$  penetrabit: sicque meatus rectos secundùm longitudinem  $AB$  extensos & inter se parallelos formabit; quibus fortissima virtus Magnetica efficitur. In trabeculâ autem curvilineâ  $ab$  meatus incurvati non tam facilè formabuntur, sed in parte convexâ non exigua materiæ subtilis portio in ætherem prorumpet, atque vim Magneticam debilitabit. Quò autem meatus inter se paralleli producantur, crassities bacilli satis exigua esse debet, ne ulla divergentia, quâ cursus meatuum perturbatur, locum habere queat; interim tamen nimia gracilitas æque obstabit imprægnationi, propterea quòd meatuum numerus diminuitur, atque materia ad latera effluens plurimum de virtute auferet. Hoc

idem incommodum se offeret in bacillis seu virgis nimis longis, in quibus fere omnis materia subtilis ad latera exire potest, antequàm ad alteram extremitatem deferatur. Virga autem nimis brevis, etiamsi his incommodis careat, tamen hoc vitio laborat, quòd in tam exiguo spatio vortex materiæ Magneticæ ob viam percurrendam nimis curvam formari nequeat. Dabitur ergo & longitudo & crassities bacillo ferreo tribuenda, quæ sit aptissima ad virtutem Magneticam accipiendam, omnino uti experientia testatur.

§. 51. Quòd autem figura nimis crassa inepta sit ad vim Magneticam recipiendam, ex theoria facilè perspicitur. In hujusmodi enim figura ferri *AB* materia subtilis ad *A* ingressa facilè à tramite recto deflectet. Quamvis enim conetur in directum progredi, tamen si ob inæqualitatem particularum ferri hinc inde ad latera minorem resistantiam inveniatur, eò deviabit, uti in *e*, hocque modo non solum motus rectilineus turbatur, sed etiam motus materiæ subtilis in *a* ingressæ, ac fortasse in directum progressuræ, præpeditur. Inprimis autem hoc incommodum in altero termino *B* cernetur, ad quem si quæ materia subtilis penetraverit, tamen potius ad latera in *f* deflectet, ubi minorem invenit resistantiam, quàm si recta erumperet. Hoc igitur modo materia subtilis sibi ipsa est obstaculo in frusto ferreo nimis crasso, atque impedit, quominus meatus regulares formari queant. Evadet quoque ingens portio materiæ subtilis per latera ferri, atque vicissim ad latera nova materia subtilis ingreditur, quibus omnibus fit, ut vortex Magneticus circa hujusmodi corpora vix ac ne vix quidem formari possit. Non parùm tamen in hujusmodi corporibus virtus Magnetica augeri potest, si utrinque in *A* & *B* acumentur, hoc enim modo materia subtilis, quæ antè in exitu ad *f* deflectebatur, nunc ad cuspidem delata cursum ad latera inflectere non poterit, sed recta in ætherem prorumpet, vorticemque faciliùs producet. Experientia autem docet, bacillos ferreos utrinque in cuspides desinentes, multò majorem acquirere virtutem Magneticam, quàm si terminos

Frustum ferri  
nimis crassum  
ineptum est  
ad Magnetis-  
mum.  
FIG. XIV.

habeant obtusos ; quo certè phænomeno fluxus materiæ cujusdam subtilis per meatus ferri extra omne dubium collocatur.

Imprægnatio  
vis Magneti-  
cæ à situ ba-  
cilli ferrei ma-  
ximè pender.

§. 52. Bacillus ergo ferreus si in vortice terrestri ita collocetur, ut ejus longitudo cum directione materiæ subtilis congruat, eò faciliùs virtute Magneticâ imprægnabitur, quò magis apta fuerit ejus figura ad hanc virtutem recipiendam. Quod si autem bacilli directio non multùm discrepet à directione motûs materiæ subtilis in vortice, virtutem Magneticam quidem etiam acquirat, at cum tardiùs tum debiliorem : quæ difficultas imprægnationis eò erit major, quò magis directio bacilli à directione vorticis differat ac : si bacillus ad hanc vorticis directionem normaliter constituatur, tum nullam planè unquam vim recipere poterit, quia materia subtilis æquâ vi utrinque ingredi conabitur. Detineatur hujusmodi bacillus *AB* in nostris quidem regionibus in situ verticali, ubi directio materiæ subtilis *aA*, *Bb*, cum horizonte facit angulum circiter  $60^\circ$ ; cum bacillo ergò angulum  $30^\circ$ . Cum igitur, uti assumi, materia subtilis ex terræ polo Magnetico Boreali erumpat, ea in directione *aA* ad bacillum perveniet, tandemque in *A* sibi ingressum aperiet. statim autem directionem suam in bacillo inflectet secundùm ipsius longitudinem, egressum ad latera evitatura, sicque tandem formatis meatibus secundùm longitudinem *AB* per bacillum transluet, vorticemque peculiarem generabit, qui ad *A* in bacillum ingrediatur, ad *B* verò egrediatur. Hinc ergo bacillus in Magnetem transformabitur, polos suos ad *A* & *B* habentem, quorum illo *A* si sibi relinquatur, polum terræ Magneticum Borealem; altero verò *B* australem respiciet. Quamvis scilicet hic bacillus in situ verticali detentus virtutem Magneticam sit consecutus, tamen sibi relictus non ampliùs hanc positionem affectabit, sed secundùm cursum vorticis Magnetici quocunque terrarum transferatur, sese disponet. Sub Æquatore igitur terræ Magnetico idem bacillus verticaliter fixus, nunquam virtutem Magneticam accipiet, quia ibi fluxus materiæ subtilis

FIG. XV.

Subtilis fit secundum directionem horisontalem, respectu bacilli indifferentem.

§. 53. Quæ ferro in vortice terræ versanti accidere docui, eadem efficiuntur in ferro, quod in vortice cujusque Magnetis est positum, simili quidem modo, at multò citiùs ac promtiùs, quoniam materia subtilis Magnetica in vortice Magnetem ambiente cum majori copia adest, tum etiam motu incitatori circumfertur. Hinc fit, ut non solum virtus Magnetica cum ferro citiùs communicetur, sed etiam figura ferri minùs idonea non tantopere efformationem meatuum Magneticorum impediatur. Quò enim vis materiæ Magneticæ est major, èò faciliùs obstacula in ferro superabit, atque vorticem Magneticum constituet. Hinc quævis ferri frustra in vicinia Magnetis posita statim à materia Magnetica permeantur, ac propterea instar Magnetis attrahentur. Repulsio autem in ferro non tam facile locum invenit, quia vortex statim ac circa ferrum generatur, simul ita disponitur, ut ejus motus cum motu vorticis Magnetis consentiat, ideoque vorticum confusio oriatur, unde poli amici se mutuò respicient, atque fortissima attractio gignetur. Sunt enim pori minimæque ferri particulæ admodum mobiles, & à vi Magneticâ sufficiente facillimè in quavis directione ad meatus Magneticos formandos disponuntur; unde fit, ut ferrum virtute Magneticâ jam imbutum, etiam si in situm contrarium respectu Magnetis collocetur, in quo repelli deberet, tamen mox vim priorem amittat, ejusque loco vorticem in contrariam plagam directum accipiat, qui cum vortice Magnetis consentiat, atque attractionem producat. Magnes autem multò pertinaciùs vorticem suum retinet, qui ab alio Magnete vix de statu suo turbari queat: cujus phænomeni ratio est, quòd meatus in Magnete formati minùs sint mobiles, & in situ suo multò fortiùs persistent. Chalybs autem, qui est ferrum magis induratum, medium quendam locum inter Magnetem ac ferrum tenet, ita ut difficiliùs virtutem Magneticam acquirat, quàm ferrum, acquisitam autem firmiùs retineat; unde ratio patet,

*Prix.* 1744.

E

Magnes fer-  
rum attrahit.

cur Magnes ferrum faciliùs attrahat, quàm chalybem, contra autem chalybs vim Magneticam diutiùs conservet quàm ferrum. Atque ob hanc rationem acum Magneticam ex chalybe durissimo fabricari præstat, quàm ex ferro.

Singulare  
phænomenon  
Magnetis ex-  
plicatur.

§. 54. Institutum est nuper coram Academiâ Scientiarum Petropolitanâ experimentum, quod ob eventum prorsùs singularem ac theoriam meam mirificè confirmantem hic prætermittere non possum. Fecit ibi Chymicus peculiari artificio mixturam, ex ferro & stanno, quam Magnetes generosi ac fortes prorsùs non attraxerunt, Magnes verò exiguus & debilis attractam tenebat. Erant ergo in hac mixtura particulæ ferri ita cum particulis stanni permixtæ, ut meatus continui formari non possent, sed materia subtilis, postquam per singulas ferri particulas transisset, in particulis stanni ob resistantiam ætheris motum suum quasi singulis momentis amitteret. Ferri autem particulæ nimis erant parvæ, quàm ut circa singulas vortex Magneticus generaretur. Hanc ob causam materia subtilis celeritate non nimis magnâ mixturam permeare potuit. Quò autem corpus à Magnete attrahatur, necesse est ut circa id vortex materiæ Magneticæ generetur; atque ad vorticem formandum requiritur, ut materia subtilis per viscera corporis multò celerius promoveatur, quàm extra, tantâque celeritate erumpat, ut ab athere externo inflectatur. Cùm igitur in vortice Magnetis generosi materia subtilis jam ingenti velocitate moveatur, fieri potest, ut hæc celeritas non sit minor, quàm ea quâ materia subtilis per mixturam transferit: & hanc ob rem circa mixturam neque vortex generari, neque proinde mixtura à Magnete generoso attrahi potuit. Circa Magnetem autem debilem materia subtilis multò minori celeritate gyratur, quæ adeo si multò minor fuerit, quàm celeritas materiæ subtilis mixturam permeantis, motus vorticosus oriri hincque attractio evenire potuit. Oportet autem ad hoc experimentum ferrum cum stanno intimè permisceri, ut materia subtilis per hanc materiam heterogeneam motu quasi uniformi progrediatur. Singulare omninò

ac novum est hoc experimentum, quo constat à Magnete debiliori effectum produci posse, cui producendo Magnes generosus sit impar.

§. 55. Quoniam vidimus cum ferro eò faciliùs vim Magneticam communicari, quò copiosior motuque incitator fuerit materia Magnetica, manifestum est, quò propiùs ferum ad Magnetem admoveatur, eò citiùs ac fortiùs id virtute Magneticâ imbui debere. Maximè autem virtutis communicatio ac proinde attractio sese exerit in polis Magnetis, ubi materia subtilis copiosissimè vel influit in Magnetem, vel ex eo prorumpit, hocque majori celeritate, quàm in ullo alio vorticis loco. Quæ ut clariùs perspiciantur, sit *AB* Magnes, cujus polus materiæ subtili introitum præbens sit in *A*, alter ubi materia subtilis erumpit *B*. Quòd si jam ad polum *B* acus ferrea vel aliud frustulum *a b* reponatur, mox portio materiæ subtilis ad *B* erumpentis in *a* irruet, & quia tum celerrimè movetur, tum in magna copia adest, in acu secundùm motûs sui directionem meatus efformabit, atque in *b* iterum exiens ab æthere ambiente reflectetur, à qua reflexione acus ad Magnetem urgebitur. Transmutabitur ergo acus ratione virtutis ita in Magnetem, ut poli *B* & *a* sibi fiant amici. Idem eveniet, si acus *a b* ad alterum Magnetis polum *A* ponatur; tum enim non solùm in ejus termino remotiori *a* à vortice Magnetis materia subtilis intrabit, sed etiam quia pori jam sunt materiâ hac subtili summo perè elasticâ repleti, ea in *b* propter resistantiam ætheris sublatam erumpet, sicque post se per *a* continuum fluxum materiæ subtilis trahet; quocirca eadem planè phænomena in acu polo *A* admotâ observari debebunt, quæ in acu polo *B* admotâ deprehenduntur, hincque difficulter natura polorum Magnetis, uter materiam subtilem vel absorbeat vel emittat, per experientiam distingui potest.

§. 56. Ferrum ergo in vicinia Magnetis virtute Magneticâ imbuitur, ita ut non solùm ad Magnetem attrahatur, sed etiam ipsum in alia ferri frustula vim exercere valeat. Ejus quidem virtus à Magnete plurimùm susinetur, unde

E ij

Quomodb  
ferro per Ma-  
gnetem virtus  
Magnetica in-  
ducatur.

FIG. XVI.

Quomodb  
per attritum  
virtus Magne-  
tica maximè  
communica-  
tur.

continuò materia Magnetica ingenti copiâ advehitur ; quòd fit , ut etiam si non adeo multi meatus Magnetici in ferro sint formati , tamen ob abundantiam materiæ Magneticæ virtus sit perquàm conspicua. Quamprimùm autem ferrum à Magnete removetur , ejus vis vehementer debilitatur ; eò quòd primùm à vortice Magnetis non ampliùs adjuvatur , tum verò materia Magnetica in multò minori copia in meatus efformatos ingreditur. Scilicet eò debilior erit vis in ferrum translata , quòd pauciores meatus fuerint formati , atque ob eandem rationem hæc ipsa vis eò citiùs peribit : inprimis autem plurimùm refert , cujusmodi figurâ ferrum sit præditum. Hinc intelligitur , vim cum ferro communicatam eò fore majorem ac stabiliorem , quòd plures meatus in eo formentur cursu parallelo in directum extensi. Perspicuum igitur est , quòd propiùs ferrum ad Magnetem admoveatur , ob majorem materiæ Magneticæ copiam , eò plures meatus efformari debere , quocirca in ipso contactu imprægnatio erit maxima , quia materia Magnetica non solum pura in ferrum ex Magnete irrupit , sed etiam eâ ipsâ fere celeritate , quâ in meatibus Magneticis movetur. Imprægnatio porò per attritum maximè corroboratur ; attritu enim partim contactus arctior efficitur , partim minimæ particulæ ferri succutiuntur , quòd faciliùs se in ordinem debitum disponere queant.

Virtus Magnetica ad insignem distantiam extendi potest.

FIG. XVII.

§. 57. Quanquam vortex Magnetem ambiens ad magnam distantiam extenditur , quoad penitùs cesset , atque eò longiùs pertingat , quòd major ac nobilior fuerit Magnes , tamen ope ferri virtus Magnetis ad multò majorem distantiam expandi potest. Sit enim Magnes  $AB$  , cujus vortex non ultra  $ef$  pertingat ; si ad ejus polum  $B$  admoveatur bacillus ferreus  $ab$  , portio materiæ Magneticæ per hunc bacillum ad  $b$  usque deducetur , unde ad  $A$  revertens vorticem ad  $gh$  usque pertingentem exhibebit , debiliorem quidem quàm erat ad  $ef$ . Quòd si porò ad  $b$  alius bacillus ferreus  $aC$  teneatur , per hunc portio materiæ Magneticæ ad  $b$  erumpentis ultra  $b$  ad  $ik$  propagabitur , sicque vortex.

Magnetis usque ad *ik* pertingere videbitur, cum demtis bacillis non ultra *ef* extendatur. Sic itaque ferrum in vicinia Magnetis ipsum vi Magneticâ pollebit, eamque ulterius extendere valebit. Ob hanc rationem duo frustra ferrea in vicinia Magnetis non solum se mutuò attrahent, sed etiam si à Magnete ad satis notabilem distantiam removeantur, tamen attractio mutua non cessabit, perinde ac si vorticem Magnetis secum deducerent & dilarent. Sin autem ferri massa statim ab initio in tantâ à Magnete distantiâ teneatur, nulla vis ipsi inesse deprehendetur, non tam quòd ipsi nondum inducta sit virtus Magnetica, sed præcipuè quòd vortex Magnetis non ad tantam distantiam porrigatur, ad quam tamen per successivam ferri à Magnete remotiorem distendi potest.

§. 58. Quòd minùs autem existentia vorticis quemque Magnetem ambientis in dubium vocari possit, non solum ipse vortex, sed etiam cursus materiæ subtilis in quovis loco circa Magnetem oculis spectandus exhiberi potest. Etsi enim notissimum est experimentum, quo Magnes limaturâ ferri circumfundi solet, tamen positio particularum ferri tam copiam quàm directionem materiæ subtilis vorticem constituentis evidenter demonstrat. Cùm enim particulæ ferri, quibus limatura constat, non sint globosæ, sed tenues instar acicularum formatæ, eæ non solum attrahentur, sed etiam secundum longitudinem in eam ipsam directionem disponentur, in quâ materia vorticis movetur. Suprà enim est ostensum, acum ferream in vortice Magnetis positam secundum directionem motûs materiæ subtilis, sese disponere debere. Hinc limatura ferri Magneti circumfusa primum distinctè ostendet polos Magnetis, ubi materia Magnetica vel ingreditur vel egreditur; tum verò copia ejus in quovis loco copiam materiæ subtilis declarabit. Quòd si ergo per appropinquationem alius Magnetis vel ferri status vorticis turbatur, vel immutatur, inspectio limaturæ ferri circumfusæ hanc mutationem statim indicabit. Atque hoc pacto confusio atque alteratio vorticum, quam suprà

Vortex Magneticus ad oculum demonstrari potest.



in variis circumstantiis evenire debere docui, per experientiam oculis cerni, sicque firmissimè demonstrari poterit. Jucundum sane hoc modo spectaculum sensibus offertur, quo materiæ prorsùs invisibilis motum ac directionem tam distinctè percipere licet : theoriæ autem meæ aliunde quidem satis superque confirmatæ veritas per hujusmodi experimenta magnâ cum voluptate agnosceretur & comprobabitur.

Vis Magnetis  
per armaturam  
intenditur.

FIG. XVIII.

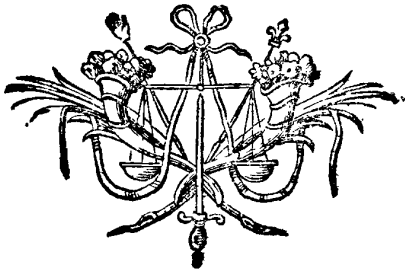
§. 59. Quantum armatura ad multiplicandam cujusque Magnetis virtutem conferat, ex hac theoriâ quoque evidenter demonstrari potest. Sit enim Magnes  $AB$  polos habens in  $A$  &  $B$ , per quorum alterum  $A$  materia subtilis ingreditur, per alterum  $B$  egreditur : atque uti in armaturâ fieri solet, utrinque ad polos  $A$  &  $B$  laminæ ferreæ arcuissimè coaptentur, quæ in altera extremitate adjunctos habeant pedunculos  $a$  &  $b$  Magneti firmissimè adjacentes, ut armatura cum Magnete quasi unum corpus continuum constituat. In hoc statu materia subtilis Magnetica ad  $B$  exitura in lamina cursum suum versùs pedunculum  $b$  inflectet, eò quòd longè minorem invenit resistantiam in ferro, motu etiam inflexo, progrediendi, quàm directè in ætherem erumpendi. Maxima ergo materiæ subtilis portio ad pedunculum delata in ejus basi  $b$  prorumpet, huncque adeo in locum exiguum polus Magnetis, qui antea per totam basin  $B$  erat diffusus, coarctabitur : ex quo vis attractiva hujus pedunculi tantò major evadet. Idem eveniet in altero polo  $A$ , in quem materia Magnetica in pedunculo  $a$  & lamina contenta faciliùs irruet, sicque motus materiæ subtilis mox ita immutabitur, ut ex  $b$  erumpens per  $c$  cursum inflectendo in pedunculum  $a$  ingrediatur, hincque per Magnetem ad  $b$  revertendo vorticem perennem constituat. Qui vortex, cùm in unicam fere regionem per  $c$  cogatur, cùm antè circa universum magnetem esset diffusus, nunc multò majori gaudebit vi tam attractivâ, quàm directrice, omninò uti experientia clarissimè demonstrat.

§. 60. Effectus autem Magnetis hoc modo armati ideo

Quomodo vis  
amborum Ma-  
gnetis polo-  
rum per ar-  
maturam u-  
niatur.

FIG. XIX,

quoque erit major, quoniam ambo poli *a* & *b* in gestandis oneribus se mutuò adjuvabunt, hincque vim quasi duplicabunt, nisi fortè onera ferrea ita applicentur, ut vires amborum polorum se mutuò destruant. Hoc autem modo vis unietur, si frustum ferri idoneæ figuræ *EF* ad bases pedunculorum *a* & *b* ita applicetur, ut contactus sit perfectus. Tum eorum materia subtilis ad *b* effluens per hoc ferramentum viam sibi aperiet, atque cursu ad *Cc* reflexo ad *a* in Magnetem revertetur, hocque modo ferrum ad utrumque pedunculum simul attrahetur, quæ adeo vis longissimè superabit eam, quam idem Magnes inermis exerere potest. Nisi igitur pondus ferri *EF* jam tantum fuerit, quantum Magnes gestare valet, Magnes insuper pondus ferramento in *C* appendendum sustinere poterit. Cùm autem jam ferrum *EF* ipsum Magnetis vicem teneat, per vim attractivam onus ferreum adhuc majus ferre poterit, quàm solus Magnes valeret. Hæc autem tam planè ex theoria sequuntur, ut superfluum sit pluribus ejusmodi explicationibus immorari: hancque ob rem plurima alia experimenta, quæ Magnes naturæ scrutatoribus suppeditavit, prætermitto, cùm & facillimè ex theoria deriventur, & ipsa theoria nullâ ulteriori confirmatione indigeat. Cùm enim Illustrissima Academia hoc solum proposuisset, ut theoria seu causâ Physica phænomenorum Magnetis in lucem protrahatur; quia huic quæstioni ex asse mihi quidem satisfacisse videor, finem huic tractationi impono.



**DISCOURS**

# DISCOURS

SUR

L'AIMAN,

Présenté à l'Académie Royale des Sciences,  
pour concourir sur le sujet proposé,  
pour 1744.

*Cette Piece est une des trois entre lesquelles le  
Prix Triple a été partagé en 1746.*

---

*..... Fluere è lapide hoc permulta necesse est  
Semina.*

Luc. lib. VI.

Par. M. DU TOUR, Écuyer, Correspondant de l'Académie  
Royale des Sciences.

*Prix. 1744.*

G





# ESSAI SUR L'AIMAN,

OU L'ON EXPLIQUE,

Son Attraction avec le Fer, la direction de  
l'Aiguille aimantée vers le Nord ; sa  
Déclinaison, & son Inclinaison.

..... *Fluere à lapide hoc permulta necesse est  
Semina.*

Lucr. Lib. VI.



L'AIMAN, par les merveilles qu'il nous offre, est en droit d'intéresser notre curiosité ; & par rapport aux avantages qu'il nous procure, il devient un objet des plus importants de nos recherches. Je me suis attaché, dans celles que j'ai l'honneur de présenter à l'Académie Royale des Sciences, à entrer dans ses vûes, & à rendre mon travail utile, en interrogeant la Nature

G ij

par des expériences, en rassemblant des faits, & en les détaillant exactement.

Je débiterai par quelques réflexions préliminaires sur la matière Magnétique, qui serviront d'introduction à ce que j'ai à dire sur les propriétés de l'Aïman, que je me propose principalement d'examiner dans ce discours.

---

## CHAPITRE I.

### *De la Matière Magnétique.*

I. **T**OUS les phénomènes de l'Aïman concourent à établir l'existence de la matière Magnétique. Des expériences très-simples nous la montrent à l'œil, pour ainsi dire, ou du moins ce qui la représente : on y voit qu'elle tourbillonne en dedans & autour de tout Aïman, M. Du Fay \* est même parvenu à s'assurer, que son courant étoit unique, & que la direction du tourbillon général, qui circule autour du globe de la terre, étoit du Sud au Nord. Mais tout cela, quoique constant par des faits visibles, est encore sujet à une grande difficulté : on a de la peine à concevoir la cause qui perpétue la circulation de la matière Magnétique autour d'une pierre d'aïman. Nous ne pouvons guères la chercher ailleurs que dans la figure & la disposition des parties internes de l'Aïman : mais c'est ici que nous aurions en vain recours aux Microscopes ou aux Analyses Chimiques, pour nous procurer des éclaircissements satisfaisans ; & nous en sommes réduits aux conjectures. Je vais en proposer.

II. Je suppose que les pores de l'Aïman forment des canaux parallèles à son axe, & sont revêtus de petits poils roides, peu mobiles, & qui étant tous couchés dans le même sens, en livrent ou en refusent le passage à la matière Magnétique, selon le bout auquel elle se présente pour y pénétrer. J'admets de plus un mouvement interne dans

\* Mémoires  
de l'Académie,  
1728 &  
1730.

l'Aiman , au moyen duquel ses pores se dilatent , & se contractent tour à tour. Si on m'accordoit ces suppositions , il seroit aisé d'en déduire comment une pierre d'Aiman conserve constamment son tourbillon.

III. Imaginons qu'une pierre d'Aiman n'en ait pas actuellement , parce que ses pores auront été bouchés de façon à les rendre impénétrables à la matiere Magnétique ; concevons que ces pores se débouchent ensuite tout-à-coup ; la matiere du tourbillon général , qui circule autour du globe de la terre , en parcourant sa surface & même son intérieur , & qui environne par conséquent la pierre , tendra à s'y insinuer de toutes parts. Au moyen de la disposition des petits poils , dont les pores de l'Aiman sont hérissés ; elle ne peut y entrer que par un de ses bouts , que par celui qui lui présente les petits poils renversés , & qui porte le nom de pole Boreal : elle se précipitera donc par-là dans l'Aiman , dont les pores sont ou vuides , ou occupés par quelque fluide , qui lui résiste infiniment moins que l'air. Car il en est de cet Aiman comme d'une bouteille vuide , qu'on plongeroit dans une cuve pleine d'eau ; l'eau viendroit en affluence se jeter dans la bouteille , vers l'orifice de laquelle elle prendroit sa pente ; c'est aussi ce qui doit arriver à la matiere Magnétique , qui se trouve aux environs de la pierre. Comme son courant d'un pole de la terre à l'autre est assez lent , par rapport à la rapidité avec laquelle elle enfile les pores de l'Aiman , toute celle qui est autour à une certaine distancē , prendra sa pente , & se dirigera vers le pole Boreal de l'Aiman. Si , conformément à ce que j'ai mis en supposition , l'Aiman a pour lors un mouvement qui contracte ses pores , la matiere Magnétique qui est venue s'y loger , en sera chassée en partie : mais elle ne sçauroit rebrousser vers le pole Boreal , par où elle y est entrée , parce que les petits poils , en lui présentant leurs pointes , lui bouchent le passage de ce côté-là ; elle sera donc toute repoussée vers le côté opposé , vers le pole Austral de l'Aiman , par où elle en sortira. Un mouvement

G iij



de dilatation qui surviendra tout de suite dans les pores de l'Aiman, y introduira de nouvelle matiere Magnétique par le pole Boreal, tandis que celle qui en est sortie par l'Austral, sera déterminée par le courant de celle qui est en mouvement autour de la pierre, à circuler vers le pole Boreal, qu'elle enfilera de nouveau, ce qui doit procurer à la pierre un tourbillon particulier, qui subsistera autant de tems que ces mouvemens de contraction & de dilatation se succéderont.

IV. De ce que le fer ressemble beaucoup à l'Aiman, & qu'il peut avoir tout comme lui un tourbillon de matiere Magnétique, il n'y a pas lieu de douter qu'ils ne le doivent l'un & l'autre à une cause commune, & que si l'Aiman a les mouvemens de contraction & de dilatation que nous lui avons assignés, le fer n'en soit aussi susceptible. Mais comme le tourbillon qu'acquiert le fer, est sujet à s'altérer, à se dissiper, à se renouveler; que son courant, après avoir eu une certaine direction, en prend quelquefois une autre toute opposée; & que souvent, ces effets dépendent uniquement de la simple situation du fer, on ne sçauroit se dispenser de reconnoître avec M. Du Fay\*, que les petits poils, dont sont tapissés les pores du fer, diffèrent de ceux de l'Aiman, en ce qu'ils sont extrêmement mobiles sur celle de leurs extrèmités qui les attache à la substance du fer, au point que la moindre secousse ou leur propre poids suffit pour les abattre; & qu'ainsi ils sont disposés à se coucher en différens sens, à prendre tantôt un arrangement uniforme, & tantôt à se mettre dans une confusion parfaite.

V. Au reste, je ne prétends nullement garantir l'existence de ces mouvemens de contraction & de dilatation, que je suppose à l'Aiman & au fer. Je ne propose cette idée que comme une conjecture: & je demande seulement, qu'en attendant qu'on trouve quelque chose de plus satisfaisant, on me la passe, parce qu'elle est de quelque secours pour l'imagination, qui s'en représentera plus fortement les phénomènes; & que, si elle ne va pas droit au but, elle

\* Mémoires  
de l'Académie,  
1728,  
p. 362.

peut mettre sur la voie ceux qui se donneront la peine de l'approfondir : ce sont là du moins , les motifs qui m'engagent à la hasarder.

VI. Quoi qu'il en soit , on voit par l'arrangement que prend la limaille de fer sur un carton qu'on place au-dessus d'un Aiman , que la matiere de son tourbillon est fort ramassée & fort pressée , lorsqu'elle y entre , & lorsqu'elle en sort , & par conséquent , tant qu'elle coule dans ses pores ; & qu'au contraire lorsqu'elle circule au-dehors de la pierre , son courant s'élargit & s'étend considérablement , se divisant en une infinité de petits filets qui s'écartent les uns des autres. La matiere du tourbillon général doit être encore plus raréfiée , moins rassemblée que celle du tourbillon particulier d'un Aiman , du moins sur tous les paralleles de la terre qui nous sont connus puisque nous éprouvons par-tout , que la matiere de tout tourbillon particulier , l'emporte de beaucoup en force sur celle du tourbillon général ; le plus foible Aiman agissant sensiblement sur de la limaille de fer , que la matiere du tourbillon général ne sçauroit ébranler le moins du monde. (a) Et cela ne paroîtra pas surprenant , si l'on considère l'espace immense que la matiere du tourbillon général a à parcourir pour se rendre d'un pole de la terre à l'autre. Car plus la traverse est longue , & plus les causes qui occasionnent la désunion des filets de matiere Magnétique se multiplient. Il est encore à présumer , que vers l'Equateur de la terre , son courant est beaucoup moins abondant , moins fourni que vers les poles , puisque plus elle est éloignée des poles , & plus l'espace qu'elle a à balayer est étendu ; cette différence pourroit être assez considérable pour être sensible. Le même Aiman , par exemple , qui portera deux livres pesant de fer

(a) Hartsoekera remarqué aussi , que deux aiguilles de Bouffole posées chacune sur un pivot l'une derriere l'autre , se tenoient toujours sur une même ligne de direction , quoiqu'au moyen de leur situation cette ligne ne pût pas coïncider avec celle de la direction de la matiere du tourbillon général , parce que son courant est trop foible pour l'emporter sur le courant de celle qui tourbillonne autour des aiguilles. *Cours de Physique*, l. 3. ch. 5. Art. 64. n. 3.

à Quito , n'en porteroit-il pas davantage à Paris , & encore plus à Kittis ? Il devrait arriver , ce semble , à cet Aiman , ce qui arrive à un Aiman foible qu'on met dans le tourbillon d'un aiman vigoureux , où il acquiert de la force , parce que plus de matiere Magnétique le pénètre alors.

VII. Il est très-probable que la matiere Magnétique ne cesse d'être ramassée après être sortie des poles de la terre & de tout Aiman , & que ses filets ne se désunissent & ne s'écartent , qu'à cause de la résistance que l'air oppose à son courant ; & qu'au contraire , ils se rassemblent dans les pores de l'Aiman , ainsi que dans ceux du fer , parce qu'elle trouve une grande facilité à s'y mouvoir : & sur ce pied , les dispositions opposées qu'ont ces différens milieux , l'Aiman & le fer à favoriser , l'air à troubler la circulation de la matiere Magnétique , doivent concourir & contribuer beaucoup à la faire tourbillonner autour de l'Aiman & du fer. Car il en résulte , que la matiere Magnétique qui avoisine & entoure un Aiman , doit se diriger en affluence vers son pole Boreal , & l'enfiler avec une rapidité considérable. Or , quelle que soit la cause qui la chasse ensuite hors de l'Aiman par le pole Austral , elle ne sçauroit s'empêcher , après s'être avancée jusqu'à un certain point dans la même direction qu'elle y est entrée , de se laisser entraîner par la pente de celle qui la précède ; d'autant plus qu'à la sortie de la pierre , elle est arrêtée & repoussée par la matiere du tourbillon général , qui entoure le tourbillon particulier de la pierre , & contre laquelle elle va heurter , soit que leurs directions soient en sens opposés , soit qu'elles soient en même sens , parce que le courant du tourbillon général est beaucoup plus rallenti que celui de tout tourbillon particulier : la matiere Magnétique rebroussera donc chemin , après être sortie par le pole Austral de l'Aiman , & se mettra à la suite de celle qui a été la remplacer dans les pores de la pierre , où elle entrera elle-même de nouveau.

VIII. Une preuve que l'air résiste au courant de la matiere Magnétique , & occasionne par-là sa raréfaction , c'est qu'un

qu'un Aiman leve tant soit peu plus de poids \* dans le vuide de la machine pneumatique , que dans l'air libre , & apparemment parce que l'absence de l'air grossier dans le récipient y fait place à la matiere Magnétique du tourbillon général , qui l'en traverse avec plus de facilité , & dont les filets y font d'autant plus ramassés ; ce qui met à même le tourbillon de l'Aiman qui s'y rencontre , de se fortifier & de s'accroître , & lui procure par conséquent une augmentation de force.

\* Cours de  
Phyf. d'Hart-  
foeker, l. 3.  
c. 5. art. 15.

IX. Au reste , c'est effectivement la matiere du tourbillon général , qui fournit à tout Aiman son tourbillon particulier , & qui l'entretient. Les fameuses croix du Clocher d'Aix & de Chartres , qui se sont aimantées par succession de tems , & les verges de fer qu'on aimante sur le champ à coups de marteaux , en font des exemples sensibles. Aussi le tourbillon d'un Aiman n'est-il pas toujours égal à lui-même. Il est susceptible d'augmentation & de diminution ; ce dont il est aisé de juger par la variation de la force de l'Aiman : car si on met un Aiman \* dans l'Atmosphere d'un Aiman plus fort , & qu'on essaie alors sa force , on la trouvera beaucoup plus considérable qu'elle n'étoit auparavant ; mais sitôt qu'on l'aura retiré de cette Atmosphere , il ne lui restera plus que sa premiere force. Il est à propos de remarquer à cette occasion , que la matiere du tourbillon d'un Aiman , n'est pas non plus toujours la même. Il peut se faire que des filets de son tourbillon , en se rendant du pole Austral de la pierre au Boreal , se détournent sur la route , & s'en détachent pour se rejoindre au tourbillon général ; ce qui donne lieu à d'autres filets de celui-ci de les remplacer , & de circuler à leur tour autour de l'Aiman ; & par-là , le tourbillon d'un Aiman est sujet à se renouveler sans cesse : & c'est ce qui résulte de la propriété qu'a la matiere du tourbillon général , de disposer conformément à sa direction , un Aiman qu'on rend facile à être ébranlé ; car elle n'en scauroit venir à bout , qu'autant que quelques-uns de ses filets enfilent le pole Boreal de l'Aiman,

\* Mém. de M.  
de Réaumur ,  
sur l'Aiman ,  
parmi ceux de  
l'Acad. 1723.

Prix. 1744.

H

lesquels font dès-lors partie du tourbillon particulier de la pierre.

X. La résistance que la matiere Magnétique éprouve de la part de l'air , elle l'éprouve la même dans tout autre milieu , si l'on en excepte le fer. On voit dans les Expériences de l'Académie de Florence , que divers solides & divers fluides interposés entre une aiguille de Bouffole & une pierre d'Aiman , n'ont dérangé aucunement la position dans laquelle l'Aiman tenoit l'aiguille , lorsqu'il n'y avoit que de l'air entre deux : ce qui fait voir que l'air & tous ces différens milieux offrent à la matiere Magnétique des passages , ou également étroits , ou également difficiles à pénétrer , & tels qu'en traversant les uns ou les autres , ses filets ne se désunissent jamais ni plus ni moins. Le fer seul paroît intercepter la matiere Magnétique : une plaque de fer interposée entre une pierre d'Aiman & une aiguille de Bouffole , affoiblit ou interrompt totalement l'action de l'Aiman sur l'aiguille ; & un Aiman placé sous une feuille de tôle fort mince , n'ébranle même qu'à peine la limaille de fer répandue au-dessus. Ces faits confirment ce que nous avons avancé , sur la facilité que la matiere Magnétique trouve à se mouvoir dans les pores du fer ; car on peut regarder la substance du fer , comme percée d'une infinité de routes aisées , où la matiere Magnétique ne s'égare & n'est détenue , que parce qu'elle y a le champ libre pour s'y rassembler , & pour y tourbillonner même. Cependant M. Le Monnier n'en a pas jugé ainsi , parce que dans ce cas , selon lui ,\* elle seroit obligée de sortir par toutes les extrémités de la tôle , & agiteroit par conséquent de la limaille de fer , qui se rencontreroit vis-à-vis des extrémités de la tole , ce qu'elle ne fait pas. Cette objection a pû paroître très-spécieuse ; mais il est à considérer , que la matiere Magnétique qui passe de l'Aiman dans la tole , s'y disperse & s'y éparpille beaucoup. Cette tole , dont les petits poils qui tapissent ses pores sont dans une parfaite confusion , devient un assemblage d'une infinité de petits

\*Hist. Acad.  
1733. P. 14.

Aimans, dont les poles se trouvent placés çà & là, irrégulièrement, & sans aucun ordre; & il est aisé de concevoir qu'il peut circuler en dedans & en dehors de la tole, une grande quantité de matiere Magnétique, sans que cette matiere puisse agir sensiblement sur de la limaille de fer, parce que ces tourbillons & ces courans ne concourent pas vers le même endroit, & que la matiere Magnétique \* n'a de force qu'à proportion qu'elle est réunie & ramassée. Mais voici encore plus. J'ai éprouvé que si au lieu de limaille on met une aiguille de Bouffole, qui est plus aisée à émouvoir que la limaille, vis-à-vis & tout près de quelqu'une des extrémités de la tole, la matiere Magnétique qui en sort, met effectivement l'aiguille en mouvement. On pourroit peut-être soupçonner que dans cette expérience, l'Aiman seul agit sur l'aiguille; mais en faisant cette expérience avec attention, on s'apercevra que la tole, en tant qu'elle fournit des passages commodes à la matiere émanée de l'Aiman, participe à cet effet, & aide au moins à l'action de l'aiguille sur l'Aiman. Car si on enleve la feuille de tole, le bout de l'aiguille qui étoit attiré, le fera moins; & par conséquent, il n'y a aucun lieu de douter, que la matiere Magnétique ne parcoure la feuille de tole en tout sens, & qu'elle n'y circule même avec beaucoup plus de facilité que dans l'air.

\* Voyez ci-après, le ch. 3.

XI. Prévenu de l'idée contraire, l'illustre Physicien que je viens de citer, a refusé d'admettre que la limaille de fer, qui, répandue sur un carton placé au-dessus d'un Aiman, s'arrange selon certaines courbes qui se réunissent vers les endroits du carton qui répondent aux poles de l'Aiman, fût enfilée par les écoulemens de la matiere Magnétique sortie de la pierre. Il a présumé au contraire, \* que la matiere Magnétique ne pénètre aucunement les molécules de limaille qui forment ces courbes; & que les vuides ou espèces de sillons, qui sont entre ces courbes, sont les véritables routes de la matiere Magnétique, qui ne fait qu'écarter la limaille de part & d'autre. Je me suis avisé à

\* Hist. Acad. 1733. P. 15.

H ij

ce sujet, d'une épreuve décisive, & au moyen de laquelle je me suis assuré, que ces molécules de limaille étoient actuellement autant d'Aimans, & avoient des poles distincts, & que leurs poles, de même dénomination, se trouvoient tous tournés du même côté. Après avoir semé de la limaille de fer sur un carton posé au-dessus d'une pierre d'Aiman, j'ai présenté aux molécules de limaille, le pole Boreal d'un autre Aiman; alors ils se sont tous élevés sur celle de leurs extrémités qui regardoit le pole Boreal de l'Aiman au-dessus duquel ils étoient, & auquel ils devoient leur arrangement; & quand je leur ai présenté le pole Austral du second Aiman, ils se sont tous élevés sur l'extrémité opposée. Ils ont donc une de leurs extrémités qui fuit le pole Boreal, & recherche l'Austral de l'Aiman qu'on en approche, & l'autre extrémité qui recherche son pole Boreal, & fuit l'Austral: ils sont donc dans le cas de tout Aiman, & par conséquent la matiere Magnétique les enfile. Au reste, ces molécules perdent le Magnétisme qui leur est communiqué par l'Aiman qui est sous le carton, dans le moment même qu'ils se trouvent hors de la sphere d'activité de cet Aiman; car ayant retiré l'Aiman de dessous le carton, & leur ayant présenté tout de suite l'un des poles d'un autre Aiman, ils se sont dressés indifféremment sur l'une & l'autre de leurs extrémités.



## CHAPITRE II.

*De la Vertu attractive de l'Aiman.*

XII. **L'**AIMAN & le fer s'attirent réciproquement à une certaine distance ; & il en est de même de deux Aimans dont les poles de différens noms sont voisins. M. Rohault \* a présumé, que ce phénomène dépendoit de la pression de l'air, qui, chassé d'entre deux Aimans , par exemple, par la matiere Magnétique , qui passe directement de l'un dans l'autre , étoit forcé de se retirer derriere , où il pesoit sur eux. Depuis , on a abandonné cette opinion , quand on a vû que le succès de cette expérience étoit le même dans le vuide de la machine pneumatique , que dans l'air libre. Au défaut de l'air, on a eu recours à la matiere subtile. Mais, capable de pénétrer dans les interstices les plus intimes des corps , est-elle propre à peser sur eux ? Hartsoeker qui l'a employée pour expliquer cette attraction réciproque de l'Aiman & du fer , a été réduit à supposer , \* que quoiqu'elle pénétrât tous les autres corps , elle ne pouvoit s'insinuer dans les corps Magnétiques de l'Aiman & du fer : c'est lui ôter un peu de sa subtilité.

\* Traité de  
Physique, par-  
tie 3. ch. 8.  
Art. 23.

\* Cours de  
Physique , l. 3.  
ch. 5. Art. 4.

XIII. Quoi qu'il en soit , il me semble que sans aller chercher si loin la cause de l'approche mutuelle de l'Aiman & du fer , ou de deux Aimans , dans les circonstances convenables , la matiere Magnétique du tourbillon général , peut toute seule opérer cet effet. Il est évident qu'elle environne & qu'elle enveloppe , pour ainsi dire , le tourbillon particulier de tout Aiman. Elle doit le presser de tous côtés , parce que la place qu'il occupe , il l'usurpe sur elle , & qu'elle tend naturellement à la reprendre. Quand deux Aimans *O* & *P* sont placés assez près l'un de l'autre , & que leurs poles de différentes dénominations se regardent , leurs tourbillons se réunissent ensemble ; la matiere Magnétique

H iij



PLANCHE I.  
Fig. I.

qui sort de l'Aiman  $P$  par le pole  $A$ , passe pour la plus grande partie tout droit dans l'Aiman  $O$  par le pole  $b$ , qui lui présente des routes convenables; & la matiere Magnétique qui sort de l'Aiman  $O$  par le pole  $a$ , après avoir circulé autour & tout le long des deux Aimans, va se rendre au pole  $B$  de l'Aiman  $P$ . C'est de quoi au reste il est aisé de se convaincre, en mettant sur les Aimans une feuille de papier garnie de limaille de fer, qui tracera fidèlement les routes que parcourt la matiere Magnétique. Ces deux Aimans ont donc un tourbillon commun, sur lequel, comme nous venons de l'observer, la matiere du tourbillon général doit peser en tout sens. Elle tendra donc à le resserrer dans le moindre espace possible, & par conséquent à amener les deux Aimans l'un vers l'autre; car leur tourbillon commun perdra d'autant plus de son étendue, qu'ils se rapprocheront davantage: ni la matiere Magnétique, qui du pole  $A$  passe au pole  $b$ , ni l'air, ni la matiere subtile qui se rencontrent en  $K$  entre les deux Aimans, ne s'opposent aucunement à l'effet de la pression de la matiere du tourbillon général; ou, ce qui est la même chose, ne peuvent empêcher l'approche mutuelle des deux Aimans, parce que la matiere Magnétique qui sort du pole  $A$ , trouve toute la facilité imaginable à s'introduire dans les pores du pole  $b$ , & qu'à mesure que les Aimans, en se rapprochant, chassent l'air & la matiere subtile qui sont en  $K$ , ils laissent par derrière le champ libre; l'air & la matiere subtile n'ont qu'à changer de place. Il n'y a donc que l'aspérité des plans sur lesquels les Aimans sont posés, ou leur propre pesanteur, qui puissent être un obstacle aux mouvemens qui sont communiqués aux deux Aimans, par la matiere du tourbillon général. C'est pourquoi si l'un des deux Aimans n'est pas extraordinairement pesant, & qu'il soit suspendu en l'air par un fil, ou placé sur l'eau dans une Gondole de liège, de façon qu'il puisse être aisément ébranlé, il ira se joindre à l'autre.

XIV. Selon ce que je viens d'exposer, l'attraction

mutuelle de deux Aimans , suppose que leurs tourbillons se font confondus ensemble , du moins jusques à un certain point. Aussi deux Aimans, quelque forts qu'ils soient, & quelque faciles qu'on les rende à être ébranlés, ne parviennent à se joindre que lorsqu'ils sont fort près l'un de l'autre. En effet, pour peu que deux Aimans soient éloignés, leurs tourbillons ne se mêlent ensemble que très-imparfaitement, quoique leurs poles de différens noms se regardent ; un intervalle de 7 à 8 lignes, est un intervalle très-considérable à cet égard. La réunion de deux tourbillons ne peut même être complete, que les deux Aimans ne se touchent, & encore se touchent-ils quelquefois sans qu'elle soit telle. C'est de quoi m'ont convaincu quelques expériences faites sur diverses pierres d'Aiman, dont je vais rendre compte. Je mettois une feuille de papier, où il y avoit de la limaille de fer répandue, sur deux pierres, dont je voulois reconnoître à quel point les tourbillons étoient réunis ; & quoiqu'elles fussent toujours adossées l'une contre l'autre, & que leurs poles de différens noms fussent voisins, toutes ne me donnoient pas les mêmes résultats ; tantôt il se formoit quatre vuides sur le papier, tantôt trois, & quelquefois deux seulement.

XV. Je ne m'arrêterai pas ici à expliquer la cause qui produit ces vuides : il me suffit de remarquer qu'ils ne se forment qu'aux endroits de la feuille de papier qui répondent aux poles des Aimans ; que la matiere Magnétique qui est fort rassemblée lorsqu'elle y entre & lorsqu'elle en sort, contribue beaucoup à les former, & qu'il est nécessaire, pour l'y aider, de donner quelques legeres secousses à la feuille de papier. C'en est assez pour faire concevoir que les différens résultats de mes expériences, étoient des marques sensibles de la réunion plus ou moins entiere des tourbillons des Aimans.

1°. Lorsque les poles voisins des deux Aimans qui se touchent, sont semblables, & disposés de façon, que les pores ou interstices dont ces poles sont composés, se

couvrent tous & en entier, réciproquement les uns les autres, les filets de matiere Magnétique, qui, en sortant des uns, trouvent tout à plein pied dans les autres des routes convenables, les enfilent, & suivent leur chemin tout droit, fans qu'aucun de ces filets puisse se détourner & s'échapper d'entre les deux pierres. Alors on remarquera seulement deux vuides sur la feuille de papier *ST* en *C* & en *D*, un au-dessus de chacun des poles extérieurs des Aimans; car il ne s'en peut former aucun en *E* à l'endroit du papier qui répond à la jonction des deux pierres, parce qu'il ne s'y élève point de matiere Magnétique des poles intérieurs. C'est le cas de la réunion complete des tourbillons.

FIG. II.

2°. Si les pores ou interstices, qui composent les poles voisins des deux Aimans, sont en plus grand nombre, & occupent un plus grand espace sur un Aiman que sur l'autre, & que les Aimans soient adossés, de façon que le pole le moins étendu *O* soit couvert en entier par celui qui l'est le plus, il est évident qu'une partie du pole *P* le plus étendu, aura vis-à-vis dans l'autre Aiman, des routes contiguës & correspondantes, & que l'autre partie de ce pole *P* n'en aura aucune vis-à-vis d'elle; les filets de matiere Magnétiques qui passeront par la partie du pole *P*, qui a vis-à-vis des routes contiguës & correspondantes, agiront comme dans la premiere expérience; ils couleront en dedans d'une pierre dans l'autre; mais la circulation des filets de matiere Magnétique, qui passeront par la partie du pole *P*, à qui l'Aiman voisin ne présente aucun passage correspondant, ne peut subsister qu'autant qu'ils s'échappent de la pierre en dehors, ou que du dehors ils se rendent dans la pierre, selon que le pole *P* est l'Austral ou le Boreal; & dans l'un & l'autre cas, il se formera un vuide en *E*, à l'endroit de la feuille de papier qui répond à ce pole intérieur, ce qui, avec ceux qui se forment toujours au-dessus des poles extérieurs, fait trois vuides.

FIG. III.

3°. Enfin, lorsque les poles voisins des deux Aimans sont  
disposés

disposés l'un à l'égard de l'autre, de façon qu'ils se débordent mutuellement, les filets de matiere Magnétique qui passent par les parties de ces poles, qui n'ont point vis-à-vis dans l'Aiman voisin des passages correspondans, ne peuvent se rendre directement d'un Aiman dans l'autre; il faut qu'ils circulent en dehors des Aimans, & il se forme deux vuides sur la feuille de papier, aux environs de la jonction des deux pierres, l'un au-dessus du pole intérieur, qui se dirige au Nord, par ceux de ces filets qui en sortent, & l'autre au-dessus du pole, qui se dirige au Sud, par ceux de ces filets qui vont s'y rendre du dehors; voilà le cas des quatre vuides, parce qu'il s'en forme toujours deux autres vers chaque bout des Aimans réunis, comme je l'ai déjà dit. Dans cette expérience & dans la seconde, la réunion des tourbillons est incomplète.

XVI. Il suit de ces observations, que les tourbillons de deux Aimans ne se confondent parfaitement & en entier, que lorsque les pores ou interstices, qui composent les poles intérieurs des deux Aimans, sont en nombre à peu près égal dans chaque Aiman, & qu'ils correspondent exactement les uns aux autres, se touchant en toutes leurs parties; & pour cet effet, il est nécessaire que ces poles voisins aient été taillés, & soient bien unis, afin qu'ils puissent s'appliquer immédiatement l'un contre l'autre.

XVII. Je fis ensuite l'expérience avec deux Aimans, qui sont assez bien taillés, & dont les tourbillons s'étendent à dix pouces autour d'eux, ce dont il est aisé de juger parce qu'ils agissent sensiblement à cette distance, sur une aiguille de Bouffole. Je tins d'abord ces deux Aimans éloignés l'un de l'autre de l'épaisseur d'une carte à jouer, & il se forma toujours quatre vuides de limaille sur la feuille de papier; ce qui prouve que le mélange des tourbillons n'étoit pas entier, & qu'il y en avoit une partie qui continuoit à circuler séparément autour de chaque Aiman; (a)

(a) On s'en assure d'une façon sensible, en faisant un trou dans un carton, où l'on enfonce à moitié les deux aimans, disposés convenablement & écartés

mais j'observai en même tems , que cette portion de leur matiere Magnétique qui tourbillonnoit à part , n'étoit pas considérable , parce que les deux vuides intérieurs étoient infiniment plus petits que les extérieurs , ( *a* ) & qu'ils ne l'eussent été eux mêmes , s'il y eût eu un plus grand intervalle entre les deux Aimans ; ce qui donnoit lieu de présumer , que la matiere Magnétique , à son passage par les poles intérieurs des deux Aimans , ne s'élevoit pas au-dessus de la feuille de papier en aussi grande quantité qu'elle l'eût fait , si les Aimans n'eussent pas été près l'un de l'autre , & par conséquent , que la plus grande partie de cette matiere se rendoit directement d'un Aiman dans l'autre.

XVIII. En pouffant plus loin cette expérience , j'ai vû que plus il y avoit d'intervalle entre les deux Aimans , & plus les vuides intérieurs étoient étendus , & approchoient de la grandeur des extérieurs ; d'où il étoit à conclure , qu'il s'en rendoit moins de matiere Magnétique , directement d'un Aiman dans l'autre. Lorsque je les eus mis à environ six à sept lignes de distance l'un de l'autre , les vuides intérieurs devinrent égaux aux extérieurs , & un plus grand éloignement entre les Aimans , ne me parut plus y rien ajouter. Lors donc qu'il étoit d'à peu près sept lignes , la réunion des tourbillons n'étoit plus sensible dans cette expérience. Ce n'est pas que cette réunion ne subsistât encore en partie ; car , vû la distance où nous venons de dire que s'étendoient les tourbillons de ces Aimans , il n'y a pas d'apparence que leurs tourbillons fussent totalement séparés : les couches intérieures de chaque tourbillon circuloient séparément autour d'un seul Aiman ; mais les couches extérieures , qui n'agissent pas sensiblement sur la

l'un de l'autre de l'épaisseur d'une carte. La limaille de fer qu'on sème dessus ; prend à peu près l'arrangement tracé dans la Fig. IV.

( *a* ) Les vuides se forment , comme il a été dit , au moyen des secouffes que l'on donne au papier , & j'ai observé que ces vuides s'étendent proportionnellement à la quantité de matiere Magnétique qui s'éleve du pole , au-dessus duquel chaque vuide se forme , & qu'ils ont par conséquent certaines bornes déterminées , que les secouffes réitérées ne reculent jamais.

limaille de fer, & dont cependant une aiguille de Bouffole, qui est plus aisée à émouvoir, indique la présence & la circulation, devoient se confondre encore & tourbillonner ensemble.

XIX. On n'aura pas de peine à se persuader, que lorsque la réunion des tourbillons des deux Aimans est aussi imparfaite, elle soit insuffisante pour occasionner la jonction des deux pierres; car alors la pression que la matière du tourbillon général exerce sur le tourbillon commun aux deux Aimans, devient inefficace à cet égard, & incapable de vaincre la résistance que leur pesanteur, ou d'autres causes, opposent à leur déplacement, parce qu'alors chaque Aiman se conservant une partie considérable de son tourbillon, qui continue à circuler séparément autour de lui seul, ces écoulemens particuliers forment en *K*, entre les deux Aimans, une espèce de cul-de-fac, que le surplus de la matière de leurs tourbillons, qui s'est confondue pour en faire un commun aux deux Aimans, recouvre & enveloppe, mais où elle doit céder plus facilement que par-tout ailleurs, à la pression de la matière du tourbillon général, qui par conséquent, agit en *K* sur les Aimans dans un sens qui tend à les écarter l'un de l'autre, ce qui balance l'action de sa pression en *D* & en *E*, & la rend nulle, lorsque cette pression en *K* est considérable. Elle l'est plus, à proportion que les Aimans sont plus éloignés l'un de l'autre.

FIG. IV.

XX. Les corps qui possèdent un tourbillon de matière Magnétique, ou qui sont propres à en acquérir un, sont les seuls qui puissent être attirés par l'Aiman, puisque l'attraction Magnétique procède de la réunion des tourbillons des corps, entre qui elle s'exerce. M. Muschenbroeck a fait une longue énumération de tous les corps que l'Aiman attire. Quant au fer, on conçoit que lorsqu'il est à une juste distance d'un Aiman, il doit aussi l'attirer, & en être attiré. Car on sçait que le fer est très-disposé à s'aimanter, qu'on le regarde comme un Aiman imparfait, & que lorsqu'il est dans la sphère d'activité d'une pierre d'Aiman, les

I ij

petits poils métalliques , dont les pores sont revêtus , reçoivent de la matiere Magnétique qui les enfile , un arrangement propre à la faire tourbillonner autour du fer : or , tant que ce fer n'est qu'à une certaine distance de la pierre , le tourbillon qu'il acquiert , doit être confondu , & ne faire qu'un avec celui de l'Aiman ; ce qui les met dans le cas de s'attirer réciproquement.

XXI. Dans les cas où les tourbillons d'un Aiman & d'un morceau de fer ( on peut dire la même chose des deux Aimens voisins ) ne sont pas assez intimement confondus ensemble pour que l'Aiman & le fer parviennent à se joindre , la pression de la matiere du tourbillon général sur leur tourbillon commun , ne laisse pas cependant que de tendre à les rapprocher , & elle les rapproche effectivement plus ou moins , selon le plus ou le moins de résistance des causes qui s'opposent à leur déplacement , & selon que la réunion de leurs tourbillons est plus ou moins complète. J'ai suspendu à un fil de soie de trois pieds de long , & très-délié , une aiguille Aimantée-longue de deux pouces , par le sommet de sa chape ; l'aiguille s'est dirigée selon le méridien Magnétique ; elle rafoit la surface d'une table placée au-dessous , sur laquelle j'ai tracé une ligne droite dans le plan du Méridien Magnétique , où étoit l'aiguille ; j'ai divisé cette ligne en pouces & lignes , à commencer du point qui répondoit au centre de l'aiguille , & à son point de suspension. J'ai placé à l'extrémité opposée de cette ligne , un Aiman , de façon qu'il présentât au pôle le plus voisin de l'aiguille , son pôle de différent nom ; j'ai fait glisser l'Aiman sur la même ligne , en l'approchant peu à peu de l'aiguille , & je l'ai mené jusques à quatre pouces près , avant qu'elle ait commencé à s'ébranler. Mais l'Aiman étant à cette distance , le centre de l'aiguille s'est écarté un peu de la verticale qui passoit par son point de suspension , pour s'avancer vers l'Aiman ; à de moindres distances , le centre de l'aiguille se foutenoit encore plus rapproché de l'Aiman en s'éloignant de plus en plus de cette verticale ; &

enfin lorsque l'intervalle entre l'Aiman & le premier point de la ligne horifontale tracée sur la table, n'a plus été que de  $2\frac{1}{2}$  pouces, l'aiguille a été se joindre à l'Aiman.

XXII. On pourroit objecter que comme la réunion des tourbillons de l'Aiman & de l'aiguille, devient d'autant plus complete, qu'ils sont plus rapprochés l'un de l'autre, il en résulte, que lorsque l'Aiman a une fois commencé à attirer l'aiguille aimantée, il devoit tout de suite l'amener jusques sur lui; parce que pour peu que l'aiguille s'approche de l'Aiman, la réunion de leurs tourbillons en est plus parfaite, & cette réunion plus parfaite des tourbillons, devoit occasionner un nouveau rapprochement; & ainsi alternativement, jusqu'à ce que l'aiguille se joindroit à l'Aiman, ce qui n'arrive point dans l'expérience précédente. Je ne disconviens pas que cela ne dût effectivement arriver ainsi, sans les obstacles qui s'opposent à l'effet de la pression de la matiere du tourbillon général: mais il faut faire attention que dans cette expérience, à mesure que l'aiguille s'avance vers l'Aiman, elle résiste davantage par sa gravité, à la force qui la pousse vers l'Aiman; car plus son centre est éloigné de la verticale, qui passe par son point de suspension, & plus l'action de la gravité devient considérable, parce que la force qui la contrebalance, à sçavoir la puissance qui tient l'aiguille suspendue, ( le fil de soie ) agit avec moins d'avantage contre elle, à proportion que le centre de l'aiguille est écarté de la verticale. Par conséquent, dans les divers éloignemens où l'aiguille se trouve à l'égard de l'Aiman, elle doit s'arrêter & se fixer, lorsque les deux forces qui agissent sur elle en sens contraires, à sçavoir sa gravité & la pression de la matiere du tourbillon général, sont en équilibre. Selon ce que nous avons déjà observé, plus l'Aiman & le fer sont près l'un de l'autre, & plus la pression de la matiere du tourbillon général sur leur tourbillon commun en *D* & en *E* est efficace; parce que la pression de cette matiere en *K*, en étant moins considérable, la contrebalance moins. Ainsi, lorsque l'action de l'une des

Fig. IV.



deux forces contraires, qui agissent sur l'aiguille aimantée; augmente, celle de son antagoniste augmente aussi; & s'il arrive que, lorsqu'il n'y a qu'un certain intervalle entre l'aiguille & l'Aiman, l'équilibre est rompu & l'aiguille poussée jusques sur l'Aiman, c'est que ces deux forces contraires ne croissent pas dans la même proportion.

XXIII. On peut donc mettre en fait, que lorsqu'un Aiman a une fois commencé à attirer un morceau de fer, ce fer, s'il étoit absolument libre d'ailleurs, ne devoit pas s'arrêter qu'il ne fût joint à cet Aiman, puisque la cause de l'attraction doit devenir de plus en plus efficace, à mesure que le corps attiré s'approche. Ce résultat de mon sentiment sur la tendance mutuelle de l'Aiman & du fer l'un vers l'autre, l'est aussi du sentiment de ceux qui expliquent ce phénomène par la pression de l'air, ou de la matière subtile. On vient de voir, que l'expérience précédente ne lui est aucunement défavorable; mais peut-être croiroit-on avoir des raisons suffisantes de ne pas l'admettre, dans les différentes positions que prend une aiguille de Bouffole, à qui l'on présente le pôle d'un Aiman, qu'on en approche peu à peu, en la conduisant sur une ligne perpendiculaire à celle de la direction naturelle de l'aiguille. Le pôle de différent nom de l'Aiguille, ne se détourne pas tout-à-coup vers l'Aiman, mais pas à pas, à mesure qu'on avance l'Aiman, & cela jusqu'à ce qu'on l'amène à une certaine distance, où l'aiguille se dirige enfin selon la ligne de l'axe de l'Aiman prolongé. Mais il est à remarquer, que quoiqu'avant qu'il n'y eût qu'une telle distance entre l'aiguille & l'Aiman, elle en fût réellement attirée; c'est-à-dire, que la pression de la matière du tourbillon général sur leur tourbillon commun tendit à les rapprocher, l'action de cette pression n'étoit cependant pas efficace; parce qu'étant moins considérable, à proportion que l'Aiman & l'aiguille, sur qui elle s'exerce, sont plus éloignés, & étant affoiblie d'ailleurs par la résistance que le pivot sur lequel l'aiguille est suspendue, oppose à son déplacement, elle étoit balancée par

l'action d'une autre puissance , qui agit en même tems sur l'aiguille , à sçavoir la matiere du tourbillon commun à l'Aiman & à l'aiguille , qui , en enfilant l'aiguille , tend à la mettre dans une position conforme à la direction de son courant ; aussi l'aiguille en prend-elle de différentes , selon les différentes couches de ce tourbillon dans lesquelles elle se rencontre successivement ; & on peut dire qu'alors la vertu directrice de l'Aiman l'emporte sur sa vertu attractive.

XXIV. J'ai cherché à disposer les choses dans l'expérience de l'attraction de l'Aiman & de l'aiguille , de façon que rien ne pût balancer la pression de la matiere du tourbillon général , sur leur tourbillon commun , comme il arrive dans celles mentionnées aux art. XXI. & XXIII. J'y suis parvenu , après quelques tentatives , & j'ai eu un résultat absolument conforme à mon hypothèse. J'ai rempli d'eau un grand bassin , où j'ai posé une aiguille ordinaire , qui furnageoit sur l'eau ; j'ai placé ensuite une pierre d'Aiman à treize pouces de distance de l'aiguille , ce qui étoit à peu près la distance à laquelle cette pierre commençoit à agir sensiblement sur une aiguille de Bouffole ; l'aiguille s'est dirigée vers l'Aiman , & s'est avancée peu à peu jusque sur le bord du bassin , près duquel étoit l'Aiman. Dans le commencement , son mouvement étoit si lent , qu'à peine pouvoit-on le distinguer ; mais il le devenoit moins , à mesure qu'elle s'approchoit de la pierre , ce qui vient de ce que la résistance que l'eau oppose au déplacement de l'aiguille , étant la même par-tout , l'attraction de l'Aiman est moins efficace , à proportion qu'elle s'exerce à de plus grandes distances. J'ai été curieux de connoître quel étoit le rapport des vitesses de l'aiguille à différentes distances de l'Aiman. Lorsqu'elle a commencé à s'ébranler , son bout antérieur étoit à treize pouces de la pierre.

Pour parcourir le premier pouce ,	
il a employé . . . . .	120 secondes.
Pour le second . . . . .	110
Pour le troisième . . . . .	78
Pour le quatrième . . . . .	72
Pour le cinquième . . . . .	56
Pour le sixième . . . . .	44
Pour le septième . . . . .	28
Pour le huitième . . . . .	16
Pour le neuvième . . . . .	12
Pour le dixième . . . . .	6
Pour le onzième . . . . .	3
Pour le douzième & le treizième	1

Total du tems employé par l'aiguille  
à parcourir 13. pouces . . . . . 546'' ou 9' 6''.

Cette experience fournit un moyen pour évaluer la force respective des différentes couches du tourbillon d'un Aiman , pour reconnoître si sa vertu est la même en différentes faisons , pour comparer les forces de deux Aimans , &c.

XXV. Une preuve que c'est effectivement la réunion des tourbillons de l'Aiman & du fer , qui occasionne leur attraction réciproque , c'est qu'un Aiman attire plus aisément un morceau de fer d'une certaine pesanteur , si ce fer est propre d'ailleurs à acquérir un tourbillon Magnétique bien fourni & bien étendu , qu'un morceau de fer plus léger , qui n'a pas de dispositions si avantageuses pour faire tourbillonner la matiere Magnétique autour de lui : aussi lorsque deux Aimans sont disposés de façon que leurs poles de différens noms ne sont pas à portée l'un de l'autre , loin de s'attirer , ils se repoussent réciproquement , parce que dans ce cas , leurs tourbillons ne se mêlent point ensemble ; & comme alors ils se trouvent resserrés dans des bornes étroites du côté qu'ils s'avoisinent , ils doivent tendre à s'éloigner l'un de l'autre. On verra ci-après , art. LX. & LXI. que malgré la proximité des Aimans , leurs tourbillons ne se confondent pas dans certaines circonstances. **CHAP.**

## CHAPITRE III.

*De la propriété qu'a l'Aiman de lever le Fer.*

XXVI. **L**A propriété qu'al'Aiman de lever le fer, est une dépendance de sa vertu attractive ; car de ce qu'un Aiman attire un morceau de fer, il résulte qu'il l'enlèvera, & le soutiendra, si la pesanteur du fer est moindre que la force attractive de l'Aiman, Mais on sent bien qu'une force suffisante pour attirer un morceau de fer qu'on rend facile à être ébranlé, en le suspendant ou autrement, ne le fera pas pour le porter, si ce fer a une certaine pesanteur. Aussi on doit s'attendre à voir le plus souvent la réunion la plus parfaite des tourbillons de l'Aiman & du fer, qu'on lui présente à soutenir, inefficace à cet égard, ou n'opérer l'effet qu'on en attend, que lors du concours & à l'aide de certaines dispositions favorables.

XXVII. Ces dispositions favorables, dont un Aiman emprunte sa force, sont l'abondance de la matière de son tourbillon, & sur-tout, l'union des filets qui le composent ; plus ils sont pressés, & plus il porte pesant de fer : aussi réussit-on à multiplier prodigieusement sa force, lorsqu'on lui donne une armure, parce que le fer appliqué convenablement sur un Aiman, est propre à ramasser, à réunir les filets de son tourbillon. Les expériences suivantes, répandront quelque jour sur cette matière.

XXVIII. J'ai couché sur le côté une pierre d'Aiman armée, en sorte que les deux pieds de son armure fussent dans le même plan horizontal. J'ai placé au-dessus une feuille de papier *DD*, sur laquelle j'ai semé de la limaille de fer, & cette limaille s'est arrangée en forme d'une multitude de courbes, qui se réunissoient de part & d'autre, aux endroits du papier qui répondoient aux pieds de l'armure de l'Aiman ; j'ai ensuite ôté la feuille de papier pour

FIG. V.

*Prix. 1744.*

K

FIG. VI.

appliquer contre les pieds de l'armure la piece de fer *G*, qui en fait partie, & l'ayant remise (la feuille de papier) après à sa place, il s'y est encore formé quelques courbes de limaille, mais en beaucoup moindre quantité, & qui étoient infiniment moins distinctes que la premiere fois. J'ai fait la même expérience, en disposant autrement la pierre d'Aiman, de façon que les pieds de son armure regardassent en haut, & j'ai eu les mêmes résultats. La limaille répandue sur la feuille de papier, que je soutenois dans une position horisontale, à côté & tout joignant les pieds de l'armure, ne formoit qu'un petit nombre de courbes assez confuses, quand le fer *G* étoit sur les pieds de l'armure; au lieu que quand il en étoit ôté, les courbes devenoient régulières, & se multiplioient en s'étendant au loin sur la feuille de papier. Il résulte de ces faits, que le fer *G* empêche les filets de matiere Magnétique, dont les courbes de limailles sont les traces visibles, de s'écarter au loin, non-seulement au-dessous, mais même à côté des pieds de l'armure, parce que ses pores sont comme autant de canaux, où ces filets, quoique plus ramassés & plus réunis, coulent encore plus librement que dans l'air; & l'on va voir que leur force en augmente à un point considérable.

FIG. VII.

XXIX. Après avoir remis la pierre d'Aiman dans sa situation naturelle, j'ai présenté à l'un des pieds de son armure, le bout supérieur d'un brin de fil de fer, gros comme le petit doigt, & long d'environ deux pieds, que je tenois verticalement, & que l'Aiman n'a pû soutenir; mais ayant ajusté le fer *G* sous les pieds de l'armure, de façon que l'un des pieds débordât le fer *G*, & placé en *A* dans l'angle formé par le pied de l'armure, & le fer *G*, le bout supérieur du même fil de fer *B*, il s'y est attaché alors. Les faits énoncés dans l'article précédent, nous aident à développer la cause de la différence de ces deux résultats. Quand le fer *G* est adhérent à l'Aiman, les filets de son tourbillon ne s'en écartent pas beaucoup; ils se rendent pour la plupart directement, & par le chemin le plus court, du pied de

l'armure dans le fer *G*, ou du fer *G* dans le pied de l'armure. Ils doivent, par conséquent, être fort ramassés & fort pressés en *A*, dans l'angle formé par le fer *G*, & le pied de l'armure où ils ont à traverser le bout du fil de fer *B*; & il paroît qu'ils doivent être d'autant plus capables de le soutenir, qu'ils se trouvent plus réunis. Il n'en est pas de même quand le fer *G* n'est pas appliqué à l'armure de l'Aiman; car alors les filets de matière Magnétique n'ayant rien qui les retienne, s'écartent à leur ordinaire, & s'étendent au loin, en se rendant d'un pied de l'armure à l'autre, & même une grande partie de ces filets se détournent alors, pour circuler tout le long du fil de fer *B*; d'où il arrive que la matière Magnétique trop divisée & trop dispersée, manque de force pour soutenir le même fer, qu'elle porte lorsqu'elle est ramassée.

J'ai fait cette expérience d'une façon encore plus précise, & qui fait voir à quel point se multiplie la force des filets Magnétiques, que le fer *G*, placé convenablement, tient réunis. J'ai présenté à l'un des pieds de l'armure, la table d'acier *T*, dont il est fait mention à l'art. XXXII. & à laquelle j'avois ajusté un plateau *S* de trebuchet. Contre l'autre pied de l'armure, étoit placé le fer *G*, de façon que le fer *G* & l'acier *T* se touchoient; j'ai mis alors des poids les uns après les autres dans le plateau *S*, jusques à ce que l'Aiman ait cessé de retenir l'acier *T*, & il a soutenu jusques à dix-huit onces, sans lâcher prise: ayant ensuite ôté le fer *G*, & laissé l'acier *T* appliqué tout seul contre le pied de l'armure de l'Aiman, un poids de deux onces dans le plateau, a suffi pour détacher l'acier *T*.

XXX. En effet, il est aisé de concevoir que l'union ou la dispersion des filets du tourbillon d'un Aiman peuvent influer beaucoup sur sa force: car on peut assez naturellement présumer, que les élémens de la matière Magnétique, quelque figure qu'on veuille leur supposer, ont entre eux une certaine cohérence, qui les attache les uns aux autres, & les fait résister à une force quelconque, qui tendroit à

K ij

FIG. VIII.

les séparer. Quand cette force étrangere, qui tend à les séparer, par exemple, la pesanteur du fer qu'on applique contre un Aiman, est moindre que leur cohérence, que la force qui les unit ensemble, l'Aiman soutient le fer; quand c'est le contraire, l'Aiman lâche prise. Or il est évident, que si ces filets de matiere Magnétique sont rassemblés en grand nombre, réunis & ferrés les uns contre les autres, la cohérence de leurs élémens en deviendra d'autant plus difficile à vaincre, la pesanteur du fer trouvant plus de parties à diviser, & dont l'union en tout sens augmente la résistance; au lieu que la pesanteur du fer doit agir avec un grand avantage contre les filets de matiere Magnétique, lorsqu'ils sont séparés & écartés les uns des autres, parce qu'elle agit alors sur chacun d'eux séparément. Il en est de ces filets de matiere Magnétique, comme de deux cordes *A* & *C*, qui soutiennent un corps pesant *B*. Si on défile la corde *A* en une infinité de petits filets *aaa*, &c. & qu'on les applique à différens points du corps *B*, il est certain que ces petits filets ainsi séparés, ne seront pas aussi forts, que lorsqu'ils ne composoient tous ensemble qu'une seule corde; & le poids *B* peut être tel, que quoique les cordes *A* & *C* fussent assez fortes pour les soutenir, il soit cependant capable de rompre les uns après les autres les filets *aaa*, &c. & ensuite la corde *C*.

FIG. IX.

XXXI. Au reste, ce que j'ai avancé au sujet des routes que suivent les divers filets du tourbillon de l'Aiman, dans les deux cas de l'expérience détaillée dans l'art. XXIX. n'est pas une pure supposition; il ne m'a pas été difficile de suivre leur marche, & de me la rendre sensible. J'ai étendu horizontalement l'Aiman auquel j'avois appliqué le fer *G*, & le brin de fil de fer *B*, & mis une feuille de papier *DD* au-dessus; la limaille de fer que j'y ai répandue, n'a pris aucun arrangement bien régulier, on appercevoit seulement aux environs de l'Aiman quelques arcs de courbes interrompues; ce qui indique que la plus grande partie de la matiere Magnétique couloit en dedans du fer *G*. Mais

FIG. X.

l'ayant ensuite ôtée, la limaille s'est rangée en une multitude de courbes, qui, partant du pied *A* de l'armure, & de tous les points qui répondoient à une longueur *AB*, d'environ six pouces de la partie du fil de fer la plus voisine de l'Aiman, alloient aboutir au pied opposé de l'armure.

XXXII. J'ai employé encore un autre moyen, par lequel j'ai reconnu que le fer *G* empêche non-seulement la matière Magnétique de s'étendre & de s'écarter dans l'air, mais même de se détourner en aussi grande quantité, pour circuler dans un autre fer, tel que *B*, qui est suspendu par une de ses extrémités au pied de l'armure, contre & joignant le fer *G*. J'ai fait polir une petite table d'acier de dix à onze lignes de long, de sept de large, & d'une épaisseur, & dont une des tranches étoit arrondie: j'ai appliqué à l'un des pieds de l'armure de l'Aiman cet acier *T*, par sa tranche arrondie, & à la tranche inférieure de l'acier, un brin de fil de fer *V* de sept à huit pouces de long; l'acier *T* est demeuré attaché contre le pied de l'armure, & le fil de fer contre l'acier *T*. Mais ayant aussi appliqué à l'autre pied de l'armure le fer *G*, de façon que le fer *G* & l'acier *T* se touchassent; le fil de fer *V* s'est détaché dans le moment de l'acier, qui a lâché prise; ce qui indique qu'une partie de la matière Magnétique qui passoit en *X* au point de contact de l'acier *T* & du fil de fer, a cessé d'y circuler quand on a appliqué le fer *G* à l'aiman, & par conséquent que la matière Magnétique est déterminée par sa direction à passer préférablement dans le fer, qui la mène par le plus court chemin au pôle de l'Aiman, où elle doit se rendre, que dans tout autre fer, qui la détourne & l'en éloigne.

XXXIII. J'ai fait la même épreuve d'une manière encore plus simple. J'ai présenté à l'un des pieds de l'armure de l'Aiman un brin de fil de fer de trois pouces de long, où il est resté suspendu; j'ai trempé alors son bout inférieur dans un tas de limaille, & il s'en est chargé considérablement. Ayant ensuite ajusté le fer *G* contre les pieds

K iij

Fig. XLV



de l'armure, en sorte qu'il touchât le bout supérieur du fil de fer, l'inférieur a laissé tomber une bonne partie de la limaille dont il s'étoit chargé ; en cet état, je l'ai replongé de nouveau dans le tas de limaille, & il n'en a pas enlevé davantage. Il est à propos dans cette dernière expérience, d'employer par préférence un brin de fil de fer qui soit court, car plus il est long, & moins il est propre à se charger de limaille, & par conséquent la différence en quantité, de celle qui s'y attache dans les deux cas de l'expérience, est moins sensible. De plus, il est à observer, que si le bout qu'on plonge dans la limaille est bien limé & arrondi, il n'en enlève presque point, au lieu qu'elle s'y attache en quantité, si ce bout a beaucoup d'inégalités, comme lorsqu'il a été cassé.

XXXIV. Il y a une induction importante à tirer des observations précédentes ; à sçavoir que lorsqu'un morceau de fer qui a quelque longueur, reste suspendu verticalement à l'un des pieds de l'armure de l'Aiman, les filets de matière Magnétique, qui enfilent ce fer dans sa longueur, ne contribuent que fort peu à le soutenir : car nous avons vu dans l'art. XXIX. qu'un Aiman qui manquoit de force pour porter un brin de fil de fer, quand la matière Magnétique y circuloit abondamment & le parcouroit dans sa longueur, le soutenoit au contraire, quand au moyen du fer *G*, on retenoit la plus grande partie de la matière Magnétique dans des bornes fort resserrées, & qu'on l'empêchoit de se détourner pour pénétrer trop avant dans ce fil de fer ; d'où l'on doit inférer, qu'un morceau de fer tel que le fil de fer *B*, est principalement retenu par les filets du tourbillon de l'Aiman, qui se rendent tout droit & par le chemin le plus court, sans se désunir beaucoup, d'un pied de l'armure à l'autre, & traversent en passant la partie de ce fer, qui est contiguë au pied de l'armure : & en effet, les filets de matière Magnétique, qui circulent au-delà dans ce fer, lorsqu'il est ainsi suspendu, ne sçauroient manquer d'être très-désunis, parce qu'ils y entrent ou en sortent, les

\* Voyez les  
art. XXIX. &  
XXXI.

FIG. VII.

uns plus haut les autres plus bas , par tous les pores qui se rencontrent dans la longueur du fer qu'ils parcourent ; ce qui ne peut se faire , sans qu'ils ne se séparent & ne s'écartent les uns des autres , dans l'espace considérable qui se rencontre entre le fer & le pied opposé de l'armure , lequel ils ont à traverser ; & il est évident , qu'ainsi détachés & écartés les uns des autres , ils ne peuvent avoir qu'une force infiniment inférieure à celle des filets qui sont rassemblés & réunis. Une expérience assez curieuse , dont je vais rendre compte , concourt à établir ce que j'avance à ce sujet.

XXXV. J'avois appliqué à l'un des pieds de l'armure de l'Aiman , la table d'acier *T*, dont j'ai parlé à l'art. XXXII. & à la tranche inférieure de l'acier *T*, un ciseau de fer *V*, long d'environ cinq pouces ; l'Aiman retenoit le tout. J'avois encore suspendu à l'acier *T*, au moyen d'un petit trou pratiqué en *x*, un plateau de trebuchet *S*, dans lequel je mis autant de petits poids de cuivre que l'Aiman en pur soutenir sans lâcher prise : ayant alors détaché le ciseau *V* d'avec l'acier *T*, & l'ayant placé dans le plateau *S*, je vis , avec quelque surprise , que l'Aiman abandonnoit l'acier *T*, & ce fut en vain que je tâchai de le lui faire soutenir , chargé comme il étoit du plateau , où étoient les poids de cuivre , & le ciseau de fer *V*. Ce n'étoit là cependant que ce qu'il avoit porté en premier lieu, lorsque le ciseau *V* étoit appliqué immédiatement à l'acier *T*. Comment la transposition de ce ciseau pouvoit-elle occasionner un pareil changement ? c'est ce que je vais expliquer. Si , conformément à l'énoncé de l'article précédent , on fait attention que les filets du tourbillon de l'Aiman , qui traversent de haut en bas , ou de bas en haut l'acier *T*, ne contribuent point , ou presque point à le soutenir , & que lorsque le ciseau *V* est appliqué en *X* à l'acier *T*, il n'y a que ces mêmes filets qui traversent l'acier *T* en *X* qui puissent l'y retenir : on concevra que les filets de matiere Magnétique qui soutiennent l'acier *T*, & qui sont ceux qui le traversent en *z*, en se rendant d'un pied de l'armure à l'autre , ne doivent guères le

FIG. XII.

trouver plus pésant, lorsque le ciseau  $V$  y est attaché en  $x$ , que s'il ne l'y étoit pas, parce que le ciseau de fer est uniquement soutenu par des filets du tourbillon, qui ne contribuent presque en rien à soutenir l'acier  $T$ ; & qu'ainsi, quoique le ciseau  $V$  soit adhérent à l'acier  $T$ , les filets de matiere Magnétique qui portent l'acier  $T$ , ne sont chargés que de l'acier  $T$  du plateau  $S$ , & des petits poids de cuivre; au lieu que quand le ciseau  $V$  est détaché de l'acier  $T$ , & placé dans le plateau  $S$ , les filets de matiere Magnétique qui soutenoient auparavant ce ciseau, n'agissent plus sur lui; il devient un surcroît de charge pour ceux qui soutiennent l'acier  $T$ , qui étant déjà chargés de tout ce qu'ils sont capables de porter, doivent succomber & lâcher prise.

XXXVI. J'avouerais que lorsque j'entrepris cette expérience, je m'attendois à un résultat tout opposé; j'étois prévenu que le ciseau de fer, appliqué contre l'acier  $T$ , ne pouvoit manquer de détourner une partie de la matiere Magnétique, qui, en se rendant d'un pied de l'armure à l'autre, passoit à travers la tranche  $z$  de l'acier  $T$ ; d'où il devoit arriver que l'Aiman auroit plus de peine à le soutenir, lorsque le ciseau seroit adhérent à l'acier  $T$ , que lorsqu'il seroit mis dans le plateau  $S$ . Le succès de l'expérience peu favorable à ma conjecture, me donna lieu de chercher à m'assurer de quelque façon sensible, si elle étoit juste ou non: l'épreuve suivante me satisfit à cet égard, & me détrompa. J'appliquai l'acier  $T$  contre un des pieds de l'armure de l'Aiman, & je jettai de la limaille de fer sur la tranche  $z$ , celle qui regarde en dedans, & elle s'y attacha en grande quantité. Je présentai alors la tête du ciseau de fer à la tranche inférieure de l'acier en  $x$ . Si le ciseau avoit détourné de la matiere Magnétique qui passe par la tranche  $z$ , elle auroit abandonné une partie de la limaille qui y étoit collée; mais il ne s'en détacha point du tout: ce qui fait voir qu'il ne passe dans le ciseau de fer, que les seuls filets de matiere Magnétique, qui traversoient la tranche inférieure  $x$  de l'acier  $T$ , même avant qu'on l'y eût appliqué.

XXXVII,

XXXVII. On sçait que la maniere de faire soutenir le fer par un Aiman , en l'appliquant à l'un des pieds de son armure , dont nous avons seulement fait mention jusqu'ici , n'est pas la plus avantageuse : un Aiman porte bien plus pesant , lorsque les deux pieds de son armure touchent le fer ; ce qui doit être effectivement , selon le sentiment que j'expose : car alors le fer se trouve placé dans le plus fort du courant Magnétique ; une grande quantité de filets s'y rassemblent , & circulent le long de ses pores , & ces filets passant immédiatement d'un pied de l'armure dans le fer , & du fer dans l'autre pied de l'armure , sans traverser l'air , ne sçauroient se séparer , ni se désunir le moins du monde , & ils conservent par conséquent toute la force dont ils sont capables.

XXXVIII. Tous ces faits concourent à établir , que la force d'un Aiman réside dans les filets de la matiere Magnétique , qui tourbillonnent autour , & que cette force est d'autant plus considérable que ces filets sont plus ramassés & plus réunis : l'air , la matiere subtile , & mille autres causes étrangères n'y sont pour rien ; la disposition seule du fer qu'on applique à l'Aiman , peut y influencer en quelque chose , en ce qu'il peut être plus ou moins propre à réunir les filets de son tourbillon. En effet , j'ai remarqué plusieurs fois , qu'un gros fil de fer que j'avois d'abord essayé en vain de suspendre à l'un des pieds de l'armure d'un Aiman , s'y attachoit ensuite , quand j'avois donné quelques coups de marteau sur le bout de ce fil de fer ; apparemment parce que les coups de marteau dispoisoient ses pores de façon que la matiere Magnétique y trouvoit des routes plus régulières , où elle étoit plus réunie , & par où elle passoit en plus grande quantité. M. Du Fay a conclu aussi , d'après certaines expériences qui sont détaillées dans les Mémoires de l'Académie , \* que le degré de vertu d'un des bouts d'une aiguille aimantée , fait qu'elle est plus ou moins attirée par un Aiman. Or le degré de vertu qu'une aiguille peut

\* An. 1731  
p. 423.

avoir, dépend de la disposition plus ou moins avantageuse de ses parties.

XXXIX. La plupart des Physiciens ont prétendu, que dans les climats Septentrionaux, celui des poles d'un Aiman qui se dirige au Nord, leve plus de fer que l'autre, & que la proximité du pole Boreal de la terre en étoit la cause: cependant le fait n'est rien moins que certain. M. Du Fay, qui a cherché à le vérifier, a trouvé, par des expériences concluantes, quoique délicates, \* que dans différens Aimans ce n'étoit pas toujours les poles de même nom qui étoient les plus forts; que celui qui se dirige au Sud, l'emportoit quelquefois sur l'opposé, & que ces différences venoient de la disposition des parties internes des Aimans, dont un des poles peut être plus propre que l'autre à rassembler & à réunir la matiere Magnétique, & cela indifféremment à l'égard de l'Austral & du Boreal.

\* Mém. Aca-  
dém. 1731.  
P. 417.

XL. Avant de quitter de vûe l'objet présent, il est à propos d'examiner ici, pourquoi un corps mince, tel qu'une feuille de papier, interposé entre l'Aiman & le fer, qu'on lui présente à soutenir, diminue très-considérablement la vertu de l'Aiman; enforte que tel Aiman qui porte deux livres de fer lorsqu'il lui est appliqué immédiatement, en portera à peine une once, s'il y a une simple feuille de papier entre deux: en voici la raison. Le fer, par sa disposition, est propre à réunir les filets de matiere Magnétique; & au moyen de cela, l'Aiman a un grand avantage pour retenir le fer qu'on y applique immédiatement, parce que les filets Magnétiques qui se rendent de l'Aiman dans le fer, sans passer dans l'air, ni à travers aucun autre corps étranger, ne scauroient s'écarter ni se désunir, & que c'est dans leur union que consiste leur force. Mais le papier n'a pas la même propriété que le fer; ses pores présentent des passages en tout sens aux filets de matiere Magnétique, qui, pressés dans l'Aiman, s'écarterent les uns des autres en traversant l'épaisseur du papier; &, quoiqu'après s'être rendus du papier dans le fer, ils s'y réunissent de nouveau, leur

désunion dans l'épaisseur du papier , ne laisse pas de diminuer leur force de beaucoup ; c'est-là leur endroit foible , c'est par-là qu'ils cèdent à la pesanteur du fer , qu'ils eussent aisément porté , s'ils eussent passé immédiatement de l'Aiman dans le fer.

## CHAPITRE IV.

### *De la Direction de l'Aiguille aimantée.*

**XLI.** **L**orsqu'un morceau de fer est aimanté , les petits poils dont ses pores sont hérissés , sont tous ou presque tous couchés dans le même sens , en sorte que la matiere Magnétique ne peut s'y introduire que par un seul bout ; & si ce morceau de fer est disposé de façon à prendre toutes sortes de positions , comme l'est une aiguille de Boussole posée sur son pivot , il est sensible que la matiere Magnétique lui en donnera une conforme à la direction de son courant , parce que tant qu'il feroit dans toute autre position , il ne manqueroit pas d'être agité & baloté par cette matiere , qui heurteroit vainement contre sa superficie , sans pouvoir la pénétrer , & qu'il ne s'arrêteroit que lorsqu'il ne feroit plus obstacle à son courant , c'est-à-dire , lorsque son axe coincideroit avec la ligne que parcourt la matiere Magnétique.

**XLII.** Quoiqu'on s'accorde assez généralement à reconnoître dans la matiere Magnétique , cette propriété de disposer conformément à sa direction tout fer aimanté , & par conséquent tout Aiman , lorsqu'ils sont dans une situation qui leur permet de céder à son courant ; je m'attacherai cependant encore à l'établir ici , en faisant voir qu'elle rend raison le plus naturellement du monde , d'un phénomène qu'on a crû donner atteinte à l'existence du tourbillon Magnétique. Il s'agit d'une espèce de mouvement

L ij

progressif, qu'une pierre d'Aiman qu'on passe sous un carton garni de limaille de fer, communique à cette limaille, & qui est toujours en sens contraire de celui de la pierre, quel que soit celui des poles de cette pierre qui soit l'antérieur. Suivons cette expérience dans toutes les circonstances.

**XLIII.** Si sur un Aiman dont l'axe est dans une position horizontale, on place un carton garni de limaille de fer, en observant de ne le secouer aucunement, les molécules de limaille, qui sont naturellement oblongs, ou qui le deviennent aisément, parce que la matière Magnétique qui les enfile alors, en joint toujours plusieurs ensemble bout à bout; ces molécules, dis-je, s'élevent sur un de leurs bouts en deux endroits différens du carton, qui sont ceux qui répondent aux poles de l'Aiman. On distingue au centre de chacun de ces endroits un point, où le molécule de limaille qui s'y rencontre, est exactement perpendiculaire, tandis que ceux qui sont autour à une certaine distance, se soutiennent sous une inclinaison plus ou moins grande, selon qu'ils en sont plus ou moins éloignés, & dans un sens qui tend à écarter leur extrémité supérieure d'une ligne verticale qui passeroit par ce point. On se mettra au fait de cette disposition de la limaille, en jettant

FIG. XIII.

les yeux sur la Fig. XIII. où les molécules  $E, e$ , dont chacun est au centre d'un de ces endroits qui répondent aux poles de l'Aiman  $P, P$ , sont perpendiculaires au plan du carton  $ML$ , & où les molécules  $A, B, C, D, a, b, c, d$ , qui sont aux environs de ce centre, s'inclinent en dehors, & d'autant plus qu'ils en sont à une plus grande distance.

**XLIV.** La cause de cet effet ne paroitra pas équivoque, pour peu qu'on fasse attention au cours de la matière Magnétique, qui, en sortant par un des poles de la pierre d'Aiman, se divise en plusieurs filets qui s'écartent les uns des autres en forme de balai ou de gerbe, & se réunissent ensuite sous la même forme, pour y entrer par le pole opposé : les divers molécules de limaille ont une position

si conforme à la direction des routes que suivent les divers filets de matiere Magnétique , qu'on reconnoît sensiblement qu'ils la tiennent d'elle.

XLV. Maintenant, si le carton restant immobile, on fait mouvoir la pierre d'Aiman de *L* vers *M*, les molécules de limaille décriront autour de leur bout inférieur des arcs de cercle en sens contraire de *M* vers *L* ; en sorte que les molécules *A*, *a*, par exemple, après s'être relevés peu à peu, jusqu'à devenir perpendiculaires, s'inclineront ensuite de plus en plus vers *L*, à mesure que l'Aiman s'avancera vers *M*. La raison s'en présente d'elle-même ; on voit que ces molécules *A*, *a*, ainsi que les autres, au moyen du transport de la pierre d'un bout du carton à l'autre, se trouvent successivement dans le courant des filets de matiere Magnétique, *PA*, *PB*, *PE*, *PC*, & *Pa*, *Pb*, *Pe*, *Pc*, &c. & doivent en recevoir consécutivement des inclinaisons différentes, conformes à la direction de ces différens filets de matiere Magnétique, & qui sont telles que les bouts supérieurs de ces molécules, sont menés d'avant en arriere de *M* vers *L*.

XLVI. Il est évident que, quel que soit le pole de la pierre d'Aiman qui soit l'antérieur, la direction du mouvement de la limaille doit toujours être la même, & en sens contraire au mouvement de la pierre ; parce que les routes que parcourent les filets de matiere Magnétique de son tourbillon, s'écartent également en forme d'éventail, tant vers le pole d'entrée, que vers le pole de sortie ; & qu'en quelque sens qu'on meuve la pierre, ils se dirigent tant en avant qu'en arriere, sous de semblables degrés d'inclinaison & dans le même ordre.

XLVII. Il résulte nécessairement de mon explication, & l'expérience le confirme, qu'à chaque fois qu'on promene la pierre d'Aiman sous le carton d'un bout à l'autre, tout le mouvement progressif qu'un même molécule de limaille en peut recevoir, ne sçauroit aller au-delà de deux pas, ou de deux demi-révolutions que décrit le molécule ;

L iij



la première, sur l'une de ses extrémités, lorsqu'il se trouve dans la gerbe Magnétique (a) du pôle antérieur de l'Aiman, & la seconde sur l'autre de ses extrémités, lorsqu'il vient à se rencontrer dans la gerbe Magnétique du pôle postérieur de l'Aiman : il est nécessaire pour cela, que l'axe de l'Aiman qu'on passe sous le carton, soit parallèle au plan du carton ; car lorsqu'il lui est perpendiculaire, il n'y a plus que la gerbe Magnétique, du pôle supérieur de l'Aiman, qui s'élève au-dessus du carton, & qui puisse y agir sur la limaille de fer qui y est répandue : aussi dans ce cas, à chaque passage de l'Aiman sous le carton, un même molécule de limaille ne peut s'avancer que d'un pas ; il ne peut décrire qu'une seule demi-révolution autour d'une de ses extrémités, laquelle est aussi toujours en sens contraire à la direction du mouvement de la pierre, quel que soit celui de ses pôles, le Boreal ou l'Austral, qui soit le supérieur.

Fig. XIV.

XLVIII. En tournant cette expérience un peu différemment, j'ai observé une nouvelle espèce de mouvement progressif, que la pierre d'Aiman communique à la limaille de fer, & qui est toujours dans le même sens que le mouvement de la pierre. L'explication que je viens de donner du mouvement progressif de la limaille en sens contraire, s'applique si naturellement à celui-ci, qu'elle en tire un nouveau degré de probabilité. J'ai suspendu au-dessus d'un carton, où j'avois semé de la limaille de fer, une pierre d'Aiman à la distance d'environ trois lignes du carton, en mettant son axe dans une position horizontale ; & j'ai remarqué qu'aux deux endroits du carton, qui répondoient aux pôles de l'Aiman, les molécules de limaille se tenoient élevés sur une de leurs extrémités ; à chacun desquels endroits je distinguois comme un centre, où le molécule qui s'y rencontroit étoit perpendiculaire au plan du carton, & vers lequel, tous ceux qui étoient autour à une certaine

(a) J'appelle Gerbe Magnétique d'un pôle d'un Aiman, le faisceau, l'assemblage des filets de matière Magnétique, qui sont réunis, lorsqu'ils y entrent, & lorsqu'ils en sortent.

distance, s'inclinoient plus ou moins, selon qu'ils en étoient plus ou moins éloignés.

XLIX. L'arrangement de la limaille dans cette expérience, est le même qu'elle prend dans celle où le carton se trouve au-dessus de l'Aiman, avec cette unique différence, que dans celle-là, l'extrémité supérieure des molécules inclinés, tend à s'écarter de celui du centre, au lieu que dans celle où le carton est placé sous l'Aiman, l'extrémité supérieure de ces molécules, s'abaisse vers le molécule du centre, ainsi que le représente la Fig. XIII. où il est aisé de remarquer, que l'inclinaison des molécules *H, I, O, Q, h, i, o, q*, du carton *RS* inférieur à la pierre d'Aiman, quoique contraire à celle des molécules *A, B, C, D, &c.* du carton supérieur *ML*, n'en est pas moins conforme à la direction des routes que parcourent les divers filets de matiere Magnétique, dans le courant desquels ils se trouvent; ou plutôt, que l'une est relative à l'autre, & que ce que cette disposition des molécules *H, I, O, Q, &c.* a de contraire à celle des molécules *A, B, C, D, &c.* vient uniquement des différentes situations des cartons *RS* & *ML*, à l'égard de la pierre, au moyen de laquelle les filets de matiere Magnétique, considérés aux endroits où ils s'élevent au-dessus des cartons, & qui sont ceux où ils rencontrent la limaille, tendent à s'écarter les uns des autres, dans l'expérience où le carton est mis au-dessus de l'Aiman; au lieu qu'ils tendent à se rassembler, dans celle où le carton est placé sous l'Aiman.

L. Aussi, si l'on réunit ces deux expériences sous le même point de vûe, concevant qu'elles ont été faites toutes les deux à la fois, avec la même pierre d'Aiman posée entre les deux cartons, l'on ne peut manquer de s'appercevoir, que les molécules de limaille, tant du carton inférieur que du supérieur, tendent tous par celle de leurs extrémités qui regarde la pierre, vers celui de ses poles aux environs duquel ils se trouvent, & qu'ils s'y dirigent conformément aux routes des filets de matiere Magnétique, qui viennent

tant d'en haut que d'en bas , lesquelles routes , en se rapprochant de plus en plus les unes des autres , vont toutes aboutir de part & d'autre aux poles de l'Aiman.

LI. Si on me demande comment la matiere Magnétique parvient à relever les molécules de limaille , qui naturellement seroient étendus tout de leur long sur le carton , je dirai que , trouvant plus de facilité à se mouvoir dans le fer que dans l'air , elle les traverse dans toute leur longueur : les molécules sont alors aimantés , & ont actuellement des poles comme tout Aiman , par un desquels la matiere Magnétique entre , pour sortir par l'autre : ce qui le confirme , c'est que ,

1°. Ces molécules sont attirés jusques sur l'Aiman , & se détachent du carton pour s'aller coller au pole de la pierre , lorsqu'ils n'en sont qu'à une certaine distance , du moins ceux du carton inférieur ; car pour ceux du carton supérieur , il n'y a pas moyen , parce qu'il se trouve interposé entre la pierre & la limaille.

2°. Il arrive souvent , qu'au moyen de l'Aiman placé au-dessus ou au-dessous du carton , plusieurs molécules s'ajustent les uns au bout des autres , & en composent ainsi un de plusieurs pièces.

3°. Si l'on présente à ceux de ces molécules qui se tiennent élevés sur un de leurs bouts , aux environs de l'un des poles de l'Aiman , le pole opposé d'un autre Aiman , ils se dresseront davantage ; & si on leur présente le pole de même nature de cet autre Aiman , ils se coucheront sur le carton ; ce qui est une marque sensible que ces molécules ont alors des poles comme tout Aiman , lesquels furent aussi ceux de même nom , & recherchent ceux de dénomination différente.

LII. Je passe aux circonstances de la dernière expérience , qui concernent la nouvelle espèce de mouvement progressif de la limaille , que j'ai annoncé. J'ai conduit la pierre d'Aiman de *S* vers *R* , en la soutenant toujours à la même distance , au-dessus du carton , d'environ  $\frac{1}{4}$  de pouce ; & alors

& alors les molécules de limaille ont décrit autour de leur bout inférieur, des demi-cercles aussi de *S* en *R*, dans le même sens, en sorte que le molécule *H*, par exemple, après s'être redressé peu à peu, s'est ensuite incliné de plus en plus vers *R*, à mesure que l'Aiman s'avançoit du même côté *R*. Il est visible que ce molécule *H*, ( & il en est de même des autres, ) dans les diverses positions qu'il a eues consécutivement, n'a fait que se diriger conformément aux routes *PH*, *PI*, *PN*, *PO*, &c. que parcourent les divers filets de matière Magnétique, dans le courant desquels il s'est rencontré successivement, au moyen du transport de la pierre.

LIII. Au reste, il est indifférent pour le résultat de cette expérience, que le pôle Austral de l'Aiman soit l'antérieur, ou que ce soit le Boreal; le mouvement de la limaille se fait toujours constamment dans le sens de celui de l'Aiman, & on sentira que cela doit être ainsi, si on se rappelle ici ce que j'ai observé, art. XLVI. au sujet de son mouvement en sens contraire dans d'autres circonstances. Je me contenterai aussi de remarquer, que le mouvement progressif de la limaille, en même sens que celui de la pierre d'Aiman qui le lui communique, ne consiste qu'en une demi-révolution de chaque molécule, autour d'une de ses extrémités, à chaque passage de l'Aiman d'un bout du carton à l'autre, lorsque son axe est vertical, & en deux, au plus, lorsque l'axe de l'Aiman est horizontal. L'analogie de ces faits avec les précédens, peut seule les faire prévoir d'avance, & elle me dispense de m'arrêter à en rendre raison.

LIV. Des phénomènes aussi contraires en apparence que le sont ces mouvemens progressifs de la limaille, l'un en sens contraire, & l'autre en même sens que celui de l'Aiman, qui les occasionne, & qui paroissent si évidemment dépendre d'une cause commune, à sçavoir de la propriété par laquelle la matière Magnétique tend à diriger, selon son courant, tout fer qui est déjà aimanté, ou qu'elle peut aisément aimanter, doivent être assurément regardés

comme de nouvelles preuves de la réalité de cette propriété. On sent bien, & l'expérience le confirme, qu'elle doit être plus sensible dans la matière de tout tourbillon particulier, que dans celle du tourbillon général, puisque la matière de tout tourbillon particulier étant plus rassemblée, doit agir \* plus efficacement ; cependant les effets dont est capable la matière du tourbillon général à cet égard, sont très-considérables, sur-tout si on les considère du côté de l'utilité que nous en tirons dans l'usage de la Boussole ; ses impressions sont suffisantes pour faire mouvoir sur son pivot une aiguille de fer aimantée, & pour la forcer à prendre en un instant, une position telle que la direction de son courant l'exige.

\* Voyez article 6.

LV. On sçait qu'on a observé depuis long-tems, que par toute la terre la position où se met l'aiguille aimantée, est à peu près du Sud au Nord ; ce qui, en nous découvrant qu'un Atmosphère de matière Magnétique enveloppe notre globe, dénote en même tems qu'elle circule d'un des poles à l'autre. Descartes a conçu le tourbillon double, d'autres Philosophes l'ont jugé simple, mais sans pouvoir déterminer précisément duquel des deux poles partoit la matière Magnétique, pour se rendre à l'autre. Nous devons à la sagacité de M. Du Fay, la solution de cette question : je rapporterai quelque chose des expériences sur lesquelles il s'est décidé. \* Il a approché d'une aiguille de Boussole, une tringle de fer, qui n'étoit aucunement aimantée, & qu'il soutenoit dans une position horizontale ; ce fer n'attira aucun des bouts de l'aiguille : dans cette situation, il abbaissa le bout de la barre qui étoit le plus éloigné de l'aiguille, & celui qui en étoit près, attira subitement le Nord de l'aiguille ; il éleva ensuite le bout qu'il avoit d'abord abbaissé, & l'autre qui restoit toujours immobile, attira le Sud de l'aiguille. Il retourna la barre de bout en bout, de façon qu'il tint proche de l'aiguille, celui qui en étoit d'abord éloigné, & les résultats de l'expérience qu'il recommença, furent les mêmes. On reconnoît ici, que

\* Mém. Acad. 1728. p. 356.

c'est la simple situation de la tringle, qui donne lieu aux petits poils qui tapissent ses pores, (a) de s'abbattre & de se coucher de haut en bas, ce qui en détermine les poles; parce que c'est en conséquence de sa situation, que les petits poils tournent leurs pointes vers un bout ou vers l'autre, & par conséquent la matière Magnétique entre dans la tringle, par celui de ses bouts qui attire le Nord de l'aiguille: car il est évident que la matière Magnétique doit trouver plus de facilité à s'introduire par le bout qui lui présente les petits poils renversés, que par celui qui lui en présente les pointes: c'est donc par le Nord de l'aiguille aimantée, que la matière Magnétique en sort, & par conséquent la direction du courant du tourbillon général, est du Sud au Nord. Le pole Austral est le point d'où part la matière Magnétique, & le pole Boreal, celui vers lequel elle s'achemine. (a) Je croirois allonger inutilement ce Discours, si je rapportois ici les autres expériences, sur lesquelles M. Du Fay a appuyé son sentiment, au sujet de l'unité du courant Magnétique, & de sa direction: elles sont assez connues.

LVI. Si de ces réflexions générales, on vient à considérer une aiguille de Bouffole, on concevra que sa substance doit être parsemée d'une infinité de pores, qui, se trouvant bout-à-bout les uns des autres, forment des espèces de canaux, paralleles à la longueur de l'aiguille, & qui percent d'un bout à l'autre; & que les petits poils qui tapissent ses pores sont tous renversés dans le même sens, & ont leur pointe tournée vers le bout de l'aiguille qui se dirige au Nord.

LVII. Il n'est pas de mon sujet, d'examiner quelle est la meilleure façon d'aimanter une aiguille de Bouffole; il me suffit d'avoir fait entendre, que pour qu'elle soit propre à nous indiquer le cours de la matière Magnétique, il est nécessaire qu'elle soit aimantée; c'est-à-dire, que la

(a) Il y a dans les *Transf. Philos.* 1732. une expérience curieuse, qui établit la même chose, p. 93. 94. & 95. de la traduction Française.

disposition de ses pores, soit telle qu'il est marqué dans l'article précédent; car c'est ce qu'on entend par fer aimanté, ne suffisant pas pour cela qu'il soit inondé de matière Magnétique, il faut que celle qui y circule ait un cours uniforme.

· LVIII. Pour se convaincre sensiblement que l'aiguille aimantée se dirige conformément au cours de la matière du tourbillon général, lorsqu'elle se trouve dans son courant, il n'y a qu'à la mettre dans le tourbillon particulier d'un Aiman, & on voit qu'elle prend toujours une situation conforme au cours de ce tourbillon, tel que le trace la limaille de fer; de sorte que si autour d'un Aiman, on range plusieurs aiguilles de Bouffole, chacune sur son pivot, elles se mettront toutes dans des positions différentes.

## CHAPITRE V.

### *De la Déclinaison de l'Aiguille aimantée.*

LIX. **P**EU après qu'on eut commencé de faire usage de la Bouffole, on s'aperçut que l'aiguille aimantée ne se dispoit presque nulle part exactement dans la ligne de direction des poles du mouvement diurne, & qu'elle s'en écartoit même différemment en différens endroits de la terre, tantôt vers l'Est, tantôt vers l'Ouest; c'est ce qu'on appella la déclinaison ou la variation de l'aiguille aimantée, & c'est ce qu'on pouvoit appeller aussi la déclinaison de la matière du tourbillon général, puisque la direction de son cours décide par-tout de celle de l'aiguille aimantée. La matière Magnétique, selon M. Røhault, \* ne discontinue de circuler dans le plan des méridiens, que parce que, passant par des endroits où il se rencontre des mines de fer, la facilité qu'elle trouve à s'y mouvoir, l'oblige de se détourner de son chemin; & en effet, il est naturel de présumer, qu'elle se porte en

\* Traité de  
Physique, par-  
tie 3. chap. 8.  
art. 58.

affluence vers les endroits qui sont fournis de mines de fer, & qu'elle s'y ramasse davantage que par-tout ailleurs, ce qui ne peut qu'occasionner quelque déviation dans son courant. Cependant, je suis fort éloigné de croire, que ce soit là l'unique cause, ni même la principale, du phénomène que nous examinons. Le rapport qu'il m'a paru avoir avec le résultat de quelques expériences que je vais rapporter, m'a donné lieu de reconnoître qu'il dépendoit de plusieurs autres causes, dont on ne s'est pas avisé jusques à présent, & qui y contribuent infiniment plus, que celle à qui M. Røhault l'a uniquement attribué.

LX. On sçait que lorsqu'on fème de la limaille de fer avec un poudrier, sur un carton placé au-dessus d'une pierre d'Aiman, la limaille s'arrange en une infinité de filets, qui, se réunissant vers les poles de la pierre, s'écartent de part & d'autre de son axe; & que ceux de ces filets qui sont les plus éloignés de l'axe, sont ceux dont la courbure est la plus considérable: si tout près de cet Aiman, on en place un autre de façon que leurs axes soient à peu près parallèles entre eux, & disposés dans le même sens; c'est-à-dire, que leurs poles de même nom soient tournés vers le même côté, ceux des filets de limaille, qui auparavant s'étendoient au loin sur le carton, du côté où l'on a mis le second Aiman, seront alors plus resserrés, plus rapprochés de l'axe de l'Aiman, & moins courbés; ils ne formeront plus que des lignes presque droites.

LXI. Il suit de là, que les tourbillons des deux Aimans ne se croisent pas, mais qu'ils se repoussent, ou s'empêchent réciproquement de s'écarter du côté qu'ils s'avoisinent.

LXII. Quand on varie un peu cette expérience, en y employant des pierres d'Aiman d'inégale force; qu'on en met ou 2, ou 3, ou 4, ou un plus grand nombre encore sous le carton, & qu'on les tient diversement éloignées les unes des autres, & tantôt plus, & tantôt moins; on aperçoit à chaque fois des différences dans l'arrangement de la limaille, qui dépendent des circonstances combinées.

M iij.



de la quantité respective de matiere Magnétique , qui tourbillonne autour des aimans , de leur éloignement , & du parallélisme plus ou moins parfait de leurs axes : mais ce qui est important à remarquer , c'est qu'il n'arrive guères , & peut-être jamais , que les filets de limaille soient disposés uniformément sur le carton ; au contraire , leur arrangement indique presque toujours qu'il s'en faut de beaucoup que les filets de matiere Magnétique des tourbillons contigus parcourent des routes paralleles entre elles. On y voit que tandis que les uns se rendent d'un pole à l'autre dans la direction de l'axe , les autres s'en écartent ; qu'ils déclinent indifféremment de part & d'autre , & sous différens angles ; qu'un même filet ne suit pas constamment la même route , & que la plûpart , après en avoir pris une oblique , vers la gauche , par exemple , s'en détournent par degrés , ou pour s'avancer parallèlement à l'axe de l'aiman du tourbillon duquel ils font partie , ou pour se jeter vers la droite. Enfin les variétés qu'une même expérience nous offre à cet égard , sont telles quelquefois , qu'on ne sçauroit les détailler exactement ; aussi est-il à propos de faire ces sortes d'observations par soi-même , pour en avoir une idée complete.

**LXIII.** Cette non-uniformité des routes que suivent les filets Magnétiques qui tourbillonnent autour de ces Aimans , ainsi rapprochés , & que la limaille de fer nous trace toujours fidèlement , nous représente au naturel , quoiqu'en petit , celle des routes que décrit la matiere du tourbillon général , & de laquelle nous devons la découverte aux déclinaisons différentes de l'aiguille aimantée ; & de-là je suis très-porté à croire que les causes du phénomène dans la matiere du tourbillon général , & dans celle des tourbillons particuliers sont semblables : ainsi je ne puis m'empêcher de m'écarter un peu de l'hypothèse commune , selon laquelle on considère le globe de la terre comme un seul & unique Aiman , ou pour mieux dire , de faire à cette hypothèse un changement , assez leger dans le fonds ,

J'imagine donc, que la terre pourroit renfermer dans son sein, plusieurs grands Aimans, qui seroient ramassés autour de son axe, & dont les poles Austraux aboutiroient aux environs de son pole de même nom, & les Boreaux aux environs de l'opposé. Au reste, j'ose dire que cette supposition n'a rien que de naturel; car qu'est-ce qui est le plus difficile à concevoir, ou que la terre a un seul Aiman pour son noyau, ou qu'il est formé de plusieurs Aimans réunis ensemble? Examinons à présent si elle rend suffisamment raison du phénomène qui produit les variations de la Boussole.

LXIV. Les tourbillons de ces grands Aimans, qui doivent \* se repousser réciproquement, se servant de barrières ou de digues les uns aux autres, ne balayeront chacun qu'une certaine portion du globe; mais tous ensemble, ils lui formeront une Atmosphère complete, quoique composés, s'il est permis de m'exprimer ainsi, de pieces rapportées. De plus si, comme on le peut supposer légitimement, les axes de ces Aimans ne sont pas parallèles entre eux; qu'il y en ait qui soient plus écartés l'un de l'autre vers un pole que vers l'opposé, & que leurs tourbillons n'étant pas également fournis de matiere Magnétique, il y en ait de forts & de foibles; il arrivera nécessairement aux filets de matiere Magnétique de ces tourbillons, ce que nous avons observé dans l'art. LXII. à l'égard de ceux des tourbillons des pierres d'Aiman, qui se trouvent dans de pareilles circonstances; les routes qu'ils parcourront, ne seront rien moins qu'uniformes; & si quelques-unes se dirigent dans le plan des méridiens, les autres y seront inclinés en différens sens, & sous différens angles, & seront susceptibles de toutes les inflexions & de tous les changemens de direction, propres à donner à l'aiguille aimantée des positions variées presque à l'infini.

LXV. En effet, si quelqu'un de ces grands Aimans n'a pas son axe parallèle à celui de la terre, la matiere de son tourbillon ne sçauroit circuler dans la direction de ses

\* Art. LX.  
& LXI.

méridiens; & si l'axe de l'Aiman qui l'avoisine, se trouve parallèle ou moins oblique à celui de la terre, leurs tourbillons se heurteront en se côtoyant : de même si les tourbillons de deux de ces Aimans qui seront voisins, sont inégalement fournis de matière Magnétique, le fort repoussera le foible, & d'autant plus, que les deux Aimans seront plus près l'un de l'autre. Il est évident que ce sont là autant de causes qui influent nécessairement sur la direction de la matière du tourbillon général; & on fera moins étonné des variétés infinies qu'elles y occasionnent, si on fait attention que ces causes sont susceptibles d'une multiplicité prodigieuse de combinaisons, soit par elles-mêmes, soit par le concours des mines de fer & des roches d'Aimans\*, qui se rencontrent assez fréquemment en différens endroits de la terre, & de certains écoulemens Magnétiques particuliers, dont je vais parler.

Art. LIX.

LXVI. Des expériences assez connues, nous apprennent que les passages par où la matière Magnétique s'introduit dans une pierre d'Aiman, & ceux par où elle en sort, ne sont pas tous réunis vers les deux extrémités de l'Aiman, qualifiées du nom de poles : toute l'étendue de sa surface en est parsemée, & une partie de la matière du tourbillon de la pierre, circule par ces passages isolés. Il en doit être de même à l'égard des grands Aimans qui forment le noyau de la terre; & nous avons des motifs de n'en point douter, dans les phénomènes de l'inclinaison de l'aiguille aimantée, comme nous le verrons ci-après : la matière du tourbillon général ne part donc pas toute du pôle Austral, & elle n'est pas non plus toute rassemblée lorsqu'elle arrive au pôle Boreal; mais au-delà de l'Equateur, elle doit sourdre de toutes parts, & s'élever de la surface de la terre en une infinité de filets, qui se vont joindre au tourbillon général, lesquels s'en détachent ensuite en deçà de l'Equateur, les uns plus près, les autres plus loin, & vont enfiler les passages dont la surface des grands Aimans est pour ainsi dire criblée: or ces filets Magnétiques,  
soit

soit quand ils vont grossir le courant du tourbillon général, soit quand ils l'abandonnent, ne peuvent manquer de produire quelque changement dans la direction des filets du tourbillon à côté desquels ils commencent ou ils cessent de circuler.

LXVII. Comme j'ai déduit la nouvelle hypothèse que j'expose, de la comparaison que j'ai faite des résultats des expériences mentionnées dans l'Art. LXII. avec les variations de l'aiguille aimantée; j'ai été curieux d'éprouver si le cours de la matière des tourbillons de quelques pierres d'Aiman, disposés convenablement, pouvoit représenter d'une façon un peu exacte, le cours de la matière du tourbillon général. Dans cette vûe, j'ai tracé sur le papier les routes que parcourt la matière du tourbillon général sur certaines portions du globe, selon les observations & la carte de M. Halley, comme on peut le voir Planche II. & III. & j'ai eu le plaisir ensuite de réussir à trouver des pierres d'Aiman, qui, placées à côté l'une de l'autre, donnoient aux filets de la limaille de fer, répandue sur un carton placé au-dessus, des dispositions assez conformes à celle des lignes ponctuées en points ronds dans les Planches II. & III.

LXVIII. Il est à remarquer que dans ces Planches les courbes tracées en points longs, indiquent les lieux, où la déclinaison de l'aiguille aimantée est de la quantité de degrés marqués à chaque bout des courbes; & que les lignes ponctuées en points ronds, représentent le cours des filets Magnétiques du tourbillon général, tel qu'il doit être selon les observations de M. Halley: le filet Magnétique qui part, par exemple, du point *A*, fait un angle de  $25^{\circ}$  vers l'Orient, avec le plan du méridien, qui passe par le point *A*. PLANC. II.  
 A mesure qu'il s'avance, il coupe de moins en moins obliquement les méridiens qu'il rencontre, de sorte qu'en *B*, sa déclinaison du méridien n'est plus que de  $20^{\circ}$ . Elle diminue encore à chaque pas jusques vers *C*, où elle devient nulle, & où le filet Magnétique parcourt exactement

Prix. 1744.

N

le plan du méridien jusques vers *D*, où il commence à s'écarter vers l'Occident. En *E*, sa déclinaison est déjà de  $5^{\circ}$ ; elle augmente ensuite de plus en plus, & en *F* elle est de  $25^{\circ}$ . Les deux cartes que je joins ici, sont copiées d'après celle qui est à la fin des *Elementa Physica*, de M. Muschenbroeck, édition de Leyde, 1734.

LXIX. Si on avoit des observations de la variation de l'aiguille aimantée en nombre suffisant, & qu'on traçât le cours de la matière Magnétique sur un globe terrestre, comme je l'ai fait sur ces cartes particulières, & conformément aux observations, on démêleroit, je crois, assez exactement, les différens endroits des poles, d'où part & où se rend la matière de chacun des tourbillons particuliers, qui composent le tourbillon commun du globe, & on en pourroit inferer le nombre des grands Aimans, qui en occupent l'intérieur.

LXX. Je passe à d'autres particularités de la déclinaison de l'aiguille aimantée. La quantité de l'angle que la ligne de direction de l'aiguille, ou, ce qui est la même chose, du cours de la matière du tourbillon général, fait avec la ligne méridienne, n'est fixe peut-être nulle part. On n'a pas été long-tems sans observer, que dans un même lieu l'aiguille aimantée change de position de tems à autre; que dans ceux où l'on n'avoit d'abord apperçu aucune déclinaison, on a commencé à en remarquer une au bout de quelques années, & que dans d'autres, où la variation avoit été déterminée d'une certaine quantité, cette quantité a augmenté ou diminué dans la suite.

LXXI. Ces observations ont donné lieu à un système ingénieux & assez séduisant. Selon ce système \* l'axe de la partie Magnétique de la terre ou de l'Aiman, qui en occupe l'intérieur, est incliné à celui du mouvement diurne; en sorte que les poles *H* & *F* de l'Aiman se trouvent éloignés de quelques degrés des poles *A* & *B* du monde: comme cet Aiman *HGF* est entraîné par le mouvement de la révolution journalière de la terre; il tourne

\* Cours de  
Phyc. d'Hart-  
foeker, l. 3.  
c. 5. art. 58.

autour de l'axe  $AB$  de cette révolution; mais il ne s'avance pas aussi vite que la croute du globe qui l'enveloppe, & à son égard il reste en arriere tous les ans de quelques minutes. Les poles de l'Aiman décrivent par conséquent des cercles  $HC$ ,  $FD$ , autour des poles du monde, & à contre-sens du mouvement diurne, lesquels cercles ils acheveront de parcourir en un certain nombre d'années, qu'on pourroit même déterminer, si on avoit des observations en quantité suffisante, parce qu'on suppose leur mouvement régulier & uniforme. Il résulte de-là, que la partie Magnétique de la terre a ses méridiens particuliers, qui changent continuellement de situation, par rapport aux méridiens terrestres proprement dits, & que la variation successive de l'aiguille aimantée ayant une cause régulière & constante, elle ne change qu'avec quelque sorte de proportion, & qu'au bout d'un certain tems, elle doit partout redevenir la même qu'elle étoit au commencement de sa période.

LXXII. Il seroit fort à souhaiter que ce système, que nous devons, je crois, à M. Halley, fût celui de la Nature; il seroit d'une grande utilité dans la recherche des longitudes: car le tems du retour périodique d'un pole de l'Aiman au point d'où il est parti, étant une fois connu, on pourroit se servir des anciennes observations de la déclinaison de l'aiguille aimantée, pour constater la longitude des lieux, où la quantité de la déclinaison auroit été déterminée. Mais est-il bien sûr qu'on n'ait pas été ébloui par les avantages que ce système promet? En effet, outre que ce mouvement périodique qu'on attribue à la partie Magnétique de la terre, est sujet à de grandes difficultés, la prétendue régularité de la variation successive de l'aiguille aimantée n'est rien moins qu'établie par les observations; ou pour mieux dire, les conséquences immédiates de ce système, & les résultats des observations s'accordent assez mal ensemble, & au point qu'ils paroissent au contraire dépendre d'une cause très-irrégulière.

N ij

FIG. XV.

1°. Les observations qu'on a faites la même année à Louvo, à Macao, & au Cap de Bonne Espérance, qui devoient donner une même position des poles Magnétiques, \* en donnoient de toutes différentes. La déclinaison n'a changé à Quebec que de 30' dans l'espace de 37 ans; & elle n'a pas varié du tout au Cap de Horn, dans un intervalle de 100 années.

2°. Elle n'augmente ni ne diminue également d'une année à l'autre, étant quelquefois la même deux ou trois années consécutives, & avançant après cela beaucoup plus en un an, qu'elle n'a accoutumé de faire en deux.

Id. *ibid.*

3°. Dans un intervalle de tems très-court, elle avance dans un sens, retourne en arriere; & à Paris, elle étoit au mois d'Avril 1735, de 15° 45' Nord-Ouest, & au mois d'Octobre de la même année, de 14° 55'; en 1736, de 15° 40'; & en 1737, de 14° 45'. M. Muschenbroeck \* a aussi remarqué à Utrecht, que la déclinaison y augmentoit & y diminuoit tour à tour dans le même mois.

4°. Les méridiens Magnétiques, & les méridiens proprement dits, étant concentriques, la déclinaison dans deux lieux de la terre diamétralement opposés, devroit être en différens sens, mais de la même quantité. Ainsi, si à l'un de ces endroits elle est de 10° vers l'Est, elle devroit être à l'autre de 10° vers l'Ouest: cependant, selon la carte de M. Halley, qui marque la déclinaison pour l'année 1700, la déclinaison sur l'Equateur à 165° de longitude, à compter du méridien de Londres, est de 11°, tandis qu'elle est nulle sur le même cercle à la longitude de 345°, quoique ce soient deux points du globe diamétralement opposés: de même à 130° de longitude, latitude méridionale de 60°, la déclinaison est d'environ 4°, & elle est de 25° au point diamétralement opposé, qui est à 310° de longitude, de latitude Septentrionale de 60°. Je me borne à ces deux exemples, dont il ne sera pas difficile de grossir le nombre, à ceux qui voudront se donner la peine d'examiner la carte de M. Halley.

\* Cours de Phys. d'Hartsoeker, l. 3. ch. 5. Art. 59.

\* Trans. Phil. 1732. n° 425.

5°. Il ne faut que jetter les yeux sur celles où j'ai tracé le cours de la matière du tourbillon général, conformément à ses observations, pour se convaincre que la matière Magnétique n'est aucunement assujettie à circuler dans un même plan, & qu'elle en change presque à chaque instant, parcourant des courbes à double courbure : que deviennent donc les prétendus méridiens Magnétiques ?

LXXIII. En vain allégueroit-on qu'il se rencontre en différens endroits de la terre des mines de fer, & des rochers d'Aiman, qui sont autant de causes particulières, qui s'opposent à l'action de la cause générale, & doivent la troubler; & que, tandis que la cause générale tend à diriger l'aiguille vers un certain endroit, la cause particulière peut prédominer, la tenir dirigée vers un autre pendant un certain tems, & lâcher prise ensuite tout-à-coup. La plupart des effets que je viens de détailler, sont si considérables, qu'il n'est nullement probable que ces causes particulières pussent les produire, si la cause générale étoit réellement telle qu'on la suppose : ces causes particulières sont même absolument insuffisantes, pour rendre raison de ceux énoncés au n° 3. de l'article précédent. Aussi M. Hartfoeker, qui a adopté ce système, & qui s'empresse à le soutenir, ne laisse-t-il pas de douter encore de la régularité du mouvement des prétendus méridiens Magnétiques autour de leurs poles, & de soupçonner d'après certaines observations, \* qu'il y a plusieurs croutes Magnétiques, qui se meuvent séparément en dedans du globe terrestre, & avec des mouvemens assez irréguliers.

\* Cours de  
Phys. d'Hart-  
foeker, l. 3.  
ch. 5. Art. 60.

LXXIV. Il me reste à présent à discuter, si l'explication qu'on peut donner, selon mon hypothèse, de la variation successive & continuelle de l'aiguille aimantée est plus juste, plus naturelle, & plus vraisemblable. J'ai établi, que ses différentes déclinaisons en différens endroits de la terre, résultoient de la combinaison de certaines causes mentionnées dans les art. LXV. & LXVI. & si ces causes sont sujettes à s'alterer, à se renouveler, à essuyer enfin divers

N iij



changemens, comme on ne sçauroit refuser de l'admettre, il est évident que la combinaison de ces causes ne fera pas toujours la même, qu'elle aura ses vicissitudes, & qu'ainsi dans un endroit quelconque, la déclinaison peut varier considérablement de tems à autre.

1°. Les grands Aimans qui forment le noyau de la terre, peuvent se fortifier & s'affoiblir, devenir plus abondans en matiere Magnétique, & en perdre : les volcans, qui, selon l'énumération du P. Kirker & de Thomas Ittigius, montent à 3 ou 400 dans le monde connu, peuvent calciner quelques parties de ces Aimans; & à cela, ces Aimans courent risque d'y gagner autant que d'y perdre : ils sont dans le cas d'une pierre d'Aiman que l'on taille; si on la décharge de quelques parties superflues, qui nuisoient à la circulation de la matiere Magnétique, son tourbillon en acquiert de nouvelle, parce que les passages sont devenus plus ouverts & plus libres; mais si on lui enleve des parties qui soient purement Magnétiques, ce sont autant de canaux perdus pour la matiere de son tourbillon, qui en devient moins abondant. L'eau qui se filtre dans la terre, est aussi capable d'altérer la vertu des grands Aimans; elle charie avec elle une infinité de corps métalliques & de toute espèce, qui, par son moyen, peuvent s'insinuer dans les pores des Aimans, & causer du dérangement dans les petits poils qui tapissent ses pores; & d'un autre côté, elle est en état d'enlever d'autour de ces Aimans les corps étrangers qui bouchent leurs pores, & empêchent la circulation de la matiere Magnétique : l'humidité peut aussi rouiller ces Aimans en quelques-unes de leurs parties, & d'autres causes peuvent en emporter la rouille.

2°. Les mines de fer, les rochers d'Aiman, qui sont parsemés sur la surface de la terre, peuvent s'alterer & se corrompre; & il peut s'en former en des endroits où il n'y en avoit pas eu auparavant.

3°. Les passages isolés, dont nous avons dit, art. LXVI. que les grands Aimans étoient percés dans toute leur

longueur, peuvent se boucher, & il peut s'en ouvrir de nouveaux par les mêmes raisons que nous venons d'alléguer.

4°. Je ferai mention dans le chapitre suivant, d'une autre cause, qui influe beaucoup sur la déclinaison, & qui est propre à y produire des variations subites & continuelles.

LXXV. Je ne parle point des changemens qui résulteroient dans la déclinaison de l'aiguille aimantée, au cas que la position respective des axes des grands Aimans cessât d'être la même, & que celui de quelqu'un d'entre eux vînt à être déplacé, au point d'être plus ou moins oblique à ceux des autres qu'il ne l'étoit auparavant: de pareils dérangemens ne pourroient se faire, sans que la terre ne fût vivement ébranlée, & tout au plus peut-on imaginer qu'il a pû y en avoir de pareils au tems du déluge.

LXXVI. Les causes de la déclinaison de l'aiguille aimantée étant une fois reconnues pour variables & susceptibles d'altération, la vicissitude continuelle de la déclinaison n'a plus rien qui surprenne; elle en est la suite nécessaire; il est vrai qu'on en peut conclure aussi, qu'elle sera fort éloignée d'être régulière & uniforme; mais les résultats des observations nous obligent-ils jusques à présent d'en avoir une autre idée?

LXXVII. Je remarquerai en passant, que diverses aiguilles aimantées, observées dans le même instant & dans un même lieu, ne donnent pas toujours précisément la même déclinaison, ce qui vient ou de leur construction, ou de la disposition des parties internes du fer, comme il paroît par une expérience de M. de la Hire, rapportée dans l'Histoire de l'Académie 1717. p. 5. & par ce qu'ont observé M<sup>rs</sup>. Bouguer (a) & Du Fay \*.

Articles  
LXXXVII. &  
LXXXVIII.

\* Mém. Acad.  
1731. P. 420.

(a) Méthode d'observer en mer la déclinaison de la Bouffole, p. 1. §. 1.



---



---

## CHAPITRE VI.

### *De l'Inclinaison de l'Aiguille aimantée.*

**LXXVIII.** L'Inclinaison de l'aiguille aimantée, est son écartement de la ligne horifontale parallèle à l'horifon sous l'Equateur ; elle s'y incline tant en deçà qu'en delà, dans un sens qui abaisse celle de ses pointes qui se dirige vers le pole le plus voisin, & d'autant plus qu'elle en est plus près : c'est pourquoi les Pilotes, pour conserver l'aiguille de leur Bouffole en équilibre, chargent, lorsqu'ils sont dans les climats Septentrionaux, le bout qui se dirige au Sud, d'un morceau de cire ; ils en diminuent le volume à mesure qu'ils approchent de l'Equateur, où ils l'ôtent tout-à-fait, & le transportent ensuite vers le bout opposé, quand ils s'avancent davantage vers le pole Méridional.

**LXXIX.** Ces faits annoncent que la ligne que décrit la matiere du tourbillon général, en se rendant d'un pole de la terre à l'autre, est diversément inclinée à l'horifon, par rapport aux différens endroits de sa surface ; & les observations s'accordent à constater, que, toutes choses égales d'ailleurs, l'angle qu'elle fait avec la ligne horifontale, est d'autant plus grand, que le lieu où on en mesure la quantité est moins éloigné de l'un des poles, & qu'aux environs de l'Equateur cet angle est nul ; en sorte qu'on en juge que vers les poles, la matiere Magnétique se dirige perpendiculairement à l'horifon. Pour connoître avec précision la quantité de son inclinaison, on se sert d'une aiguille suspendue de façon qu'elle tourne librement sur deux petits tourillons, comme le fléau d'une balance.

**LXXX.** Une expérience des plus simples, donne une idée très-exacte de ce phénomène. On n'a qu'à semer avec un poudrier, de la limaille de fer sur une pierre d'Aiman ;  
la

la plupart des molécules de limaille qui s'y attachent, se dressent sur une de leurs extrémités : au-dessus des poles de la pierre ils sont perpendiculaires ; & à proportion qu'ils sont plus proches de son Equateur , leur bout supérieur est plus incliné vers cet Equateur , aux environs duquel ceux qui se rencontrent , sont toujours étendus & couchés tout de leur long : la position de ces divers molécules de limaille est si conforme à la direction des routes qui suivent les divers filets de matiere Magnétique , qui tourbillonnent autour de l'Aiman, qu'il est évident qu'ils la tiennent d'elle ; & on en peut inférer , que l'inclinaison des routes que parcourt la matiere du tourbillon général , décide pareillement des différentes inclinaisons de l'Aiguille aimantée, observées en différens endroits de la terre : la conformité des effets que nous venons de comparer , est une preuve non équivoque , que des causes semblables les produisent.

LXXXI. La quantité de l'inclinaison de l'aiguille aimantée, n'est pas égale en tout tems dans le même endroit : elle est sujette à des variations comme la déclinaison ; & ces variations sont même assez considérables. M. Muschenbroeck \* a observé à Utrecht en 1730 , une différence de  $8^{\circ} 45'$  , dans l'inclinaison d'un jour à l'autre.

\* *Trans. Phil.*  
n<sup>o</sup>. 426.

LXXXII. Il n'est pas douteux , que les causes qui opèrent les changemens qu'on observe dans la déclinaison de l'aiguille aimantée , & que nous avons détaillées ci-devant , art. LXXIV. n'influent aussi sur ceux dont son inclinaison est susceptible ; les filets Magnétiques qui circulent par les passages isolés , dont nous avons remarqué dans l'article LXVI. que les grands Aimans , qui forment le noyau de la terre , étoient parsemés dans toute leur longueur , sont propres sur-tout à produire de grandes variations dans l'inclinaison de l'aiguille aimantée , au moment qu'ils commencent à enfilier ces passages , ou qu'ils cessent d'y passer.

Voyez article 74. n<sup>o</sup>. 3.

LXXXIII. Cependant , comme M. Muschenbroeck s'est apperçu , d'après les observations qu'il a faites sur la

*Prix. 1744.*

○

\* *Trans. Phil.*  
n<sup>o</sup>. 425. & 426.

déclinaison & l'inclinaison en 1729. 1730. & 1731. \* que la déclinaison ne changeoit pas en même tems que l'inclinaison, & que l'une paroïssoit quelquefois indépendante de l'autre; il y a apparence qu'outre les causes que je viens d'indiquer, il y en a encore quelqu'autre qui contribue aux variations de l'inclinaison, laquelle n'influe pas toujours nécessairement sur la déclinaison, du moins dans le même lieu, & c'est à quoi certaine constitution de l'air peut être très-propre. Je m'explique.

LXXXIV. On sçait que le tonnerre a quelque espèce d'influence sur le Magnétisme : on peut réduire ses effets à cet égard à quatre principaux. Il communique le Magnétisme au fer qui n'est pas aimanté: il le fait perdre tout-à-coup à des aiguilles de Bouffole : il en change la direction, & il les rend folles. Les trois premiers de ces effets dépendent vraisemblablement des changemens qu'il occasionne dans la disposition des parties internes du fer : & on peut dire que dans le premier cas, il couche dans un même sens les petits poils qui tapissent les pores du fer, & qui étoient dans une confusion parfaite; que dans le second, il brouille ou détruit ces petits poils, auparavant disposés régulièrement; & qu'enfin dans le troisième cas, il les renverse à contre-sens, & leur fait présenter leurs pointes vers le bout opposé à celui vers lequel elles étoient tournées. Mais quant au quatrième cas, qui est celui où les aiguilles deviennent folles dans un lieu où le tonnerre tombe, on sent qu'il ne résulte pas des dérangemens que ce météore peut causer dans la substance du fer, mais bien plutôt de l'agitation actuelle de la matière Magnétique qui environne l'aiguille.

LXXXV. Il paroît par diverses expériences curieuses de Chimie, \* que des particules de fer entrent dans la composition des exhalaisons dont la fermentation produit le tonnerre & les éclairs; \* aussi quelques Naturalistes prétendent-ils \* que ces météores sont formés par des exhalaisons de pyrites : ces sortes d'exhalaisons sont un milieu, où, à cause des particules de fer & de pyrites qui y

\* *Trans. Phil.*  
n<sup>o</sup>. 442. art. 6.

\* *Hist. Acad.*  
1728. P. 36.

\* *Essai sur les effets de l'air,*  
par Arbuthnot, ch. VIII.  
art. 2.

abondent, la matiere Magnétique se meut avec plus de facilité que dans l'air ordinaire, & où par conséquent, celle qui les avoisine, doit se diriger & se rassembler : & comme les éclairs, le bruit du tonnerre, & la chute de la foudre, supposent nécessairement une violente effervescence dans les exhalaisons ; il est sensible qu'en attirant alors la matiere Magnétique, qui est aux environs à une certaine distance, elles ne peuvent manquer de lui communiquer de l'agitation où elles sont elles-mêmes : ainsi lorsque ces exhalaisons fermentent assez près de la surface de la terre, la matiere Magnétique y doit être extrêmement agitée, & disposée par conséquent à faire pirouetter sans cesse sur son pivot l'aiguille d'une Bouffole, sur laquelle elle est à portée d'agir.

LXXXVI. Ces exhalaisons qui sont violemment agitées dans certaines circonstances, le sont moins, ou point du tout dans d'autres, & leurs parties peuvent être dans un parfait repos les unes à l'égard des autres : elles voguent dans l'Atmosphère, qui se charge d'ingrédients de toute espèce, où elles se soutiennent plus ou moins haut, selon que l'air est plus ou moins condensé, & où le vent les promene çà & là, à son gré : la matiere Magnétique qui se trouve aux environs de celles de ces exhalaisons qui abondent en particules de fer, s'y dirige comme elle feroit vers une mine de fer ; de sorte que lorsque de telles exhalaisons descendent à portée d'un lieu quelconque de la terre, le courant de matiere Magnétique qui y circule, doit tendre plus ou moins vers ces exhalaisons, & changer d'inclinaison par rapport à la ligne horizontale, ce qui produit nécessairement une variation dans l'inclinaison de l'aiguille aimantée.

LXXXVII. On voit que ces exhalaisons chargées de particules de fer, peuvent changer l'inclinaison de l'aiguille aimantée, dans le lieu sur le méridien Magnétique duquel elles s'arrêtent, sans y diminuer ou augmenter aucunement sa déclinaison ; mais qu'en même tems elles peuvent

O ij

influer sur la déclinaison de l'aiguille, dans les lieux qui sont à droite & à gauche sur le parallele du premier, puisque la matiere Magnétique qui circule par ces endroits-là, peut se diriger vers ces exhalaisons, auquel cas elle changera de direction, & circulera dans un azimut différent; de façon que le bout de l'aiguille qui se dirige au Nord, sera amené vers l'Est, dans un lieu qui sera à l'Ouest à l'égard de ces exhalaisons, & vers l'Ouest au contraire, dans un lieu qui sera à l'Est de ces mêmes exhalaisons.

LXXXVIII. Ces fortes d'exhalaisons contribuent surtout à ces variations journalieres dans la déclinaison de l'aiguille aimantée, que M. Muschenbroeck \* comparé à un mouvement d'oscillation, au moyen duquel l'aiguille ne fait qu'aller & revenir successivement sur ses pas.

LXXXIX. Il résulte de ce qui précède, que les variations dans l'inclinaison de l'aiguille aimantée, doivent être considérables dans les endroits où il y a des mines de fer, & où en même tems il souffle de grands vents: à ce moyen, l'Atmosphère peut y être chargée, dans un tems, d'une grande quantité d'exhalaisons ferrugineuses, que le vent peut ensuite balayer & dissiper tout-à-coup; ce qui ne sçauroit manquer d'occasionner un changement subit & remarquable, dans l'inclinaison de l'aiguille aimantée.



\* Trans. Phil.  
n<sup>o</sup>. 425.

---



---

## A P P E N D I C E.

**D**E ce que la terre a un tourbillon de matière Magnétique, ne sommes-nous pas en droit de présumer que la lune en a un, aussi bien que les autres planètes de notre système? cette conjecture est fondée sur l'analogie: peut-être le tourbillon Magnétique que nous pouvons supposer au soleil, fournit-il à l'entretien de celui de chaque planète, & agit-il à leur égard comme nous avons dit ailleurs, que le tourbillon général de la terre agissoit à l'égard des tourbillons particuliers des pierres d'Aiman: on expliqueroit aisément par-là, comment la matière Magnétique tourbillonne autour du globe de la terre, au lieu de suivre son chemin tout droit après en être sortie par le pôle Austral. La raison que M. Rohault en donne, n'est rien moins que convaincante, même selon ses principes.

En conséquence de notre supposition, les tourbillons Magnétiques des planètes, pourroient se trouver dans le cas d'influer réciproquement & en différentes façons les uns sur les autres; la lune sur-tout, qui est toujours assez voisine de la terre, pourroit contribuer aux variations de l'inclinaison de l'aiguille aimantée, comme il paroît par l'expérience suivante.

J'ai mis au-dessus d'une pierre d'Aiman, un carton garni de limaille de fer; tout autour des endroits du carton qui répondoient aux poles de la pierre, & à une certaine distance, les molécules de limaille se tenoient élevés sur une de leurs extrémités, les uns plus, les autres moins obliquement: je soutins ensuite au-dessus de la limaille ainsi disposée, un autre Aiman à trois ou quatre lignes de distance l'axe parallèle au premier, mais tourné à contre sens, c'est-à-dire, de façon que les poles de différens noms des Aimans, regardoient vers le même côté; & alors les

O iij



molécules de limaille se font dressés encore davantage ; la position de chacun d'eux approchoit plus de la perpendiculaire que celle qu'il avoit auparavant ; & quand j'ai retourné le second Aiman bout pour bout, continuant à le soutenir encore au-dessus du premier, le contraire est arrivé ; les molécules se font inclinés. Dans le premier cas de cette expérience, la matiere Magnétique, qui, en forçant du pole Austral de l'un des Aimans, trouve à portée le pole Boreal de l'autre, va s'y rendre directement en partie, ce qui fait qu'elle se dirige moins obliquement à l'égard du plan du carton ; mais dans le second cas, les tourbillons des deux Aimans n'étant pas à même de se confondre, ils se repoussent mutuellement, & ils sont obligés de circuler par des routes plus inclinées au carton ; l'inclinaison des filets Magnétiques, décide toujours de celle des molécules de limaille.

Ainsi, si les axes des tourbillons Magnétiques de la terre & de la lune étant à peu près paralleles, étoient disposés de façon que leurs poles correspondans fussent de dénomination différente, leurs tourbillons pourroient se mêler en partie ; & plus la terre s'approcheroit de la lune, & plus l'angle que la ligne de direction de la matiere Magnétique forme avec la ligne horisontale seroit grand : si au contraire, leurs poles correspondans étoient de même nom, leurs tourbillons se repousseroient réciproquement, & plus la terre seroit proche de la lune, & plus la ligne que parcourt la matiere Magnétique s'inclinerait à l'horisontale.

Dans l'un & l'autre cas, la quantité de l'inclinaison de l'aiguille aimantée devoit, toutes choses égales d'ailleurs, être différente, lorsque la lune seroit au méridien du lieu où on l'observeroit, que lorsqu'elle ne commenceroit qu'à s'élever sur son horison ; dans le tems de la plus grande déclinaison Méridionale de cette planète, que dans celui de sa plus grande déclinaison Septentrionale ; & enfin dans les sizigies, que dans les quadratures. Cependant il pourroit se faire, que ces différences fussent peu sensibles, soit

parce qu'elles feroient peu considérables par elles-mêmes, soit parce qu'elles feroient compliquées avec celles qui résulteroient des autres causes, qui influent sur les variations de l'inclinaison de l'aiguille aimantée, & que j'ai détaillées dans mon Essai sur l'Aiman.

*Corrections & Additions envoyées par l'Auteur ,  
après l'impression de cette Pièce.*

N<sup>o</sup>. XXX. page 76. l. 14. au lieu de ces mots : *parce qu'elle agit alors sur chacun d'eux séparément*, & le reste jusqu'à l'alineæ. *Lisez* : Ce qui est analogue aux résultats des expériences que M. de Buffon a entrepris, pour connoître la force du bois. De deux pièces de bois de Chêne, de 10 pieds de longueur, l'une qui avoit 4 pouces d'équarrissage, a rompu sous une charge de 3600 livres; & l'autre qui avoit 8 pouces d'équarrissage, n'a rompu que sous une charge de 27700 livres. Si la cohérence des fibres entre elles, ne contribuoit pas à augmenter leur force, la dernière de ces deux pièces n'auroit pû, ce semble, résister à une charge de 14400 livres, quadruple de 3600 livres, puisqu'elle n'avoit que quatre fois autant de fibres que la première pièce. Je puis citer encore en faveur de l'analogie que j'allégué, la conclusion que M. Du Hamel a tirée de diverses expériences qu'il a faites aussi sur la force du bois, à sçavoir qu'elle dépend beaucoup de la cohérence des fibres ligneuses, les unes avec les autres; enforte qu'une pièce de bois formée de fibres ligneuses très-fortes, mais qui feroient peu adhérentes les unes avec les autres, pourroit rompre sous un poids, que supporteroit une autre pièce dont les fibres seroient plus foibles, mais mieux unies.

Mém. Acad.  
dém. 1741.  
p. 328. 332.

Mém. Acad.  
1742. p. 340.

N<sup>o</sup>. LXXI. page 98. l. 29. *Remplacez le contenu dans les N<sup>o</sup>. LXXI. & LXXII. par ce qui suit.*

LXXI Ces observations ont donné lieu à un système ingénieux & assez séduisant. Selon ce système, l'axe de la partie Magnétique de la terre, de l'Aiman qui en occupe

l'intérieur , est incliné à l'axe du mouvement diurne ; & le premier est plus court que le second , dont il est séparé ; de sorte que les poles Magnétiques ne sont pas directement vis-à-vis l'un de l'autre , dans une ligne qui passe par le centre de la terre , & qu'ils se trouvent éloignés de quelques degrés des poles du monde , & sans doute inégalement chacun du sien respectif. Comme cet Aiman est entraîné par le mouvement de la révolution journaliere de la terre , il tourne autour de l'axe de cette révolution ; mais il ne s'avance pas aussi vite que la croute du globe qui l'enveloppe , & à son égard il reste en arriere tous les ans de quelques minutes. Par conséquent les poles de l'Aiman ont un mouvement particulier , & à contre-sens du mouvement diurne autour des poles du monde , dont ils se rapprochent & s'éloignent tour à tour ; & la période de leur révolution pourroit même être déterminée , si on avoit des observations en quantité suffisante : car on est porté à croire leur mouvement continu & uniforme. Il résulte de-là , que la partie Magnétique de la terre a ses méridiens particuliers , qui changent continuellement de situation , par rapport aux méridiens terrestres proprement dits ; & que la variation successive de l'aiguille aimantée , ayant une cause réguliere & constante , elle ne change qu'avec quelque sorte de proportion , & qu'au bout d'un certain tems elle doit par-tout redevenir la même qu'elle étoit au commencement de sa période.

LXXII. Il seroit fort à souhaiter que ce système , que M<sup>rs</sup> Hartfoeker\* & Biester\*\* ont arrangé d'après M. Halley , fût celui de la Nature : il seroit d'une grande utilité dans la recherche des longitudes ; car le tems du retour périodique d'un pole de l'Aiman au point dont il est parti , étant une fois connu , on pourroit se servir des anciennes observations de la déclinaison de l'aiguille aimantée , pour constater la longitude des lieux où la quantité de la déclinaison auroit été déterminée : mais est-il bien sûr qu'on n'ait pas été ébloui par les avantages que ce système promet ? En effet,

\* Cours de  
Phyf. p. 218.  
\*\* Essai de  
Phyf. de Muf-  
chenbroeck.  
p. 308.

effet , outre que ce mouvement périodique qu'on attribue à la partie Magnétique de la terre, est sujet à de grandes difficultés, la prétendue régularité de la variation successive de l'aiguille aimantée, n'est rien moins qu'établie par les observations ; ou pour mieux dire , les conséquences immédiates de ce système, & les résultats des observations s'accordent mal ensemble , & au point que ceux-ci paroissent au contraire dépendre d'une cause très-irrégulière.

1°. Les observations faites la même année à Louvo , à Macao , & au Cap de bonne Espérance, qui devroient donner une même position des poles Magnétiques, en donnent de toutes différentes. La déclinaison n'a pas varié du tout au Cap de Horn dans un intervalle de 100 années : elle n'a changé à Quebec que de 30' dans l'espace de 37 ans ; & en 1730 , c'est-à-dire 30 ans après la construction de la Carte de M. Halley , on l'a trouvée de 42° dans la Baye d'Hudson , où M. Halley l'avoit marquée de 25°. seulement.

Cours de  
Phys. d'Hart-  
soeker, l. 3.  
ch. 5. Art. 59.

Préface de  
l'Essai de Phy-  
sique de Mus-  
chenbroeck.

2°. Elle n'augmente ni ne diminue également d'une année à l'autre , étant quelquefois la même deux ou trois années consécutives , & avançant après cela beaucoup plus en un an , qu'elle n'a accoutumé de faire en deux.

Cours de  
Phys. d'Hart-  
soeker, l. 3.  
c. 5. art. 59.

3°. Dans un intervalle de tems très-court , elle avance dans un sens, retourne en arrière , revient sur ses pas , &c. A Paris , elle étoit au mois d'Avril 1735 , de 15° 45' Nord-Ouest , & au mois d'Octobre de la même année , de 14° 55' ; en 1736 , de 15° 40' ; & en 1737 , de 14° 45'. M. Muschenbroeck \* a observé à Utrecht, que la déclinaison y augmentoit & y diminuoit tour à tour dans le même mois.

Trans. Phil.  
1732. n° 425.

Mém. Acad.  
1700. p. 8.

4°. Le même M. Muschenbroeck a fait remarquer, que si la déclinaison augmentoit régulièrement, elle devroit être en même tems plus grande en Laponie qu'en Hollande, en Hollande qu'en France, & en France que sur les côtes Occidentales d'Afrique : ce qui ne s'accorde

Préface de  
l'Essai de Phy-  
sique de Mus-  
chenbroeck.

Prix. 1744.

P

nullement avec les dernières observations. Car en 1737. la déclinaison de l'aiguille aimantée, étoit à Torneo en Laponie, de . . . . . 5° 5' Nord-Ouest.

à Utrecht, de . . . . . 13 30

à Paris, de . . . . . 14 25

& à la hauteur de Larache,

ville du Royaume de Fez,

de . . . . . 14 42

5°. La déclinaison dont la progression dans tous les lieux placés du même côté de la ligne exempte de déclinaison, devoit être dans le même sens, paroît cependant augmenter vers les côtes d'Afrique, tandis qu'elle diminue en Hollande & en Laponie. En 1738 elle étoit de 15° dans l'Isle de sainte Marie, l'une des Açôres, où en 1700 M. Halley l'avoit marquée de 6°; & devant Larache, de 1737 à 1738, elle avoit augmenté de 6', au lieu qu'à Utrecht elle n'étoit que de 12° 15', après y avoir été observée de 15° quatre ou cinq ans auparavant, & que nous venons de voir qu'à Torneo, où en 1695 M. Bilberg l'avoit trouvée de 7°, elle n'étoit plus en 1737 que de 5° 5', par une observation dûe à M. de Maupertuis.

6°. Il ne faut que jeter les yeux sur les cartes où j'ai tracé le cours de la matière du tourbillon général, conformément aux observations de M. Halley, pour se convaincre que les divers filets de la matière Magnétique du tourbillon général ne sont rien moins qu'affujettis à circuler dans un même plan, & qu'ils en changent continuellement, parcourant des courbes à double courbure. Que deviennent donc les prétendus méridiens Magnétiques ?



NOUVEAUX PRINCIPES

D E

MECHANIQUE

E T

D E P H Y S I Q U E ,

TENDANS A EXPLIQUER

*La Nature & les Propriétés de l'Aiman.*

Pour concourir au Prix de l'année 1746.

*Cette Piece est une des trois entre lesquelles le  
Prix Triple a été partagé en 1746.*

---

*In sententia permaneto, enimvero nisi alia vicerit melior. Cic.*

Par Mrs. Daniel BERNOULLI & Jean BERNOULLI,

P ij

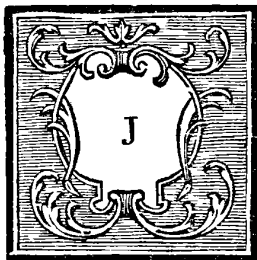




NOUVEAUX PRINCIPES  
DE  
MECHANIQUE  
ET  
DE PHYSIQUE,  
TENDANS A EXPLIQUER  
*La Nature & les Propriétés de l'Aiman ;*  
Pour concourir au Prix de l'Année 1746.

*In sententia permaneto, enimvero nisi alia vicerit melior. Cic.*

§. I.



AI peine à croire que l'Académie, en proposant d'expliquer la nature & les propriétés de l'Aiman, se soit flattée d'une découverte à laquelle tant de Philosophes ont travaillé si inutilement, avec une application qui n'a abouti qu'à les persuader, que ce seroit toujours un sujet impénétrable à l'esprit humain. Quant à moi, quoique je ne désespere pas que cette

P. iij



question ne soit éclaircie un jour, je crois cependant, que nous en sommes encore bien éloignés, & l'on ne sçauroit nier qu'elle ne soit une des plus difficiles que nous ayons en matiere de Physique.

Malgré cette difficulté du sujet proposé, son importance justifie suffisamment le choix de l'Académie, puisqu'un seul pas dont on s'assureroit d'avoir avancé vers la connoissance de l'Aiman, vaudroit plus, sans contredit, que toutes les découvertes sûres, mais stériles, qu'on pourroit faire.

C'est cette réflexion qui m'encourage à proposer mes idées sur le sujet en question; & quoique je ne me flatte nullement de donner une Théorie de l'Aiman, qui soit à l'abri de toute objection, je croirai néanmoins avoir répondu en quelque façon aux vûes de l'Académie, si ces idées ont le bonheur de lui paroître plus probables, que ce qui a été dit jusques ici sur le même sujet.

§. 2. J'ai commencé mes recherches sur l'Aiman par la lecture du Systême de Descartes, à laquelle j'ai fait succéder celle des Auteurs les plus célèbres qui en ont traité après lui. Je n'ai pû refuser mon admiration aux conceptions tout-à-fait heureuses du premier, ni à la sagacité des autres à faire de nouvelles expériences, & à découvrir de nouvelles propriétés de l'Aiman; mais il est vrai qu'à cela près, je n'ai trouvé dans ces derniers aucune idée différente de celles de M. Descartes, qui eût le moindre air de probabilité.

Il n'est pas à douter que si ce fondateur de la vraie Philosophie eût eu une connoissance suffisante de la Méchanique, & des loix générales du mouvement, il n'eût poussé beaucoup plus loin le systême du monde, & qu'il n'eût peut-être rien laissé à désirer à la théorie de l'Aiman; mais par malheur ce grand Philosophe étoit presque entièrement dépourvû de ces connoissances, qui ont été poussées dans notre siècle, au plus haut point de perfection.

C'est donc en joignant le secours des méchaniques à celui des principes de Descartes, que nous allons tâcher

d'éclaircir notre question. Pour cet effet, nous établirons d'abord les principes & les hypothèses, d'où les propriétés de l'Aiman nous paroissent pouvoir être déduites le plus naturellement.

§. 3. *Tout se fait dans le monde, par la matiere & le mouvement.*

Ce principe de Descartes a quelque chose de frappant, & il paroît si clair au premier abord, qu'on peut s'étonner qu'il ait été contesté, je ne dirai pas par quelques-uns des anciens Philosophes, mais par nos plus grands Philosophes modernes, tels que Newton, & un grand nombre d'autres que son autorité a entraînés, & qui tous ont introduit le principe de l'attraction mutuelle de la matiere, existante & innée dans la matiere même, & produite uniquement par la volonté immédiate & efficace de Dieu.

Ce principe ne passe-t-il point notre raison? & pouvons-nous concevoir que deux corps agissent l'un sur l'autre, malgré un vuide parfait qui les sépare? On auroit tort cependant de vouloir nier tout ce que l'entendement humain a de la peine à comprendre, & dont la réalité ne laisse pas que de se faire sentir par les effets: il y a même un argument qui paroît prouver non-seulement la possibilité, mais la réalité même du principe de l'attraction mutuelle & universelle de la matiere; c'est que s'il n'y avoit dans le monde que de la matiere & du mouvement, il semble que le monde ne pourroit pas subsister, quelque mouvement qu'on voulût concevoir dans la matiere, soit circulaire, comme feroit celui des tourbillons, soit rectiligne, comme des torrens centraux, soit un mouvement d'agitation, dans lequel les parties de la matiere s'entrechoquant, vont & reviennent réciproquement, ou enfin tel autre mouvement qu'il soit possible d'imaginer: il est certain que la matiere qui compose cet Univers, devroit toujours s'écarter, & par conséquent se raréfier de plus en plus, & enfin se dissiper. Cette conséquence est certaine, selon les loix universellement reconnues de la mécanique; & on

ne leve point la difficulté, en disant que le monde est d'une étendue infinie, puisque le défaut de permanence subsistera toujours.

Cette réflexion ne semble-t-elle pas prouver, ou que les loix de la mécanique ne sont pas universelles, ou qu'il y a des substances immatérielles qui agissent sur la matière, ou enfin, que la matière est douée de cette faculté incompréhensible de s'attirer mutuellement, & que l'état de permanence consiste dans un équilibre entre l'effort de la matière à s'étendre résultant de son mouvement, quel qu'il soit, & l'attraction mutuelle ?

Pour moi, j'avoue que je n'ai pû me satisfaire entièrement sur cette objection, que je me suis formée contre le principe Cartésien; & j'ai été surpris de voir qu'elle faisoit encore plus d'impression sur plusieurs zélés partisans de ce principe à qui je l'avois proposée.

Mais quoi qu'il en soit, comme la Nature n'agit certainement que par des loix générales, on lui feroit grand tort, à mon avis, si on vouloit diversifier le principe de l'attraction pour chaque corps, & y concevoir des loix différentes. Je ne puis donc que rejeter d'abord ce principe dans le cas dont il s'agit, comme n'étant d'aucune utilité pour expliquer la nature de l'Aiman, me persuadant qu'elle ne doit être tirée que de la matière & du mouvement.

Mais la grande difficulté est d'indiquer un mouvement qui soit permanent, & qui puisse produire, selon les loix de la Mécanique, tous les phénomènes que l'expérience nous fait voir dans l'Aiman.

*§. 4. Il peut y avoir une matière subtile qui pénètre librement de certains corps, sans en pénétrer d'autres, ou sans les pénétrer que sous une certaine direction.*

Cette hypothèse n'a rien qu'on ne puisse admettre sans peine; elle est même confirmée par tant d'expériences, qu'il n'est presque pas permis de douter de sa vérité. Je me sens bien plus de répugnance contre l'hypothèse de la matière striée ou canelée en double sens, & des doubles conduits

conduits Magnétiques canelés de même; elle me paroît avoir quelque chose de forcé : car en effet, n'est-ce pas, pour ainsi dire, faire violence à la Nature, si sage & si économique, que de supposer qu'elle ait formé toute cette matière canelée & ces conduits Magnétiques, uniquement pour nous donner le spectacle des différens jeux de l'Aiman? Je croirois encore, qu'il y a une matière subtile qui se meut dans la direction des méridiens Magnétiques. J'avoue que cette hypothèse peut paroître un peu singulière, & que la seule possibilité de ce mouvement ne suffit nullement pour l'adopter; mais on verra dans la suite, les raisons qui me paroissent le rendre probable. Il en est de même de cette autre proposition que j'avance; sçavoir que je crois, qu'il se forme un tourbillon de matière subtile autour de l'Aiman. Il s'agit, dis-je, d'expliquer selon les loix de la Mécanique, comment se forment ces tourbillons; car de se forger pour l'explication de chaque phénomène, un mouvement particulier & une nouvelle matière, ce seroit pécher autant contre les loix générales de la Nature, que de supposer autant de loix dans l'attraction des corps, qu'on croiroit en avoir besoin pour expliquer tous les phénomènes.

Voici donc quelles sont mes idées, sur les hypothèses que je viens de proposer.

*S. 5. Je considère d'abord la matière subtile Magnétique; comme un simple fluide élastique, semblable à l'air, sans y supposer ni tourbillons ni torrens centraux, pour ne pas multiplier les hypothèses sans nécessité.*

Il ne fera pas hors de propos de faire voir à ce sujet, en quoi consiste la fluidité & l'élasticité des fluides. Je crois donc comme démontré, que l'air est un amas de petits corps agités en tout sens; non contigus, mais laissant de grands intervalles entre eux. Ces petits corpuscules s'entrechoquant continuellement, changent les uns la direction des autres; & cette agitation confuse doit sans doute être entretenue par un fluide beaucoup plus subtile, qui traverse l'air. On voit bien que cette idée de l'air répond

Prix. 1744.

Q

parfaitement à toutes ses propriétés : elle explique en quoi consiste son élasticité, sa qualité de souffrir de grandes dilatations & condensations ; pourquoi son élasticité est à peu près en raison réciproque de son volume ; pourquoi cette élasticité est augmentée par la chaleur, qui cause une plus grande agitation dans les parties de l'air ; & enfin, pourquoi cette élasticité est en raison doublée, de la vitesse avec laquelle les parties sont agitées : je puis même démontrer, sur certaines expériences qu'on a faites, quelle doit être la vitesse absolue dans ce mouvement d'agitation, pour un degré de chaleur donné ; quelle est la grosseur de ces parties par rapport à leur intervalle moyen ; en quel volume l'air peut être condensé par une force infinie ; quelle est la vitesse du son ; quel doit être le son absolu d'un tuyau d'orgue d'une hauteur donnée, &c. & tous ces résultats ont un caractère de vérité, qui frappe & qui confirme merveilleusement l'idée que je viens de donner des fluides élastiques tels que l'air.

§. 6. Ce mouvement intestin dont je viens de parler, existe, à mon avis, dans tous les fluides, sans quoi je ne vois pas comment on pourroit expliquer leur évaporation, leur ébullition, les précipitations, les dissolutions & d'autres phénomènes de cette nature : je ne sçaurois même concevoir de parfaite fluidité, sans ce mouvement intestin, au moyen duquel les parties cèdent sans la moindre résistance, si ce n'est celle qui provient de l'inertie, & qui est nulle, lorsqu'il ne s'agit que de déplacer les parties sans aucune vitesse sensible.

C'est ce mouvement intestin qui est causé que les parties ne sont pas aussi serrées qu'elles pourroient l'être, & que le fluide occupe toujours d'autant plus de volume, que les parties sont agitées par une plus grande chaleur.

Chaque fluide différent, admet naturellement une vitesse différente dans l'agitation de ses parties ; & c'est certainement de la proportion de ces différentes vitesses, qu'il faut déduire un grand nombre de phénomènes, qu'on sçait

arriver par le mélange des fluides & plusieurs autres propriétés, que je ne m'arrêterai point à expliquer ici.

§. 7. Ces principes, qui me paroissent incontestables, sont d'une très-grande utilité dans la Physique-Mécanique. Mais la même cause qui produit & entretient cette agitation des parties dans les fluides, ne peut que produire aussi le même effet sur les corps solides, particulièrement sur ceux qui sont durs, roides, & élastiques de leur nature, quoiqu'avec quelque différence. Je n'entens pas ici cette agitation qui peut être dans les fluides, renfermés dans les pores des corps solides, mais celle que je crois exister dans les fibres mêmes, dont le corps solide est composé; ces fibres sont sans doute dans un état de tension ou d'inflexion violente plus ou moins grande, suivant la nature des corps. L'exemple de ces petits corps de verre, qu'on appelle *Lachrymas Hollandicas*, ou *Larmes de Hollande*, en est une preuve sensible, puisque le moindre brin en étant rompu, le reste se brise si bien de soi-même, qu'il ne forme plus qu'une poudre impalpable; ce qui ne peut être produit que par la restitution des parties du verre, qui étoient dans un état de contrainte dans la larme entière, & qui se débandent toutes à la fois, aussi-tôt qu'elle est entamée. Je pourrois citer une infinité d'autres phénomènes, qui prouvent cet état de contrainte dans les parties solides de plusieurs corps.

Or, il est certain que le reste étant égal, plus les parties sont contraintes, plus elles seront agitées rapidement; de même qu'une corde fait ses vibrations avec d'autant plus de vitesse, qu'elle est tendue davantage. La structure des corps sera donc cause, que les agitations se feront plus ou moins vite: si cependant, la cause qui produit & entretient ces agitations change, les excursions des parties du corps peuvent devenir plus ou moins grandes; mais il y a apparence qu'elles demeurent toujours isochrones, parce que la tension ou compression, ou telle autre contrainte qu'on voudra supposer, demeure toujours la même. C'est de

Q ij

l'augmentation ou de la diminution de ces agitations qui résulte sans doute la dilatation & la condensation des corps solides, causées par la chaleur & le froid ; c'est pourquoi les corps qui ont toutes leurs fibres parallèles, ne souffrent presque aucun changement en longueur, & qu'ils en souffrent beaucoup en largeur.

§. 8. Nous voyons cette agitation ou ce tremouffement, se produire dans tous les corps bandés & arrêtés dans tel courant que l'on voudra, soit d'eau, soit d'air, soit de tout autre fluide ; & il faudroit être bien peu versé dans la Physique expérimentale, pour ne l'avoir pas remarqué. Il semble que la nature évite le repos constant & parfait, & que ce que nous appellons ordinairement équilibre, ne consiste que dans des allées & des venues réciproques, imperceptibles & égales. Tous les corps sont extrêmement susceptibles de vibrations réciproques ; l'air, qui passe à travers un long tuyau d'orgues, & dont l'agitation est presque insensible, ne laisse pas de produire un son, & puis de faire trembler toute une Eglise, & tout ce qui y est renfermé.

§. 9. Les torrents même tendent aussi à prendre un mouvement intestin, qui est un mouvement d'ondulation, comme plusieurs expériences nous en convainquent. Le sifflement causé par des vents violents, quoique formés & égaux, ce sifflement, dis-je, n'est autre chose qu'un ondoïement, pour ainsi dire, de l'air, qui consiste en ce que les couches d'air sont alternativement condensées & dilatées, pendant que le vent les emporte ; plus le sifflement fait un ton aigu, & plus les couches d'air agitées sont minces, & si le ton étoit *C Sol Ut*, les couches d'air seroient épaisses d'environ un pied.

§. 10. *Les corps, soit fluides, soit solides, agissent d'autant plus efficacement les uns sur les autres, que les agitations intestines sont plus harmonieuses entre elles.* C'est la raison pour laquelle on casse un verre avec la voix, lorsqu'elle est forte, & unisone. La Chimie nous apprend, qu'il y a des fluides, qui n'agissent sur de certains corps, que sous un certain

degré de chaleur ; & ce degré de chaleur est sans doute celui que demande l'harmonie entre les agitations intestinales du fluide & du solide. On ne sçauroit tirer de certains tons du Cor de Chasse, & de plusieurs autres instrumens, ni même de la Trompette marine, sçavoir lorsque les deux parties de la corde ne peuvent faire des vibrations harmonieuses ; tout cela s'explique fort aisément par ce que nous venons de dire.

On peut encore remarquer que les vibrations harmonieuses sont plus disposées à se continuer, lorsqu'elles subsistent une fois, qu'à être excitées : on continuera, par exemple, sur une flûte, un ton entonné avec telle embouchure & tel soufflé, qui ne seroient pas encore assez propres pour le produire.

Tous ces principes sont si conformes à la nature des choses & aux vraies loix de la Mécanique, qu'ils ne me paroissent pas avoir besoin d'une plus grande déduction ; & nous serions bienheureux, si de semblables hypothèses suffisoient pour expliquer tout ce qui regarde la nature de l'Aiman : cependant, j'espère d'en faire sentir l'importance pour ce sujet, & d'en pousser le mécanisme plus loin qu'on ne l'a fait encore :

§. 11. La matiere subtile que nous employerons, n'est pas sans doute une matiere particuliere, destinée uniquement à produire les opérations mystérieuses de l'Aiman : on ne sçauroit l'avancer, sans supposer la Nature extrêmement prodigue : il me semble donc, que cette matiere subtile doit être fort répandue, & faire une partie considérable du système du monde. Il seroit difficile de déterminer si elle remplit le système du soleil, ou seulement celui de la terre ; mais pour ne pas multiplier les êtres sans nécessité, j'aime mieux adopter la premiere de ces deux opinions que la dernière. Le soleil a une Atmosphère fluide & élastique, de même que notre terre & tous les corps célestes ; mais l'Atmosphère de la terre est certainement inutile pour expliquer toutes les propriétés de l'Aiman, & l'éther,

Q.iiij.



suivant moi, doit être censé faire partie du système solaire. Il faudra donc recourir à l'Atmosphère du soleil, & y chercher cette matière subtile, que nous appellerons *Magnétique*, qui puisse être la cause des propriétés de l'Aiman. Ce n'est pas que notre système demande absolument cette hypothèse, & nous ne l'adoptons que par le principe d'une sage économie, que la Nature observe constamment.

§. 12. J'ai prévenu le Lecteur sur le paradoxe de cette proposition, que j'ai avancée sur le quatrième article, qu'il y a une matière subtile qui se meut dans la direction des méridiens Magnétiques. Presque tous les Physiciens ont senti, à la vérité, la nécessité de ce mouvement; mais l'hypothèse ne m'en paroît pas moins libre, si on ne fait voir en même tems de quelle façon ce mouvement peut se conserver. En effet, peut-on le concevoir, à moins qu'on ne voie une cause qui l'entretienne continuellement? Si ce mouvement étoit *primitif*, c'est à-dire, s'il ne faisoit que naître, je suis bien persuadé qu'il ne sçauroit subsister par lui-même; ainsi, pour rendre raison de ce mouvement, il est absolument nécessaire d'en faire un mouvement résultant d'une cause primitive & permanente, qui l'entretienne perpétuellement; & c'est ce que je vais tâcher d'établir dans les articles suivans.

§. 13. Je ne considérerai d'abord aucun mouvement local dans le fluide Magnétique, & n'y attacherai que l'idée de l'élasticité, telle que nous la connoissons dans l'air. Il est très-vraisemblable que les Atmosphères des corps célestes sont toutes douées de cette élasticité; l'énorme vitesse de la lumière, est une preuve que cette matière fait un fluide extrêmement élastique; & si on en connoissoit la densité, on en pourroit déterminer l'élasticité, par le rapport de la vitesse de la lumière à celle du son. Si l'on suppose la densité de l'air = 1, & celle de l'éther =  $n$ ; l'élasticité de l'air aussi = 1, & celle de l'éther =  $m$ ; ce rapport entre la vitesse du son & celle de la lumière, donne à peu près  $n = 640000000000 m$ ; quand on supposeroit

donc l'éther un million de fois plus rare que l'air, son élasticité seroit encore 640000 fois plus grande que celle de l'air. On peut remarquer sur-tout ; que quelle que soit la valeur de  $m$  & de  $n$ , l'agitation des parties que doit causer l'élasticité de l'éther, doit être 500000 de fois plus rapide que celle que doit produire l'élasticité de l'air, c'est-à-dire, d'autant plus grande, que la vitesse de la lumière surpasse celle du son ; cette proportion peut se démontrer mécaniquement.

§. 14. Examinons présentement quelle structure il convient de supposer dans l'Aiman & dans le fer, pour pouvoir expliquer la cause du torrent Magnétique dans la direction des méridiens, & les effets de ce torrent, qui consistent dans les propriétés mutuelles de ces corps.

*Je conçois donc l'Aiman comme un corps composé de fibres tendues, élastiques & parallèles, agitées continuellement d'un mouvement très-rapide, réciproque & ondoyant.* Ce mouvement se manifeste aux yeux, par exemple, dans les cordes de musique tendues, & particulièrement dans les lames élastiques, sur lesquelles on frappe pour en tirer un son, & dans lesquelles je puis démontrer ce mouvement *très-rapide, réciproque & ondoyant*, par des calculs & par une infinité d'expériences, qui s'accordent avec une exactitude merveilleuse à le prouver. (*Voyez l'art. VIII.*)

Je suis persuadé de ce mouvement universel dans tous les corps, indépendamment de l'Aiman en particulier ; & c'est sans doute par son moyen, que le suc nourricier est poussé jusqu'aux extrémités des plus hauts arbres, des plus hautes montagnes & des rochers, qu'on sçait croître comme les végétaux ; d'ailleurs il est trop conforme aux principes de mécanique, pour être revoué en doute.

§. 15. *Les fibres qui composent l'Aiman, peuvent laisser entre elles des intervalles ou des cavités, que je suppose remplies du fluide Magnétique.*

Cette hypothèse est encore non-seulement possible, ce qui nous suffiroit ; mais elle est tout-à-fait vraisemblable,

à cause de l'extrême subtilité du fluide Magnétique.

Maintenant une de ces cavités, ou de ces cellules, étant resserrée par le mouvement ondoyant des fibres, sa voisine est nécessairement dilatée, & ainsi *le fluide est chassé de la première dans la seconde* ; il n'y a rien là qu'on ne conçoive avec la dernière facilité ; mais je demande que l'on conçoive de plus, *que le retour du fluide de la seconde cellule à la première, ne se fasse pas aussi librement que s'étoit fait le premier passage.*

Cette hypothèse peut être expliquée en différentes manières, toutes très-naturelles. J'en indiquerai une qui me paroît la plus vraisemblable.

On peut s'imaginer le dedans des fibres comme velu ou couvert d'une espèce de valvules, ou de soupapes, ou de quoi que ce soit qui puisse en faire la fonction, & empêcher que le fluide ne passe aussi facilement d'un côté que de l'autre. J'ai trouvé cette idée dans la Physiologie expérimentale de M. Stair, Auteur Anglois, qui, sans avoir des Méchaniques la connoissance nécessaire pour la Physique, m'a paru cependant faire souvent des hypothèses assez heureuses. En effet, nous voyons que la Nature s'est servi de cet artifice dans l'œconomie animale, pour la circulation des humeurs, qui ne pouvoit absolument être produite qu'au moyen de ces valvules. Sans cet artifice, je ne conçois pas la circulation des sucs dans les végétaux, & leur élévation à des hauteurs prodigieuses : n'est-il pas vraisemblable que ce mouvement est produit par une constriction & une dilatation alternative des petites parties des fibres, que j'ai démontré être un principe universel ? mais cette espèce de systole & de diastole, ne sçauroit produire aucune circulation, à moins qu'on ne dise que les fluides passent plus librement d'un côté que du côté opposé. Un grand nombre d'autres phénomènes me confirment dans cette idée ; & je suis très-persuadé que c'est ici un artifice & un mécanisme employé généralement par la Nature, pour produire & pour conserver une infinité de mouvemens. On

On peut encore en quelque façon expliquer par ces principes, la raison pourquoi les fibres de différentes plantes, les petits vaisseaux fécrétaires de certaines glandules, n'admettent que de certains fucs, en disant que tous les corps ayant un mouvement intestin de vibration, mais de différente durée dans les fluides différens, & dans les divers corps solides, les fibres n'admettront que les fluides qui auront une agitation harmonieuse avec elles. C'est sans doute cette agitation harmonieuse, qu'on doit entendre par le mot de *rappor*t, introduit par quelques Chimistes modernes, pour expliquer les phénomènes qui résultent du mélange successif de certains fluides avec d'autres; sans cette explication, ces rapports ne seroient qu'autant de facultés occultes, introduites par les anciens Philosophes.

Je me crois donc en droit de supposer dans les fibres paralleles de l'Aiman, quelque chose de pareil à ces valvules, & qui fasse le même effet, sans vouloir cependant déterminer précisément en quoi cela consiste; & ce ne fera que pour aider l'imagination, que nous supposons de véritables valvules. Voici donc de quelle maniere nous pourrons concevoir la chose. *AB* (*Fig. I.*) étant une fibre creuse & élastique de l'Aiman, remplie du fluide Magnétique, nous imaginerons des deux côtés des valvules *ac*, lesquelles étant poussées vers *A*, retrécissent le passage *cc*, & l'élargissent au contraire en se pliant davantage vers *B*.

§. 16. Cette structure, ou telle autre équivalente qu'on voudra & qu'on pourra s'imaginer, jointe au mouvement ondoyant des fibres dont nous avons parlé dans le 14<sup>e</sup> article, ne peut que produire dans la matiere subtile Magnétique, que nous avons supposée en repos, *un torrent qui traversera la fibre de A vers B*. Car comme la fibre est composée de cellules qui se dilatent & se resserrent alternativement, celle qui sera dans sa systole, chassera le fluide dans sa voisine, qui est dans sa diastole; & les valvules n'accordant ce passage que de *A vers B*, il se formera

*Prix. 1744.*

R

aussi-tôt un torrent très-rapide à travers la fibre *A B*.

Cette mécanique pourroit paroître un peu hardie, si elle avoit l'air d'être accommodée à dessein à l'explication de l'Aiman ; mais comme nous y avons été conduits naturellement par des considérations qui regardent généralement tous les corps, & non seulement l'Aiman en particulier, je crois qu'on me la passera sans beaucoup de difficulté. Au reste, si on suppose de plus, que toutes les fibres dont l'Aiman est composé, n'ont pas leurs valvules disposées en même sens, mais qu'une partie de ces fibres soit à contre-sens des autres, il est manifeste qu'on obtiendra par ce moyen un double torrent de fluide Magnétique, l'un contraire à l'autre, sçavoir l'un ayant sa direction de *A* vers *B*, & l'autre de *B* vers *A*.

*S. 17. Le fluide Magnétique passant ainsi avec rapidité à travers la fibre, perdra beaucoup de son élasticité, s'il ne la perd entièrement.*

Car comme cette élasticité ne provient que de l'agitation intestine des parties, & que ce mouvement d'agitation est facilement changé en mouvement progressif, par la violence du torrent ; il s'ensuit que cette élasticité du fluide Magnétique, doit ou se perdre entièrement, ou être beaucoup diminuée, aussi-tôt que le fluide se trouve dans la cavité des fibres : il se pourroit aussi que les fibres fussent trop étroites pour que ce mouvement d'agitation puisse se faire en toute liberté : enfin on pourroit dire encore, que cet autre fluide qui entretient le mouvement d'agitation des corps, ne peut pas passer librement par les pores de l'Aiman, ni par conséquent y entretenir l'élasticité que le fluide Magnétique a hors des fibres.

Ce n'est pas que j'aie besoin de routes ces suppositions ; mais comme plusieurs phénomènes me paroissent demander cette conséquence, je suis bien aise d'indiquer, en passant, les vrais principes qui peuvent mener à la connoissance de plusieurs faits Physiques.

On sçait qu'il y a dans tous les corps, de l'air extrêmement

condensé; les uns renferment cent fois, d'autres deux cens, d'autres jusqu'à cinq ou six cens fois plus d'air que leur volume ne pourroit contenir. D'où vient tout cet air, & comment se condense-t-il si fort? si ce n'est qu'il perde son élasticité, soit en partie, soit en tout, & que de cette maniere il se condense de lui-même. Nous voyons de tout cela des exemples bien sensibles: c'est ainsi que l'eau résolue en vapeurs, est douée, par l'agitation de ses petites parties, d'une élasticité immense; mais cette agitation venant à cesser, les vapeurs se condensent, reprennent la nature de l'eau, & perdent toute élasticité.

§. 18. *Le torrent de fluide Magnétique ayant été formé de la maniere qu'il a été expliqué, & venant à quitter les fibres de l'Aiman, retombe aussitôt dans cet océan, dont il avoit fait partie avant que d'entrer dans l'Aiman, comme une riviere qui se jette dans la mer.*

Cette proposition est évidente, & n'a pas besoin de preuve; mais je dis plus: je dis qu'il se formera incontinent un tourbillon autour de l'Aiman, & que la plus grande partie du torrent sortie d'un côté, par exemple par B, rentrera de l'autre côté par A.

C'est une chose constante, que par-tout où il y a du mouvement, la Nature tend à continuer & à conserver ce mouvement: or la seule maniere de le conserver, est ici ce tourbillon & cette circulation. C'est ainsi qu'un vent qui rencontre quelque obstacle, ne change pas simplement de direction, mais qu'il se change en tourbillon, de même que les eaux d'une riviere. Un vent coulis qui entre par une porte entr'ouverte, produira un semblable tourbillon au coin d'une cheminée où il y a du feu; & les cendres rendent ce tourbillon fort visible. Comme il y a de tous côtés une grande affluence de fluide Magnétique pour entrer par A, le torrent qui sort par B, est d'abord un peu attiré vers A, & le tourbillon se forme ainsi peu à peu, jusqu'à ce qu'il soit parvenu à cet état de permanence, que la Nature recherche constamment & avec grand soin,

Rij

comme l'auront remarqué tous ceux qui l'ont un peu étudiée : or cet état de permanence ne s'y trouveroit pas, s'il falloit toujours une nouvelle matiere qui entrât par *A*. On pourroit se convaincre de cette théorie, en remuant avec violence un grand soufflet, pour chasser l'air avec rapidité par le tuyau ; car je suis sûr qu'on sentiroit à la main un petit vent, qui passeroit du tuyau vers l'ouverture de la soupape : je suis persuadé aussi, qu'en faisant voltiger de la poussiere en l'air, on y remarqueroit en quelque façon cette circulation.

§. 19. Voilà donc comme le tourbillon se forme & se conserve ; mais il est à remarquer, *que ce tourbillon ne laissera pas de subsister toujours, quoique l'Aiman soit transporté d'un endroit à l'autre.*

La raison en est la vitesse comme infinie de la matiere Magnétique, par rapport à laquelle l'Aiman peut être censé comme en repos, quelque mouvement qu'on lui donne.

§. 20. Cette formation des tourbillons Magnétiques autour des Aimans, me fait conjecturer que le dedans de la terre est en grande partie Magnétique. *De-là viendra nécessairement le grand tourbillon autour de la terre, dans la direction des méridiens*, duquel sans cela, je ne scaurois concevoir la permanence, sur-tout faisant attention au mouvement annuel de la terre. Sans le mécanisme qui vient d'être exposé, j'aurois bien de la peine à voir la possibilité du grand tourbillon, au lieu qu'en conséquence de nos hypothèses, je suis, pour ainsi dire, convaincu de son existence, qui d'ailleurs, est absolument nécessaire pour expliquer plusieurs propriétés connues de l'Aiman & du fer.

§. 21. Faisons présentement quelques réflexions sur ces tourbillons de la matiere Magnétique, qui se forment autour de l'Aiman.

Soit donc le tourbillon *ABCA* : (*Fig. II.*) je ne prétends pas dire à la vérité que le torrent Magnétique en sortant de l'Aiman, forme un tourbillon aussi fini & aussi

bien terminé que la figure le représente ; j'avoue au contraire, qu'il est plus que probable, que toute la matiere contenue dans l'espace  $BCA$ , ne rentrera pas par  $A$  ; mais comme cette circonstance n'altère pas notre système, nous pourrons considerer le tourbillon comme parfaitement terminé en  $BCA$ .

Il faut donc que ce soit l'élasticité du fluide Magnétique, dont le tourbillon est environné, qui le contienne dans ses limites, sans quoi le fluide renfermé en  $BCA$ , s'échapperoit par sa force centrifuge : il suit de-là que l'élasticité du tourbillon est nécessairement moindre que celle du fluide qui l'environne, puisque cette élasticité augmentée de sa force centrifuge, doit égaler l'élasticité de la matiere Magnétique autour du tourbillon, pour former l'équilibre entre les deux fluides : & si l'élasticité de la matiere du tourbillon étoit nulle, il faudroit que les seules forces centrifuges contrebalançassent l'élasticité du fluide environnant ; c'est pourquoi le fluide sera comprimé, & la matiere condensée, jusqu'au point de cet équilibre. Si au contraire, le torrent  $AB$  conservoit son élasticité, le tourbillon s'étendrait, & la matiere se raréfieroit jusqu'à ce que son élasticité fût assez diminuée, pour qu'étant jointe aux forces centrifuges, l'équilibre fût établi.

§. 22. On a vû dans le 15<sup>e</sup> article, la structure que nous donnons aux fibres creuses de l'Aiman, dans lesquelles nous supposons des espèces d'arrêtes, qui laissent couler la matiere Magnétique avec plus de facilité d'un côté que d'un autre. Voyons à présent quelle est celle qu'on peut & qu'on doit supposer dans la matiere du fer, pour expliquer les propriétés de l'Aiman, relativement au fer.

Toutes les expériences s'accordent à prouver, qu'il doit y avoir beaucoup de rapport entre ces structures. Je conçois donc dans le fer les mêmes fibres, avec le même mouvement ondoyant de leurs parties, que j'ai conçu dans l'Aiman ; j'y suppose encore les mêmes arrêtes, telles que  $ac$ , dans la I. Figure, avec cette différence, qu'au lieu que dans

R. iij.



l'Aiman ces arrêtes sont inclinées, celles du fer soient naturellement perpendiculaires à la fibre, & qu'elles ne panchent pas plus vers *A* que vers *B*. Comme d'ailleurs le fer n'est pas formé tout pur dans les mines, mais qu'il a été purifié par la fonte, il est naturel de croire que ses fibres n'auront pas toutes une direction commune & parallele, ainsi que celles de l'Aiman, mais qu'il y en aura un grand nombre en tout sens.

§. 23. Quand je parle de ces fibres, je ne veux pas dire que ce soit des fibres qui s'étendent sans interruption d'un bout à l'autre; je considère ici plutôt les fibres qui sont dans les plus petites parties, soit du fer, soit de l'Aiman; & lorsqu'un fluide les traverse toutes, cela se fait en coulant d'une fibre à telle autre qui se trouve la mieux disposée, pour lui accorder le passage.

Ce sont là les principes qui me paroissent propres à expliquer notre question; ils sont d'ailleurs conformes aux loix de mécanique, & à mon avis, nécessaires dans la Physique générale, ce qui les rend fort recommandables.

Il s'agiroit présentement d'en faire l'application, & d'expliquer, par leur moyen, les phénomènes singuliers qu'on observe dans l'Aiman: mais comme le nombre de ces phénomènes est immense, il me seroit impossible de les parcourir tous; & je crois pouvoir d'autant mieux me dispenser de ce travail, qu'ayant une fois établi d'une manière satisfaisante, à ce qu'il me semble, le tourbillon de matière Magnétique autour de l'Aiman, tous ceux qui sont versés dans la Philosophie Cartésienne, pourront, sans beaucoup de difficulté, en combinant mes principes avec cette Philosophie, les appliquer aux différens cas qu'il s'agira d'expliquer.

Cependant, pour mieux éclaircir mes idées, je crois devoir en faire l'essai, au moins sur quelques-unes des principales propriétés de l'Aiman qui ont le plus d'influence sur les autres, & qui ne me paroissent pas pouvoir être expliquées simplement à la manière de Descartes.

Comme la cause de ces propriétés ne doit être attribuée qu'à quelque changement qui arrive au tourbillon de l'Aïman, nous n'avons qu'à examiner quelle altération ce tourbillon souffre dans chaque cas particulier, & si cette altération ne doit pas naturellement produire précisément le même effet qu'il s'agit d'expliquer.

§. 24. *L'Aïman attire le fer, & en est attiré réciproquement jusqu'à une certaine distance.*

Soit ( *Fig. III.* ) *AB* un Aïman, & *CD* un morceau de fer, posé à quelque distance de *B*, dans la ligne de direction du torrent Magnétique *AB*. Qu'arrivera-t-il dans ce cas au tourbillon, qui, sans le voisinage du fer, se feroit formé immédiatement autour de l'Aïman? Le torrent Magnétique qui se meut avec une rapidité immense dans les fibres de l'Aïman, suivant la direction *AB*, au sortir de ces fibres en *mp*, tend d'abord à continuer son mouvement dans la même direction, ne se détournant que peu à peu de la ligne droite, pour former le tourbillon, de sorte qu'avant que de s'être détourné sensiblement, il rencontre les fibres du fer *CD*, posées en ligne droite avec *AB*, qui lui offrent un libre passage, pour continuer son mouvement rectiligne : au lieu donc de former un tourbillon autour de l'Aïman seul, comme dans la II. Figure, il continuera son chemin, en s'insinuant dans les fibres du fer, par leurs orifices en *nq*, & traversera ces fibres d'un bout du fer jusqu'à l'autre, en pliant & courbant de *C* vers *D* leurs arrêtes, qui auparavant étoient perpendiculaires aux fibres. De cette façon, le torrent ne se changera en tourbillon, qu'après être sorti du fer. en *D* ; & de *ABCA* qu'il étoit dans la II. Fig. il deviendra *ADEA* ; c'est-à-dire, que l'Aïman & le fer seront traversés par le même torrent, qu'ils seront enveloppés dans le même tourbillon, & qu'ils ne se trouveront séparés que par la portion *mnp* du torrent. Mais la matière Magnétique ayant perdu son élasticité, au moins en partie, pendant qu'elle traversoit les fibres de l'Aïman, comme nous l'avons fait

voir dans le 17<sup>e</sup> article, & ne pouvant la reprendre entièrement dans ce petit intervalle de son passage de *B* en *C*, il doit arriver le même effet que nous sçavons arriver à tous les corps exposés dans l'Atmosphère de l'air, & entre lesquels il se trouve une espèce de vuide, sçavoir d'être poussés l'un vers l'autre, & de s'approcher si les corps ne sont pas contigus, ou d'être fortement attachés l'un à l'autre lorsqu'ils sont contigus. D'où nous voyons que non-seulement l'Aiman doit attirer le fer, mais encore que cette attraction est réciproque & que le fer doit attirer l'Aiman avec une égale force, conformément à l'expérience. Cette attraction réciproque, n'est pas toujours une conséquence nécessaire; mais elle l'est dans notre cas. L'Aiman & le fer s'attireront donc mutuellement, jusques à ce qu'ils se touchent; après quoi ils seront comme collés l'un contre l'autre, & ne formeront, pour ainsi dire, qu'un seul Aiman.

*S. 25. L'Aiman a deux poles opposés l'un à l'autre, où la vertu attractive est la plus grande.*

Pour expliquer ce phénomène, on n'a qu'à se souvenir de ce que nous avons insinué dans le 16<sup>e</sup> article, qu'en supposant l'Aiman composé de fibres qui toutes n'aient pas leurs valvules disposées en même sens, mais qu'une partie de ces valvules soit à contre-sens des autres, on obtiendrait, par ce moyen, un double torrent de fluide Magnétique, l'un contraire à l'autre, c'est-à-dire, l'un ayant sa direction de *A* vers *B* (Fig. II.) & l'autre de *B* vers *A*. Car il est évident, que les deux torrents produiront aussi un double tourbillon *ABCA*, & *BACB*, l'un & l'autre faisant le même effet que nous avons expliqué dans l'article précédent; d'où il suit que l'Aiman aura deux poles, opposés communément l'un à l'autre, & qu'en vertu du tourbillon *ABCA*, un morceau de fer sera attiré vers le pole *B*, de même qu'il sera attiré vers le pole *A*, en vertu du tourbillon *BACB*.

Au reste, comme il peut y avoir dans un Aiman un plus grand nombre de fibres disposées en un sens qu'en l'autre, ou bien, comme il se peut que le torrent qui traverse les

unes,

unes, se meuve avec plus de rapidité que celui qui traverse les autres, il arrivera de-là, *que les deux poles n'auront pas toujours une attraction également forte, & qu'ils ne seront pas toujours tout-à-fait d'une même nature dans le même Aiman; & c'est aussi ce que l'expérience nous fait voir.*

On remarque encore plusieurs autres irrégularités par rapport à ces poles, qui toutes découlent très-naturellement de notre théorie Il peut arriver, par exemple, que les fibres qui vont de *A* vers *B*, ne soient pas paralleles à celles qui vont de *B* vers *A*; & c'est en quoi consiste la raison pour laquelle *les deux poles d'un Aiman ne sont pas toujours diamétralement opposés.*

Il peut arriver encore, que les fibres qui vont de *A* vers *B*, ou celles qui vont de *B* vers *A*, ne soient pas toutes paralleles entre elles, mais qu'elles se séparent en branches; & comme chaque branche de fibres doit avoir en ce cas-là son pole particulier, *il en naîtra nécessairement plus de deux poles; & c'est ce que l'expérience confirme dans plusieurs Aimans.*

On voit évidemment, *que tout le reste étant égal, plus un Aiman a de poles, moins chacun de ces poles doit avoir de force attractive; & c'est peut-être une des principales raisons pourquoi un Aiman a plus de force qu'un autre: car quoiqu'un Aiman ne paroisse avoir que deux poles, il n'est pas à présûmer que toutes ses fibres soient si bien paralleles entre elles, que les torrens n'aient quantité de petites branches, ayant chacune son pole particulier, trop foible, à la vérité, pour être sensible, mais dont le grand nombre ne laisse pas de causer bien des irrégularités, & entre autres de diminuer la force des poles principaux. Ainsi un Aiman sera d'autant plus foible, qu'il aura un plus grand nombre de ces poles insensibles, qui détournent, pour ainsi dire, du grand chemin le fluide Magnétique.*

§. 26. *Un morceau de fer enveloppé dans le tourbillon ABCA de l'Aiman AB (Fig. IV.) est attiré vers l'un ou l'autre de ses deux poles, quoique le point E où ce morceau de*

Prix. 1744.

S

*fer est placé, ne soit pas dans la direction du torrent AB.*

Pour peu qu'on y fasse attention, on voit que ce cas ne diffère pas de celui du 23<sup>e</sup> article, ou du moins qu'il peut y être réduit très-facilement, en appliquant ici le même raisonnement que nous avons employé ci-dessus. Car dans un point quelconque *E*, le tourbillon a une tendance suivant la tangente en ce point : or comme le morceau de fer qu'il rencontre en son chemin, le détourne de sa route vers *C*, en l'obligeant, pour ainsi dire, à traverser ses fibres en ligne droite, il changera de direction, & au lieu de continuer son chemin vers *C*, comme il auroit fait sans l'interposition du morceau de fer, il montera plus haut vers *D*; & quoique la matière Magnétique soit plus élastique en *E* qu'elle ne l'étoit en *B*, immédiatement après être sortie de l'Aiman, elle ne laisse pas d'être encore moins élastique que la matière subtile qui environne le tourbillon; par conséquent le morceau de fer sera toujours repoussé en arrière, & s'approchera du pôle *B*.

On peut donc considérer la chose, comme si entre le point *E* & le pôle *B* il y avoit dans la ligne de direction de la tangente en *E* un Aiman imaginaire *FG*, plus foible, à la vérité, que l'Aiman *AB*, mais qui ne laissât pas d'attirer le morceau de fer placé en *E*, & de le faire descendre vers *B*. Cet Aiman imaginaire *FG* ne sera pas fixe, comme il est aisé de voir; mais à mesure que le fer descend, il descendra aussi lui-même, & sa force attractive augmentera toujours, jusqu'à ce qu'enfin il se confonde avec l'Aiman réel *AB*, & que le morceau de fer se réunisse avec le même Aiman au pôle *B*.

Je dois encore remarquer, que quoique je n'aie fait mention que d'un seul Aiman imaginaire, on doit en supposer un autre à l'opposite du premier, par rapport au point *E*, qui sollicite le morceau de fer vers le pôle *A*; mais comme je suppose le point *E* assez proche du pôle *B* pour que le tourbillon *ABCA* soit moins élastique en ce point là que le tourbillon *BACB*, il s'ensuit de-là, que

l'Aiman imaginaire  $FG$  aura une plus grande force d'attraction que celui qui lui est opposé; & qu'il attirera toujours le fer placé en  $E$ .

Il est manifeste par ce que nous venons de dire, que si le point  $E$  étoit à une telle distance des poles, que les deux Aimans imaginaires se contrebalaçaient parfaitement, le morceau de fer ne seroit attiré en ce cas-là, ni vers l'un ni vers l'autre des deux poles; cependant, malgré cet équilibre, le fer ne laissera pas d'être poussé, quoique très-fiblement, vers l'axe de l'Aiman, à cause de la force centrifuge des particules du tourbillon Magnétique.

§. 27. Il n'est plus nécessaire, après tout ce que nous venons de dire, d'expliquer *pourquoi la force attractive d'un Aiman diminue à mesure que sa distance à l'objet qu'il doit attirer augmente*; car comme cette force attractive ne consiste que dans le peu d'élasticité de la matière Magnétique du tourbillon, & que cette matière redevient de plus en plus élastique, à mesure qu'elle s'éloigne du pole de l'Aiman, il est impossible que l'attraction soit aussi forte à une plus grande distance, qu'à une moindre.

Si cette attraction étoit une faculté intrinsèque de la matière de l'Aiman, il faudroit qu'elle s'étendît à l'infini, en cessant peu à peu d'être sensible; mais l'expérience fait voir que l'effet de la force attractive cesse assez brusquement de se faire sentir, ce qui est une preuve évidente que l'attraction n'est pas une vertu qui réside dans la matière même de l'Aiman, & ce qui en même tems est très-conforme à notre théorie, en conséquence de laquelle la vertu attractive ne doit pas étendre son effet au-delà du tourbillon Magnétique.

Il est vrai que nous avons dit ci dessus, art. 21. qu'il n'est pas probable que le torrent Magnétique en sortant de l'Aiman, forme un tourbillon parfaitement terminé; je tombe d'accord qu'une partie de la matière du tourbillon s'échappera: mais comme ce qui s'échappe du tourbillon n'est qu'une très-petite partie, qui retombe dans ce vaste océan,

de matiere élastique qui environne le tourbillon, elle ne peut que s'y perdre ; & si elle y conserve encore quelque vertu attractive, elle sera si foible que son effet échappera aux expériences les plus délicates.

Au reste, il seroit difficile de déterminer exactement en quelle raison des distances les vertus attractives diminuent. J'ai remarqué cependant que toutes les expériences qu'on a faites à ce sujet, donnoient assez à peu près en raison du quarré des distances, non de l'Aiman, mais de certains points  $P$  &  $p$ , pris au-dedans des corps qui s'attirent, & qu'on peut appeller en quelque façon, centres de forces. Sur ce fondement, il est très-aisé de déterminer les distances  $P$  &  $p$ , qui répondent aux poles amis de deux Aimans, qui, comme on sçait, & comme nous l'expliquons dans l'article suivant, s'attirent mutuellement. Car soient deux Aimans  $AB$  &  $CD$ , (*Fig. V.*) qui aient deux poles amis en  $B$  & en  $C$ , & nommant  $PB = x$  &  $Cp = y$  ; & prenant d'abord  $BC = a$ , si l'on examine à la balance la force attractive qui répond à cette distance, qu'on nommera  $F$ , puis si l'on examine aussi de la même maniere les forces attractives  $f$  &  $\phi$ , qui répondent à deux autres distances quelconques,  $b$  &  $\zeta$ , on aura ces proportions  $F.f :: (x + b + y)^2. (x + a + y)^2.$  &  $F. \phi :: (x + \zeta + y)^2. (x + a + y)^2.$  moyennant lesquelles on trouvera facilement les valeurs des inconnues  $x$  &  $y$ .

*§. 28. Deux Aimans étant placés dans la sphère d'activité l'un de l'autre, s'attirent ou se repoussent mutuellement, suivant que tels ou tels de leurs poles sont tournés l'un contre l'autre.*

Chaque Aiman est composé de deux sortes de fibres, les unes ayant leurs arêtes à contre-sens des autres ; or cette agitation harmonieuse, ce rapport qui est requis pour former & entretenir le torrent Magnétique, ne se trouve qu'entre les fibres de même espèce, c'est-à-dire, dont les arêtes vont en même sens ; de sorte que les fibres de différente espèce, ne sçauroient laisser passer le même torrent, &

c'est en quoi nous allons voir que consiste la raison du phénomène dont il s'agit ici. Car si les fibres qui vont de  $A$  vers  $B$  (*Fig. V.*) sympathisent, ou sont dans une agitation harmonieuse avec celles qui vont de  $C$  vers  $D$  dans l'autre Aiman, il est clair que ces deux Aimans s'attireront mutuellement, lorsque les deux poles  $B$  &  $C$ , ou bien  $A$  &  $D$ , que j'appellerai poles de *différent nom*, sont tournés l'un contre l'autre; & la raison en est précisément la même que celle de l'attraction mutuelle de l'Aiman & du fer, que nous avons exposée ci-dessus, de manière à n'avoir rien à y ajouter ici. Mais voyons ce qui doit arriver aux deux Aimans  $AB$  &  $DC$ , (*Fig. VI.*) qui se présentent les poles de *même nom*.

On voit par ce que nous avons dit au commencement de cet article, que le torrent Magnétique qui sort par  $B$ , ne sçauroit traverser l'Aiman  $DC$ ; car il ne sçauroit passer par les fibres qui vont de  $C$  vers  $D$ , parce que les arêtes lui barrent le passage, & il ne peut pas passer non plus par les autres fibres, parce qu'elles ne sont pas dans une agitation harmonieuse avec celles par où il a passé dans l'Aiman  $AB$ . La même chose doit être entendue aussi du torrent qui sort par  $D$ . D'où il s'en suit que ces deux torrens formeront, chacun de son côté, un tourbillon particulier autour de son Aiman; & comme la proximité des Aimans empêche que ces deux tourbillons ne s'étendent aussi loin qu'ils s'étoient étendus auparavant, il faudra qu'ils se gonflent, & qu'ils montent en  $E$  & en  $e$ , plus haut qu'ils ne seroient montés sans cela. Mais comme de cette façon les tourbillons se trouvent dans un état de contrainte, & qu'il n'y a plus d'équilibre entre le fluide du tourbillon & la matière subtile & élastique qui l'environne; cette matière subtile fera un continuel effort sur le tourbillon, jusques à ce qu'elle lui ait rendu sa première figure, & que l'équilibre soit rétabli, ce qui ne sçauroit se faire qu'en séparant & éloignant davantage les deux Aimans l'un de l'autre.

§. 29. L'Aiman  $Aa b B$  (*Fig. VII.*) étant coupé par le méridien  $CD$ , il se forme deux Aimans particuliers  $AB$  &  $ab$ ,



qui ont leurs poles de même nom en  $A$  &  $a$ , de même qu'en  $B$  &  $b$ .

Ce phénomène est si conforme à notre théorie, qu'il n'a besoin d'aucune explication; car puisque chaque fibre d'un Aiman est un Aiman particulier, à plus forte raison les deux parties  $AB$  &  $ab$  feront-elles deux Aimans, étant séparées l'une d'avec l'autre: & comme avant la séparation, toutes les fibres qui avoient leurs arêtes en même sens, étoient dans une agitation harmonieuse, elles le feront encore après la séparation, & par conséquent les poles  $A$  &  $a$ , de même que les poles  $B$  &  $b$ , laisseront passer le même tourbillon, c'est à-dire, qu'ils feront poles de même nom.

Le même raisonnement prouve, qu'un Aiman  $AB$  (Fig. VIII.) étant coupé par l'Equateur  $CD$ , les deux parties coupées  $AB$  &  $ab$ , doivent encore être deux Aimans particuliers, ayant leurs poles de même nom en  $A$  &  $a$ , & en  $B$  &  $b$ : ce que l'expérience confirme.

S. 30. Un Aiman armé n'attire plus le fer vers ses deux poles  $A$  &  $B$ , (Fig. IX.) mais vers les pattes  $C$  &  $D$  des deux fers dont il est armé; de plus, sa force attractive est plus grande, & sa sphère d'activité plus étendue qu'elles n'étoient avant que l'Aiman fût armé.

Pour expliquer le changement qui arrive dans ce cas au tourbillon de l'Aiman, je dis que le torrent  $AB$  au lieu de sortir par le pole  $B$ , comme par exemple, dans la II<sup>e</sup> Fig. pour se répandre tout autour de l'Aiman, & pour former en tout sens le tourbillon  $ABCA$ , coulera presque tout entier le long du fer  $BD$ ; qu'après être sorti par  $D$  il rentrera par la patte  $C$  de l'autre fer  $AC$ , & qu'ainsi au lieu du tourbillon  $ABCA$  de la II<sup>e</sup> Figure, il se formera le tourbillon  $ABDGC A$  de la IX<sup>e</sup> Figure.

Il est vrai qu'au premier moment, le torrent pénétrera un peu dans le fer  $BD$ , suivant la direction  $AB$ , qu'il avoit auparavant; mais aussi-tôt que la matiere Magnétique se trouvera au-dedans de la substance du fer  $BD$ , elle se détournera, & traversera ce fer tout du long, par la même raison que nous avons dit, que dans le cas de la IV<sup>e</sup> Fig.

la matiere Magnétique à la rencontre du morceau de fer *E*, au lieu de continuer sa route vers *C*, se détournoit vers *D*, en traversant en ligne droite le fer *E*.

Car en général, la matiere Magnétique tend à traverser le fer suivant sa plus grande dimension, parce qu'elle trouve un passage plus libre dans le fer qu'ailleurs. La raison en est, que le mouvement de cette matiere étant accéléré dans les fibres du fer, à cause de leur agitation très-rapide & continuelle, il s'y fait une espèce de succement; & on voit bien que ce succement doit être plus fort suivant la longueur du fer, que suivant son épaisseur, si le fer est plus long qu'il n'est épais.

Cette explication assez naturelle d'elle-même, est confirmée encore par les circonstances suivantes.

I. Les pièces de fer dont on arme les Aimans, ont toutes la patte plus épaisse que le reste; car de cette maniere le succement est renforcé.

II. Ces pièces de fer étant trop épaisses par le haut, n'ont presque aucune force attractive vers la patte, parce que le succement suivant la longueur, ne prévaut pas assez sur le succement suivant l'épaisseur du fer, pour pouvoir détourner la matiere Magnétique en quantité suffisante.

III. Il ne faut pas non plus que les pièces de fer soient trop minces par le haut, parce que si on n'armoît l'Aiman que de lames de fer très-minces, le torrent Magnétique qui se meut avec une grande rapidité, traverseroit l'épaisseur de ces lames, avant qu'il eût le tems de se détourner.

Mais ce qui met notre explication entierement hors de doute, c'est une expérience très-aisée à faire, & qui y a un si grand rapport, qu'on peut la regarder comme une démonstration de ce que nous avons avancé.

Soit un vase *FAG* (*Fig. X.*) plein d'eau jusqu'en *FG*; avec un tuyau *ABD*, dont la partie *AB* soit cylindrique; que ce tuyau ait un coude en *B*, & que depuis ce coude il descende en s'élargissant; concevons aussi qu'il soit criblé en *E*; il est clair que si on bouche avec le doigt l'ouverture *CD*, l'eau portée de *A* vers *B*, ne pourra sortir que par les

trous en *E* ; mais je dis que l'ouverture *CD* étant débouchée , l'eau cessera aussi-tot de sortir par *E* , qu'elle sortira toute par l'ouverture *CD* ; & qu'elle fera extrêmement accélérée.

Dans cette expérience , l'élargissement du tuyau & la descente de l'eau en accélèrent le mouvement , de même que les systoles & les diastoles des cellules qui composent les fibres du fer , accélèrent le mouvement de la matière Magnétique ; & cette accélération est de part & d'autre causée que le fluide se détourne de sa route.

Notre raisonnement étant donc vérifié par l'expérience , on voit bien qu'il explique très-naturellement le phénomène en question dans toutes ses parties. Car l'Aiman étant dûment armé , *les torrens Magnetiques , au lieu de sortir par les poles A & B , ( Fig. IX. ) couleront le long de l'armure , sortiront par les pattes C & D , & formeront les deux tourbillons B A C G D B & A B D G C A.*

De plus , puisque les torrens , au lieu de se répandre tout à l'entour de l'Aiman , sortent presque tout entiers par les pattes *C & D* , la matière Magnétique qui forme le tourbillon sera beaucoup plus abondante & plus serrée , elle perdra aussi plus de son élasticité , & par conséquent , *la force attractive sera beaucoup plus grande , qu'elle n'étoit avant l'armure de l'Aiman.*

Enfin cette abondance de la matière Magnétique , & son accélération , sont cause *que la sphère d'activité ou le tourbillon Magnétique s'étend beaucoup plus loin qu'avant que l'Aiman fût armé.*

Je borne ici l'application de ma théorie. Si les principes & les raisonnemens sur lesquels elle est fondée ont le bonheur de trouver quelque approbation auprès des Juges éclairés auxquels j'ose les présenter , il leur sera très-aisé de les appliquer à ce nombre presque infini d'autres cas , qu'il est impossible de parcourir tous , sans passer les bornes qu'on doit se prescrire dans ces sortes de Dissertations , & de suppléer ainsi à ce qui pourroit paroître manquer à ce Discours,

F I N.