NATURAL SCIENCES IN ISLAM

Volume
38

HERO OF ALEXANDRIA IN THE ARABIC TRADITION

TEXTS AND STUDIES

Collected and reprinted
by
Fuat Sezgin

in collaboration with
Carl Ehrig-Eggert, Eckhard Neubauer,
Farid Benfeghoul

2001

Institute for the History of Arabic-Islamic Science
at the Johann Wolfgang Goethe University
Frankfurt am Main

50 copies printed

ISSN 1617-1713
ISBN 3-8298-7042-6

Institut für Geschichte der Arabisch-Islamischen Wissenschaften
Westendstrasse 89, D-60325 Frankfurt am Main
www.uni-frankfurt.de/fb13/igaiw
Federal Republic of Germany

Printed in Germany by
Strauss Offsetdruck, D-69509 Mörlenbach

Publications of the Institute
for the History of Arabic-Islamic Science

Natural Sciences in Islam
Volume 38

Publications of the
Institute for the History of
Arabic-Islamic Science

Edited by
Fuat Sezgin

NATURAL SCIENCES
IN ISLAM

Volume 38

Hero of Alexandria
in the
Arabic tradition

Texts and Studies
Collected and reprinted

2001

Institute for the History of Arabic-Islamic Science
at the Johann Wolfgang Goethe University
Frankfurt am Main

TABLE OF CONTENTS

SPECIMEN MECHANICAE VETERVM PER MECHANICAM RECENTIOREM PLENIVS EXPOSITVM

ILLVSTRI REGIAE SOCIETATI SCIENTIARVM GOTTINGENSI

OBLATVM

AB

ANTONIO BRUGMANS

A. L. M. PHILOS. DOCT. EIVSDEMQVE FACVLT. VT ET MATHEMATVM PROFESS.
IN ACADEMIA GRONINGANA P. O.
VARIIS SOCIETATIBVS LITTERARIIS ADSCRIPTO.

VIRI ILLVSTRES, NOBILISSIMI, CELEBERRIMI!

Illuſtri veſtrae Societati ſuperiori anno adſcriptus, non alienum a mea perſona putaui, vobis ſpecimen hoc ex inedito Mechanico veteri opere offerre, iudicioque veſtro et ea quae adieci ſubmittere; haud parum mihi gratulaturus, ſi haec qualiacunque, ſint etiam ad Elementa *Matheſeos mixtae referenda, vobis non diſpliceant. Valete, Viri Illuſtres, et fauore veſtro proſequi pergite*

Scripſi Groningae
d. 28. Dec. 1784.

vobis deditiſſimum
A. BRUGMANS.

Quamuis

Quamuis mihi leuis non deſit ſuſpicio, quod Phoenicii, Architecturam Naualem antiquiſſimis temporibus ſatis iam edocti, Machinas nonnullas, etiam *ſimplices* quae appellantur, cognouerint, plerumque tamen ad Graecos earum inuentio refertur; imo vero ad hos etiam pertinet, in quantum oculo geometrico rationem inter potentiam et onus mouendum in caſu aequilibrii primi in Machinis contemplati ſunt; dein etiam has varie componere, earumque ope onera grauiſſima per exiguam applicatam potentiam eleuare docuerunt, id quod homines illius aeui paſſim in ſtuporem rapiebat. — Multum tamen veterum Theoria a perfecta aberat, tum quod Machinas non aliter quam in quiete ſpectarent, tum etiam quod leges Frictionis et Rigiditatis funium ita ignorarent, vt ad eas nunquam animum aduertiſſe videantur.

Exemplo ſit Machina ex variis rotis dentatis compoſita, quam ſaeculo ante aeram Chriſtianorum ſecundo inuenit Hero Alexandrinus, celebris eo tempore Geometra et Mechanicus, quamque explicuit in ſingulari opere, quod inſcribitur βαρουλκός; ſed de quo vix conſtat aliud, quam quod huius nomen inter Manuſcripta Arabica in Oriente a Golio collecta reperiatur.

Celebris ſcilicet et in linguis orientalibus verſatiſſimus JACOBUS GOLIUS, harum linguarum vt et Matheſeos quondam Profeſſor Leidenſis, ſuperiori ſaeculo in orientem ab Ordinibus Hollandiae mittebatur ad Arabum eruditionem ſibi comparandam. — Inter Manuſcripta, quibuscum in patriam reuerſus eſt noſter, occurrit *Barulcus Heronis*, quem latine vertit, publici autem iuris non fecit. Verſionem propria manu Golii exaratam, ſed multis in locis, ſi

pauca

pauca praeter ea quae nunc damus excipias, intellectu difficillimam, amicitiae debeo Viri amplissimi DE REUVER, Ordinibus Selandiae ab Actis.

In Titulo haec leguntur, vt moris est apud Arabes:

In Nomine Summe Misericordis Dei!
BARULCUS HERONIS
siue
Operis de levandis rebus grauibus Libri tres, quos ex Graeca lingua in Arabicam transferri iussit Achmet Mustasimides, Imperii Babylonici Summus Princeps, interpretationi praeposito Costa, Filio Lucae Heliopolita.

Multa habentur in hisce libris Mechanicam veterum spectantia. et machinae simplices (Pappo *Facultates*) varia ratione combinantur ad augendam applicatae potentiae efficaciam. — Ex multis autem machinis, quibus potentia exigua ingens onus attollit, vna est et prima quam nunc damus. — Huius meminit quondam Pappus Alexandrinus *Collect. Mathem.* L. 8. Prop. 10. Ante aliquot annos eius memoriam refricauit celebris Montucla, in Historia Matheseos, asserens eam non fuisse dissimilem Pancratiis nostris. — Adiicimus iconem iuxta exemplar ex manuscripto Arabico a Golio delineatum. In eo deficit tympanum $\lambda\mu$, quod imaginatione facile suo loco ponitur. In alio schemate delineatur tympanum $\theta\gamma$ aequale manubrio $S\Delta X$, sed duplum tympani XZ. Quod eodem redit.

Hero ita inchoat Barulcum suum:

“ *Propositum nobis sit datum pondus mouere data potentia per tym-*
„*panorum dentatorum coniunctiones.*

„Firmà conſtruatur figura, arcae ſimilis, et in longioribus eius „parietibus inter ſe parallelis axes ſunto inuicem paralleli, eo ab „inuicem ſeparati interuallo, vt dentes vnius inter dentes alterius „coaptari poſſint: ita vti nunc expoſituri ſumus. Figura illa ſit „loculamentum ABCD, atque in eo inſeratur axis FG, qui expe- „dite verſari poſſit, firmiter affixum ſibi habens tympanum HI, „huiusque diameter diametri praedicti axis ſit quintupla. Vt autem „rem declaremus exemplo; ſtatuamus pondus quidem attrahendum „eſſe talentorum mille, potentiam vero mouentem talentorum quin- „que. Si igitur vir debilior fuerit, vel puer qui per ſe absque ma- „china mouere valeat quinque talenta, funisque oneri alligatus et „per quoddam lateris AB foramen immiſſus conuoluatur circa axem „FG; tum circumacto tympano HI, et conglomerato fune moue- „bitur ipſum onus. Vt autem moueatur tympanum HI, oportebit „adhibere virtutem, quae mouere poſſit bis centum talenta; pro- „pterea quod diameter tympani quintupla eſt diametri axis, prout „a nobis poſitum fuit. Hoc enim in quinque facultatum demonſtra- „tionibus manifeſtum fecimus. At vero cum non ſuppetat nobis „illa bis centum talentorum potentia, haud poterit tympanum mo- „veri. Quapropter alius adhibebitur axis priori parallelus, nempe „axis KL, circa quem affigatur tympanum MN, inter dentes ſuos „excipiens dentes tympani HI. Axi autem eidem affixum ſit aliud „tympanum RS, diametrum habens quintuplam diametri axis MN. „Vt igitur ope tympani RS transferatur pondus, neceſſe erit adhi- „bere potentiam talentorum quadraginta, vt quae quintam partem „efficiant ducentorum.

Tympano

„Tympano autem RS aliud quoque apponatur tympanum AD *), „adpactum axi TV, et circa hunc firmatum ſit aliud tympanum „XZ, cuius diameter quintupla exiſtat diametri axis AD. Potentia „igitur quae pondus mouere poſſit per tympanum XZ erit talento- „rum octo. Sed potentia nobis data eſt duntaxat talentorum quin- „que, ideoque apponatur tympanum dentatum aliud $\Theta\gamma$, inter den- „tes ſuos excipiens dentes tympani XZ, in eodemque axe videli- „cet CS affigatur vel tympanum $\lambda\mu$ vel manubrium SΔX, quo- „rum diameter dupla ſit tympani $\Theta\gamma$. Quamobrem ſiue tympanum „$\lambda\mu$ ſiue manubrium SΔX requiret potentiam talentorum quatuor. „Quoniam autem potentia data eſt quinque talentorum, equidem in „illa potentia erit talenti vnius exceſſus, quo ſuccurratur impedi- „mento, quod forte a difficultate tympanorum accidere poſſit. At- „que ita ex iis, quae deſcripſimus, manifeſte apparet, quodſi quis „moueat ſiue tympanum $\lambda\mu$ ſiue manubrium SΔX, conuerti quo- „que cum eo axem TV, et cum eo tympanum AD. Hoc autem „circumacto etiam circumagi tympanum RS et ſimul cum eo axem „KL, et proinde etiam tympanum MN, quod conuertet tympanum „HI, et vna eius axem GF, circa quem conuoluitur funis. Attol- „letur igitur appenſum pondus, quod declarare propoſitum erat." Hactenus Hero.

Videamus iam qualis ſit potentiae ad onus proportio, et qui haec determinate magis exponi poſſit, ſi *impedimentorum* illorum, quorum meminit Mechanicus antiquus, vna habeatur explicita ratio, cuius quidem accuratior expoſitio ad mechanicam recentiorem tota pertinet.

Impedimenta

*) Diameter tympani AD iuſto maior in ſchemate exponitur. Debet aequalis eſſe quintae parti diametri rotae vel tympani XZ.

Impedimenta ista constituuntur. (1°) Per funis circa axem, quando onus attollitur, sese voluentis rigiditatem. (2°) Per frictionem axiculorum. Frictionem dentium, si rotae fuerint rite constructae, vt exiguam valde negligere licet.

Vtriusque impedimenti effectum oculo geometrico-mechanico primus obseruauit Amontonsius, magnam ex hoc scrutinio celebritatem consequutus. Voluit autem *Funis rigiditatem* esse in *ratione composita ex directa diametri ipsius funis et ponderis quo tenditur; nec non reciproca diametri trochleae aut cylindri, circa quem conuoluitur.* — Sint duorum funium diametri F et f; pondera a quibus funes tenduntur, P et p; diametri cylindrorum aut trochlearum D et d; rigiditates R et r; erit

$$\frac{fp}{d} : r = \frac{FP}{D} : R.$$

Cognitis per obseruationem terminis tribus prioribus, rigiditas dati funis in numeris exprimi poterit.

Multa in hoc genere institui experimenta, adhibito etiam apparatu solito maiori; ex quibus omnibus didici

I. Rigiditatis mensuram a variis pendere caussis, quae nunquam accurate determinari poterunt, quales inprimis sunt (1°) Varia filorum, vt Cannabinorum, ex quibus contortis funes parari solent, indoles. (2°) Horum nouitas. (3°) Helicum longitudo. (4°) Siccitas vel humiditas. (5°) Calor. — Aestate funis, ceteris licet aequalibus, minus rigidus est, quam hieme.

II. Quod si formula contenti esse velimus, quae licet accurata non sit, tamen ab accurata non valde aberret, poni debeat $R = \frac{1}{25} \frac{FP}{D}$. Sic adhibito apparatu Amontonsii vel Desagulierii tensoque fune

fune 6 lin. circa cylindrum 6 poll. pondere 800 libr. Rigiditas superata fuit a 16 libris. — Si in formula ponatur $F = \frac{1}{2}$. $P = 800$. $D = 6$. inuenietur etiam $R = 16$ libr. Ita calculus experientiae accurate respondebat. Similiter plicato fune quatuor linearum circa cylindr. 2 poll. tensoque illo a 50 libr., resistentia superata fuit a 30 vnc. Est item $F = 4$. $P = 50$. $D = 2$. 12; vnde ex formula erit $R = 2$ libr. $= 32$ vnc. Formula parum tantum in hoc casu ab obseruata rigiditate recedit.

Multiplex autem experientia me docuit, quod poni debeat $R = \frac{8}{25}\frac{FP}{D}$, vel etiam $R = \frac{10}{25}\frac{FP}{D}$, si funes fuerint noui, humidiusculi, etc. adeoque rigidiores. Rursus poni possit $R = \frac{4}{25}\frac{FP}{D}$, si ex longiori vsu, siccitate etc. laxiores euaserint. Applicemus formulam inuentam ad praesens exemplum. Ponamus itaque funis diametrum $= 1$ poll. eumque conuolui circa cylindrum, cuius diameter (addita diametro funis) sit $= 4$ poll. — Denique funem esse mediae rigiditatis; erit resistentia ex rigiditate siue $R = \frac{6}{25} \cdot \frac{FP}{D} =$ 60 tal. Est scilicet $F = 1$. $P = 1000$ tal. $D = 4$. Vt adeo integrum onus eleuandum sit $= 1060$ talentis.

Alterum motus impedimentum in *Frictione axium* consistit ad bases foraminum, intra quae vertuntur.

Multa institui in *Frictionem* experimenta, methodo vsus ab ill. Bilfingero inuenta, cui forte occasionem praebuerant, quae celebris Parentus in Monum. Acad. R. Paris. 1704 de Grauium descensu per Planum inclinatum docuerat. — Iuxta eam pars ponderis aliquota, exprimens Frictionem corporis ad planum inclinatum vel aliud corpus huic impositum, est aequalis *tangenti anguli inclinationis per sinum totum diuisae.* Si frictio dicatur n; angulus inclinationis plani $= \varphi$; sin. tot. $= 1$; erit n $=$ tang. φ.

Hic angulus ita sumi debet, vt eodem vel tantillum aucto, corpus per planum descendat. — Qui vero frictionis quantitatem iuxta hanc methodum, quae sane omnium optima est, inuestigat, ille in diuersis tentaminibus cum eodem licet corpore institutis, diversum saepe esse angulum deprehendet, quo parum aucto corpus descendit. Cuius quidem ratio et in ipsa dissimilitudine, quae datur in asperitate superficiei eiusdem, quae tolli nulla arte potest, aut in machinis euitari; et in dissimili modo quaerenda est, quo eminentiae vnius in variis tentaminibus ab initio referuntur ad cauitates alterius. — Hisce etiam caussis debetur, quod corpus motum lente inchoans mox eum haud raro sua sponte sistat; id quod semper contingeret, si auctae per velocitatem frictioni hoc phaenomenon deberetur, saltem huic deberetur soli, vt viro cuidam celebri visum est.

Non aliter hic exitum reperire licuit, aut determinatum quid constituere, quam duos ponendo angulos, tamquam limites frictionis; scilicet angulum *maximum*, sub quo nunquam non super plano quiescit, et *minimum*, sub quo nunquam non corpus descendit. Priorem appello *angulum quietis*, posteriorem *angulum motus.* Medius inter vtrumque mihi est *angulus frictionis*, cuius tangens ipsam frictionis quantitatem notabit.

Si *angulus quietis* pro angulo Frictionis haberetur, foret hic iusto minor. Aucto enim tantillum hoc angulo, corpus semper non descendit, sed aliquando; non descendit motu continuo per totam plani longitudinem, sed lente serpit per hanc illamue exiguam partem. — Rursus si *angulus motus* diceretur angulus Frictionis, foret hic iusto maior. Planum enim ex situ horizontali lente eleuando, frequenter accidit, vt descendat corpus illi impositum, antequam planum ad hunc *angulum motus* peruenerit. — Hisce de caussis *medium* inter *angulum quietis* et *motus* pro *angulo attritus* habendum esse

esse putauerim: multo magis, quod calculus, de potentia onus motura in hoc angulo fundatus, egregie experientiae satisfaciat, vt multis speciminibus probatum dare possem.

Methodum hanc vno alteroue exemplo illustrabimus.

Exempl. I. Asser ex ligno quercino pedem longus, pedem latus, et $1\frac{1}{2}$ poll. crassus plano quercino bene dedolato impositus ostendit

Ang Quietis = 8°
et Ang Motus = 16°

Hinc Ang. Frictionis = 12°.
Tangens = 21255 exhibet
Quant. Friction. = $\frac{21255}{100000} = \frac{1}{4,8}$ pond.

Exempl. II. Eodem assere onerato 10, 25, 50 libr. est
Ang. Quietis = 9°
Ang. Motus = 21° 20′.

Vnde Ang. Frict. = 15° 10′
Tangens = 27106.
Frictio = $\frac{1}{3,6}$ pond.

Idem fuit euentus, adhibendo trabem quercinam 50 libr. illique onus ad 500 libr. imponendo.

Vna discimus ex hisce experimentis, quod lignum quernum aliquo vel 10 librarum pondere pressum maiorem frictionem ostendat, quam non pressum. Contrarium in aliis casibus multoties expertus sum, attritu ex pondere aliquot librarum imposito euadente minori. — Maiori autem pondere si vrgeatur corpus, inuenitur attritus continuo pressioni proportionalis.

Exempl. III. Ferrum glabrum, nitidum, quod in laminas tenues expandi solet, contra aliud ferrum simile plano meo impositum, atque huic parallelum, pondere 100, 200, 300 libr. pressum monstrauit
Ang. Quietis = 12° 30′
et Ang. Motus = 14° 45′

Hinc Ang. Frict. = 13° 37′
Tang. = 24223.
Quant. Frict. = $\frac{1}{4,1}$. pond.

Exempl. IV. Cuprum, malleo non tractatum, flauum, durum, mundum, glabrum, non politum, fupra aliud cuprum eiusdem habitus

Ang. Quietis = 6° 30′
Ang. Motus = 8° 45′

Ang. Frictionis = 7° 37′, neglectis m″.
Tangens = 13372.
Quant. Frict. = $\frac{1}{7,5}$ pond.

Non dantur metalla quae fupra fe inuicem mota, exiguam adeo ac cuprum Frictionem habent. — Requiritur autem ante omnia, vt cuprum quidem fit glabrum, continuum, non autem politum. Nam fi poliatur, tum effectus attractionis fefe vna mifcet, et nihil definiti de Frictione afferere licet.

Exempl. V. Cuprum, quod praecedenti experimento inferuiit fupra chalybem, magno pondere preffum, vtroque bene glabro licet non polito

Ang. Quietis = 9°
Ang. Motus = 10° 45′

Ang. Frictionis = 9° 52′
Tang. = 17392.
Quant. Frict. = $\frac{1}{5,8}$.

Axes machinarum plerique funt ex chalybe, vertentes fe intra cylindros cauos ex cupro. Poteft horum attritus ex huiusmodi experimentis definiri. — Poteft etiam alia nec minus recta via ad eundem fcopum contendi. — Muffchenbroekius propterea *Tribometrum* excogitauerat, cui quidem debitam laudem non denegamus. Sed fi partium Frictio fit declaranda, prout illae reuera in machinis occurrunt, illi ipfi axes qui machinae partem conftituunt examini funt fubiiciendi, atque illorum Frictio determinanda. Varias eum in finem machinas aliquando decompofui, et ex potentia rotae cylindro vel tympano, quo plerumque axes inftruuntur, applicata, ad horum Frictionem facili calculo perueni.

Efto radius axis = a; radius cylindri concentrici = r. Pondus in axem premens = M, quo comprehenduntur (1°) Pondus axis cum cylindro; (2°) Pondera ex filis fericis vel lemnifcis fufpenfa, quibus

quibus praeterea axis vrgetur; (3°.) Pondus quod hiſce addendum eſt, vt aequilibrium deſtruatur, a celebri Muſſchenbrockio neglectum; quod ſeparatim ſpectatum dicetur p.

Hiſce praemiſſis erit Frictio ad axem $= n M$; parte ponderis, quae Frictioni aequipollet, appellata n.

Momentum Frictionis ad axem $= n a M$, aequipollens potentiae ad Cylindrum applicandae, vt Frictio ſuperetur $= \frac{n a M}{r}$. Vnde

$$\frac{n a M}{r} = p. \qquad \text{Hinc} \quad n = \frac{p r}{a M}.$$

Hac formula ad multos caſus applicata obſeruaui continuam in Frictione differentiam, licet plerumque exiguam; eſſe autem illam paullo maiorem quam in exemplo vltimo obtinuit. Pro maxima Frictione obſeruaui $n = \frac{1}{3,92}$, et pro minima $n = \frac{1}{5,3}$. Quos inter numeros medius $n = \frac{1}{4,5}$ pond. exhibet quamproxime Frictionem, quam reuera axes machinarum chalybei, intra cylindros vertentes, patiuntur. Supponuntur autem axes glabri, libere ſeſe mouentes, quales in machina bene conſtituta requiruntur. — Hoc cognito, poteſt accuratius potentia determinari, ſyſtemati rotarum dentatarum, adeoque et machinae Heronis applicanda, vt ſi tantillo maior ſumatur, non onus tantum, verum et omne motus impedimentum, ſiquidem hoc ex ſuperioribus quamproxime determinare liceat, vna ſuperetur.

Sit itaque Syſtema rotarum dentatarum; ſitque Radius axis infimi vel primi $= a$. Radius tympani, cylindri vel laternae, quae ſynonyma ſunt $= t$. Radius rotae dentatae primae $= r$. Frictio $= n$. Pondus axem premens $= M$. Hinc Momentum Frictionis $= n a M$. Quod ad Cylindrum aequipollet potentiae $= \frac{n a M}{t}$. Et integra potentia tympano vel cylindro primo applicanda $= M + \frac{n a M}{t} = \frac{t M + n a M}{t} = \frac{M.(t + n a)}{t}$. Huius ergo momentum $= \frac{M.(t + n a)}{t} t = M\ (t + n a)$.

Potentia huic aequalis denti rotae primae applicanda = $\frac{M (t \mp n a)}{r} = N$.

Hac agitur in laternam fecundam

Sit Radius axis fecundi = α

Radius laternae = θ

Radius rotae fecundae = ϱ. Frictio = m.

Pondus eleuandum eft $N = \frac{M (t \mp n a)}{r}$. Igitur potentia peripheriae rotae fecundae applicanda

$$= N \frac{(\theta \mp m \alpha)}{\varrho} = M \frac{(t \mp n a)}{r} \frac{(\vartheta \mp m \alpha)}{\varrho} = O.$$

Hac agitur in tympanum tertium.

Sit Radius axis tertii = a′

Radius laternae tertiae = t′

Radius rotae = r′. Frictio = n′.

Pondus eleuandum = O.

Erit potentia π peripheriae tertiae applicanda

$$= O \frac{(t' \mp n' a')}{r'} = M \frac{(t \mp n a)}{r} \frac{(\theta \mp m \alpha)}{\varrho} \frac{(t' \mp n' a')}{r'}.$$

Vnde lex progreffionis et aucti a potentia applicata effectus fua fponte patet.

Si, vt in plerisque obtinet cafibus, vbi eiusmodi formulae poteft effe locus, ponatur n = m = n ; erit

$$\pi = \frac{M (t \mp n a)}{r} \cdot \frac{(\theta \mp n \alpha)}{\varrho} \frac{(t' \mp n a')}{r'}$$

Si radii axium, laternarum et rotarum fuerint aequales, et frictio vbique eadem, atque m defignet numerum rotarum, erit

$$\pi = \frac{M (t \mp n a)^m}{t}.$$

Rurfus fi varii, qui in fyftemate rotarum occurrunt radii, non dentur magnitudine abfoluta fed tantum relatiua, vt fit

$t = k a$	et	$r = l a$
$\theta = \varkappa \alpha$		$\varrho = \lambda \alpha$
$t' = k' a'$		$r' = l a'$.

Vbi

Vbi k, l, $\varkappa$, λ etc. numeros defignant axium multiplices, erit

$$\pi = M \frac{(k a + n a)}{l a} \cdot \frac{(\varkappa \alpha + n \alpha)}{\lambda \alpha} \cdot \frac{(k a' + n a')}{l' a'} = M \frac{(k + n)}{l} \cdot \frac{(\varkappa + n)}{\lambda} \cdot \frac{(k' + n)}{l'}.$$

Si in formula modo inuenta ponatur n = o; erit

$$\pi = \frac{M \cdot t \theta t'}{r \varrho r'}.$$ Vnde $\pi : M = t \theta t' : r \varrho r'$. h. e. *potentia ad onus eleuandum eſt in ratione compoſita radiorum tympanorum ad radios rotarum.* Quodſi porro rotarum diametri dentur per multiplices tympanorum aut laternarum, vt ſit $r = l t$; $\varrho = \lambda \theta$; $r' = l' t'$;

erit $\pi = \frac{M}{l \lambda l'}$. Siue $\pi : M = 1 : l \lambda l'$.

Quae commoda eſt regula in praxi, et ad praecedentem pertinet notiſſimam, quam omnes mechanici non conſiderata frictione iam ab antiquiſſimis temporibus repetunt.

Applicemus iam formulam inuentam

$$\pi = M \frac{(k + n)}{l} \cdot \frac{(\varkappa + n)}{\lambda} \cdot \frac{(k' + n)}{l'}$$ ad machinam Heronis.

Supra inuenimus pondus M ex funis rigiditate in exemplo Heronis increſcere ad 1060 tal. Itaque M = 1060 talentis. Reliqua ab axium, tympanorum et rotarum proportione pendent, ex machinae conſtructione petenda.

Axis F G ſuper extremis vertitur, quae frictionem producunt. Horum diameter minor ſumi poteſt diametro axis, circa quem funis conuoluitur, quo impedimentum a Frictione excitatum minuatur. Quoniam tamen ingens pondus attolli debet, habeant hae partes extremae diametrum = 2 poll. Diameter Cylindri circa quem funis voluitur ſupra poſita fuit = 4 poll. Vnde quod modo appellauimus *a*, h. e. radius axis ad radium cyl. = 2 : 4 = 1 : 2. Sequitur hinc eſſe a = 1 et k = 2. Cumque ex conſtructione machinae diameter rotae vel tympani H I ſit quintupla diametri dicti cylindri, erit r = 10 et

l =

$l = \frac{r}{a} = 10$. In ceteris partibus, quae continuo minus ſuſtinent, maior differentia admitti poteſt. Sit igitur pro axe KL, $\alpha : \theta = 1 : 3$; vnde $\varkappa = 3$ et $\lambda = 15$. Pro axe VT, $a' : t' = 1 : 3$; vnde ſimiliter $k' = 3$ et $l' = 15$. Porro pro axe CS ſumta rota $\theta\gamma$ pro tympano, aequali XZ, cuiusque diameter ex machinae conſtructione eſt aequalis radio manubrii $a'' : t'' = 1 : 15$. Vnde $k'' = 15$ et $l'' = 30$. Denique quoad Frictionem n eam ante inuenimus $= \frac{1}{4.5}$.

Subſtitutis hiſce in formula $\pi = M.\frac{(k+n)}{l}\;\frac{(\varkappa+n)}{\lambda}\;\frac{(k'+n)}{l'}\;\frac{(k''+n)}{l''}$ prodit tandem $\pi = 5, 51$ talent.

Si Frictio ponatur paulo minor, ſcilicet $n = \frac{1}{5.3}$ prout in machinis accuratius elaboratis obtinere ſupra diximus; erit $\pi = 5, 30$ tal.

Rurſus ſi axium KL, VT et CS diametri reſpectu diametrorum rotarum reſpondentium ponantur minores; id quod omnino ponere licet vt v. gr. ſit $\varkappa = 4$; $k' = 4$; $k'' = 20$; porro $\lambda = 20 = l'$; et $l'' = 40$; reperietur $\pi = 5, 13$ tal.

Denique ſi haec ratio vlterius minuatur; vt ſit $\varkappa = k' = 8$, $k'' = 40$; et $\lambda = 40 = l'$; $l'' = 80$; inuenietur $\pi = 4, 88$ tal.

Atque ita potentia oneri eleuando apta, ſi vel tantillo maior illa ſumatur, accuratius continuo determinabitur, ſi rigiditatis funium et legum attritus ratio vna habeatur; cum hiſce neglectis coniectando tantum, vt et Hero inſtituerat, augmentum illud quaeramus, quod inuentae potentiae ad onus mouendum vel attollendum addi debeat. – Vnum tantum addo, quo rotae $\theta\gamma$ et XZ ſuperfluae videri poſſint, ſiquidem manubrio SΔX axi TV ſtatim applicato, idem effectus ab applicata potentia praeſtetur.

LES MÉCANIQUES

OU

L'ÉLÉVATEUR DE HÉRON D'ALEXANDRIE,

PUBLIÉES POUR LA PREMIÈRE FOIS

SUR LA VERSION ARABE DE QOSTÂ IBN LÛQÂ,

ET TRADUITES EN FRANÇAIS

PAR

M. LE BARON CARRA DE VAUX.

INTRODUCTION.

L'importance du livre que nous publions n'a pas besoin d'être démontrée. Héron est l'un des plus grands noms de la science antique, et ses Mécaniques en ont été l'un des principaux monuments. L'original grec en est perdu pour nous; mais elles subsistent dans un état de conservation plus ou moins parfaite, dans la version arabe que possède la Bibliothèque de Leyde[1]. En entreprenant de publier et de traduire ce texte, nous ne nous sommes point proposé de traiter toutes les questions qui s'y rattachent par le dedans ou par le dehors. Ces questions multiples et aussi étendues que délicates fourniraient

[1] DCCCCLXXXIII, Cod. 51 (1) Gol.

la matière de longs travaux. Nous voulons seulement, dans cette introduction, donner quelques indications qui précéderont utilement la lecture de l'ouvrage, et qui le reporteront à peu près en la place qu'il a dû occuper dans l'histoire de la science. Nous sommes tenu d'ailleurs de démontrer que ce traité, appelé en arabe *Le livre sur l'élévation des corps graves*, c'est-à-dire *Le Baroulkos* ou *L'Élévateur*, est bien réellement *Les Mécaniques*.

L'âge de Héron avait été jusqu'ici déduit de celui de Ktésibius, que l'on regardait comme le maître de Héron. Ktésibius ayant enseigné sous le règne de Ptolémée Évergète II, son disciple aurait écrit vers l'an 100 avant le Christ. Le point de départ de cette détermination était l'association des noms de Héron et de Ktésibius dans le titre des Belopoeeca : Ἥρωνος Κτησιβίου βελοποιϊκά. La relation de disciple à maître que l'on croyait exprimée par ces deux génitifs se trouvait confirmée par une remarque d'Athénée citée dans le *De machinis bellicis* et où Ktésibius était appelé le maître de Héron : « Ctesibius patriâ Ascræus Heronis Alexandrini præceptor[1]. » Depuis peu de temps, ce système a été l'objet d'attaques qui semblent devoir le renverser[2]. L'attribution Ἥρωνος Κτησιβίου, a-t-on dit, est une attribution double sous-entendant

[1] F. Barocius, *De machanis bellicis*. Venet, 1572, ch. XXIII. f° 40 v°.

[2] V. H. Diels, *Ueber das physikalische System des Straton. Sitzungsberichte d. König. preuss. Akad. d. Wissensch. zu Berlin*. 1893, p. 6.

17

la disjonctive *ou*. Les Belopoeeca devraient être rapportées à Héron ou à Ktésibius et non pas à Héron disciple de Ktésibius; la glose d'Athénée serait sans valeur, son auteur ayant vécu à une époque trop inférieure. D'autres considérations tendraient à ramener jusqu'après l'ère chrétienne l'âge de Héron : la présence de latinismes dans ses œuvres, tels que les mots *ϖασος* (lat. passus) et *μίλια* (lat. millia) dans le dernier chapitre du traité Περὶ διόπτρας[1] et les mots *μιλιάριον* (lat. milliarium) et *ἀσσάριον* (lat. assis) dans les Pneumatiques[2]; le fait aussi que Héron n'est cité par aucun auteur avant le IIIe siècle de notre ère, et qu'en particulier son nom ne paraît pas dans Vitruve. Th.-H. Martin[3] avait déjà connaissance des latinismes qui se rencontrent dans les écrits héroniens; mais, admettant la possibilité d'emprunts faits au latin par les Alexandrins du temps de Ptolémée Évergète II, il n'avait pas vu là une objection contre l'opinion reçue. Aujourd'hui l'hypothèse de cet emprunt, avoué par Héron lui-même et impliquant que des termes grecs étaient tombés en désuétude, paraît difficilement acceptable. On se trouve ainsi conduit à placer l'auteur des Mécaniques à une époque plus basse, que l'on peut préciser jusqu'à faire de

[1] A.-J. Vincent, *Géométrie pratique des Grecs*. Notices et extraits des manuscrits de la Bibl. imp., t. XIX, 2e partie, p. 316.

[2] *Veteres mathematici*, Paris, 1693, p. 165, 180 et 224.

[3] *Recherches sur la vie et les ouvrages de Héron d'Alexandrie*, t. IV, série I des Mémoires présentés par divers savants à l'Acad. des Inscr., 1854, p. 26.

lui un contemporain de Ptolémée[1]. Ce déplacement d'un savant aussi considérable que Héron n'est pas sans jeter une assez grande perturbation dans l'histoire des mathématiques. Cantor[2], dans son bel ouvrage, récent encore, avait groupé en une même école, dont le chef eût été Héron, tous les géomètres romains qui ont fleuri depuis César jusqu'à Trajan, les Varron, les Vitruve, les Columelle, les Quintilien, les Frontin, et il concluait, après des rapprochements nombreux, que ces auteurs « avaient puisé à des sources grecques, parmi lesquelles se trouvait en tout cas *l'autre livre* de la Géométrie de Héron[3] ». Il est piquant de faire naître l'ancêtre prétendu de cette brillante lignée au moment même où elle achevait de s'éteindre. Néanmoins, quelle que soit la solution du problème qui nous occupe, les rapprochements établis par Cantor et par d'autres auteurs, entre les travaux métriques ou géométriques de Héron et ceux des géomètres anciens, ont par eux-mêmes un grand intérêt. Les Mécaniques donneront lieu, sans doute, à des comparaisons analogues, qui rendront cette solution plus prochaine. Nous avons été, quant à nous, frappé par deux considérations qui nous permettent d'appuyer d'arguments nouveaux l'opinion la plus récente. L'une de

[1] La question sera traitée dans un article du *Bull. des sc. math.*, de M. P. Tannery, actuellement sous presse.

[2] *Vorlesungen über Geschichte der Mathematik*, Leipzig, 1880, ch. XXVI.

[3] *Vorlesungen*, ch. XXVI, p. 475.

ces remarques est fondée sur la description des presses, l'autre sur celle des machines à monter les pierres; nous les rapporterons dans l'analyse qui va suivre.

A côté du problème de l'âge de Héron, un autre s'impose à notre attention : c'est celui qui a pour objet les manuscrits des Mécaniques. Existe-t-il, en totalité ou par fragments, des copies grecques de cet ouvrage; en existe-t-il d'autres versions arabes que celle de Leyde? Sur le premier de ces deux points, le mémoire de Th.-H. Martin [1] donne des indications qu'on a négligé de vérifier depuis. Ce savant a signalé, d'après Montfaucon [2], un manuscrit grec du Baroulkos, appartenant aux archives de Saint-Pierre de Rome; deux ouvrages de Héron, l'un, les Pneumatiques avec les scolies, l'autre intitulé *Opus mathematicum de oneribus sublevandis*, ce qui est le titre même de notre traité. D'après le même auteur [3], Th.-H. Martin a rappelé l'existence dans la Bibliothèque de Saint-Marc de Venise d'un manuscrit grec des *Heronis Mecanica*. Il a aussi relevé, dans le catalogue des manuscrits grecs de l'Escurial par Miller [4],

[1] *Recherches*, etc., p. 30 et 35.

[2] *Bibliotheca bibliothecarum manuscriptorum*, t. I, p. 178. Bibl. Slusiana, 143. — Est-il vrai que Montfaucon a prétendu désigner deux ouvrages? Sa rédaction est obscure : Heronis Alexandrini Pneumatica sive Spiritalia cum scholiis, opus mathematicum de oneribus sublevandis, graece. Tomi duo.

[3] *Bibl. bibl. ms.*, t. I, p. 472.

[4] P. 325. *Catal. des manuscrits grecs* du cardinal Sirlet; Philosophie, 4.

le titre des Introductions mécaniques, Εἰσαγωγαὶ Μηχανικαί, de Héron. Bien qu'il fût difficile de croire qu'un ouvrage tel que les Mécaniques, sur lequel les regrets des savants se sont si souvent portés, pût demeurer inaperçu dans une des grandes bibliothèques de l'Europe, nous avons dû chercher à contrôler ces renseignements; Martin n'avait pu le faire, les recherches bibliographiques n'étant pas aussi aisées de son temps qu'elles peuvent l'être de nos jours.

Nous avons eu occasion de nous rendre nous-même à Rome et à Venise. A Venise, l'erreur de Montfaucon est évidente. Le manuscrit qu'il cite, sans l'avoir vu, sans doute, existe en réalité à la Bibliothèque nationale de Saint-Marc, et il porte le n° CCLXIII du catalogue de Zannetti. Il répond aux indications de Montfaucon, de façon à ne laisser aucune incertitude sur cette identification. La concordance est en défaut sur un seul point : ce que l'auteur de la *Bibliotheca bibliothecarum* appelle les Mécaniques de Héron est en fait les Pneumatiques.

A Rome, nos recherches n'ont pas abouti à un résultat aussi net. Nous avions à retrouver un manuscrit ayant fait partie de la Bibliothèque Slusiana, un autre ayant appartenu au cardinal Sirlet, tous deux perdus de vue depuis l'époque de ces attributions. Les personnes qui s'occupent de l'histoire des manuscrits savent quelle est l'extrême délicatesse de semblables problèmes, surtout lorsqu'ils portent sur les bibliothèques romaines. La collection slusienne a été dispersée; elle est revenue en partie au Vatican, soit directement, soit par l'intermédiaire du fonds otthobonien; plusieurs de ses livres sont entrés dans des bibliothèques particulières, entre autres, dans celle du palais Chigi; son histoire, en somme, est fort incertaine. La collection Sirlet, d'après une note de Miller lui-même, d'ailleurs sujette à caution, est venue aussi grossir le fonds otthobonien, après deux transmissions. Nous avons bientôt reconnu que retrouver par la voie historique les manuscrits cités nous était impossible, et nous nous sommes borné à quelques recherches directes dans les bibliothèques du Vatican. Mais ni le soin que nous avons mis à ces recherches, ni la complaisance avec laquelle on nous y a aidé, n'ont pu faire découvrir la trace des Mécaniques de Héron. L'existence d'un manuscrit de ce traité, en Europe du moins, doit être considérée, pensons-nous, comme tout à fait improbable.

Il nous restait à prendre des informations sur une compilation arabe de la Bibliothèque bodléienne, dont le titre avait aussi attiré l'attention de Th.-H. Martin[1]. M. E. Renan le lui avait traduit : « Ce que Héron a tiré des grecs Philon et Archimède, sur la traction des fardeaux, les machines qui lancent les projectiles, les moyens pour faire monter l'eau et la recueillir, et autres choses semblables. »

M. Ad. Neubauer, que nous avons consulté à ce sujet, nous a répondu que ce manuscrit paraissait

[1] *Recherches*, etc., p. 49. — *Codicum manuscr. orientalium catalogus*, 1787, pars prima, CMLIV, Marsh. 669.

être sans rapport avec Héron, et que le titre reproduit par Uri était d'une tout autre main. Ainsi nous nous sommes trouvé ramené au seul manuscrit de Leyde.

Ce manuscrit arabe de Leyde, que nous éditons, a été déposé à la Bibliothèque de cette ville par le célèbre Golius qui l'avait rapporté d'Orient avec d'autres manuscrits. Golius l'avait traduit en latin, mais sa traduction ne parut pas. Brugmans[1], qui l'étudia avec l'intention de la publier, la trouva en maint endroit fort difficile à comprendre, et il se contenta d'en extraire le premier chapitre pour l'insérer dans un mémoire présenté à la Société royale des sciences de Gœttingue, en l'année 1785. Le reste du mémoire de Brugmans ne contient aucun autre renseignement sur le traité de Héron ni sur la traduction de Golius. L'auteur s'y borne à analyser les effets du frottement sur la machine de Héron prise comme exemple. Nous ne nous sommes point occupé de la traduction de Golius, qui, d'ailleurs, avec les autres papiers de ce savant, a quitté la Bibliothèque de Leyde.

Le Baroulkos occupe dans le manuscrit 75 pages. A la suite est relié un autre traité sur l'usage des instruments astronomiques, occupant les pages 77-112, non daté et non accompagné de figures. Le manuscrit des Mécaniques est également sans date; mais on remarque sur la couverture, au-dessous du

[1] *Specimen mechanicae veterum per mechanicam recentiorem plenius expositum*, ab Antonio Brugmans. Comment. Societatis regiae scientiarum Gottingensis, vol. VII, p. 75-88, 1785.

nom d'un de ses possesseurs, la date de 849; il a donc été écrit avant l'an 1445 de notre ère, et peu de temps avant cette date, si l'on en juge par le caractère de l'écriture. Il est de format in-quarto et il compte 23 lignes à la page. Un lecteur arabe y a fait des corrections qui sont justes en général. Le neskhi régulier dans lequel ce texte est écrit serait facile à lire si les points diacritiques avaient été mis avec plus de soin. Malheureusement ces points qui changent نقل en ثقل, ميل en مثل, حبل en حيل ne peuvent être d'aucun secours dans les passages difficiles. L'encre a jauni et pâli sans jamais s'effacer tout à fait. De la page 18 à la page 21, de grandes taches d'humidité courent du haut en bas des feuilles. Les morsures des vers trouent en zigzag les marges inférieures sur presque toute l'étendue du manuscrit, et remontent quelquefois jusqu'à la dernière et à l'avant-dernière ligne, où elles enlèvent plusieurs lettres. Ces altérations ont en somme peu d'importance; certaines perturbations internes que présente le texte dans la première moitié du premier livre, et que nous signalerons en notes, n'en ont pas davantage, car on peut aisément ressaisir le fil interrompu du discours. Les figures sont moins satisfaisantes que la lettre, bien qu'elles soient nombreuses; elles ont cet aspect schématique et rebelle à tout effet de perspective qu'offrent trop souvent les manuscrits anciens. Le trait est rouge et de finesse médiocre. Plusieurs d'entre elles ont subi de forts grattages, qui ne leur ont pas fait gagner beaucoup en précision ni en clarté. Toutes sont très imparfaites, et elles n'apportent que de loin en loin quelque lumière pour l'intelligence du texte. Nous avons voulu, malgré tout, reproduire ces figures en les modifiant le moins possible. Nous n'aurions pu les transformer en des dessins achevés sans leur ajouter des détails que ni elles ni le texte ne nous font connaître et qui eussent introduit dans notre travail un élément conjectural trop important.

La valeur propre de cette traduction arabe paraît grande; on en jugera par la lecture de cet ouvrage, et aussi par le contrôle que fournissent les fragments conservés des Mécaniques. Le traducteur, au reste, est célèbre. Qostâ ibn Lûqâ est un contemporain du fameux philosophe Alkendi; il prit avec lui une grande part au mouvement littéraire et scientifique qui se développa sous les successeurs du khalife Hârûn Arrachîd, et par lequel la sagesse antique fut transportée dans le monde arabe. Abû'lfaradj[1] nous dit que, quand Qostâ ibn Lûqâ mourut, il fut enterré avec grand honneur, et qu'on éleva sur son tombeau une qubbeh, témoignage de vénération réservé d'ordinaire aux princes et aux saints docteurs. Le titre du manuscrit nous apprend qu'il entreprit sa traduction sur l'ordre d'Abû'l'abbâs Ahmed ibn Almu'tasim; c'est le khalife Almusta'în billah, descendant d'Hârûn. Ce titre ajoute que l'ouvrage fut traduit du grec en arabe[2], directement.

[1] *Histoire des dynasties*, éd. Salhani, p. 259.

[2] D'après Hadji Khalfa, 1099, Costa ben Luca traduisit du grec en arabe *Les Sphériques de Théodose*, sur l'ordre d'Almusta'în billah

26.

Nous devons maintenant rechercher toutes les principales attaches par lesquelles notre texte tient aux œuvres déjà publiées de Héron et aux autres œuvres de l'antiquité romaine et grecque. Tout d'abord connaît-on des fragments des Mécaniques? On en connaît plusieurs. Le premier[1], qui n'est en effet qu'un fragment dans les Mécaniques elles-mêmes, en forme le premier chapitre. Nous en avons déjà deux fois parlé, ayant rappelé qu'il avait été publié par Brugmans sur la version latine de Golius, et qu'il se retrouvait à la fin du traité Περὶ διόπτρας. Ce fragment est en outre cité par Pappus[2]; mais Pappus ne le reproduit pas, et il se propose le même problème qui y est traité en prenant un autre rapport des roues aux pignons et un autre rapport de la puissance motrice aux poids. En soi, ce fragment est de peu d'intérêt et la machine qu'il décrit, le train d'engrenages, est sans valeur pratique, à cause des frottements qui s'y produiraient. Il est utile pourtant que nous nous y arrêtions, afin d'élucider le sens du mot Baroulkos, en tant que terme technique et en tant que titre d'un traité.

Vincent[3] a cru que le Baroulkos était la machine même décrite dans ce passage; Brugmans, moins

Abu'l'abbâs Ahmed ibn Almu'tasim, pendant son khalifat. Il commença sa traduction environ l'an 250 de l'hégire (864 du Ch.). Cette formule est toute semblable, moins la date, à celle de notre titre.

[1] *Méc.*, l. I, 1.

[2] Pappus, éd. Hultsch, l. VIII, prop. 10, p. 1061.

[3] *Géométrie pratique des Grecs*, par A.-J. Vincent. Notices et extraits des manuscrits de la Bibl. impériale, t. XIX, 2ᵉ partie, 1858,

formellement, incline vers la même erreur. Le nom de la machine était devenu, pour Vincent[1], le titre du premier chapitre ou du premier livre du traité de Héron, puis celui du traité tout entier. Or rien ne justifie cette application étroite du terme de Baroulkos. La même machine, décrite en un autre endroit par Héron, décrite aussi par Pappus, n'est pas nommée Baroulkos, elle ne reçoit pas d'appellation propre. Il faut donc, comme terme technique, garder à ce mot sa valeur déjà connue : il désigne l'une des parties de la mécanique, selon la division des anciens, celle qui a pour objet l'élévation des corps graves[2]. C'est ce que rend exactement le titre de notre manuscrit : كتاب في رفع الأشياء الثقيلة, livre sur l'élévation des choses lourdes, et c'est ce sens que nous avons voulu renfermer dans ce mot « l'élévateur », moins abstrait malheureusement que le substantif grec et que le masdar arabe. En conséquence, l'ouvrage que nous éditons, si l'on s'en rapporte à son titre, est vraiment le Baroulkos; ce nom, au reste, ne lui disconvient pas, car il est en grande partie consacré à la branche de la mécanique que ce terme désigne.

Cependant la situation du fragment qui nous occupe n'est pas nette : il est déplacé et isolé aussi bien

p. 169 : « ...un chap. de Pappus qui reproduit en le commentant le chap. où Héron d'Alexandrie décrit le *Barulcus* (machine à lever les fardeaux au moyen d'une roue dentée) ».

[1] *Op. cit.*, p. 337.

[2] Βαροῦλκος pour *βαρυολκός*, pondus trahens sive elevans.

dans notre Baroulkos que dans les Dioptriques. Dans notre ouvrage, il vient en tête du premier livre, appelant avant lui un lemme qui ne le précède pas, laissant après lui une lacune; et il n'y a point, dans aucun des trois livres du Baroulkos, une place où il manque, un vide qu'il puisse combler. S'ensuit-il que, à l'encontre de ce que nous venons de dire, il doive être considéré comme le reste d'un opuscule perdu, qui serait le véritable Baroulkos, et faudrait-il entendre en ce sens la phrase de Pappus[1]: « Héron explique cette machine d'une manière très sagace dans le livre appelé le Baroulkos, en se fondant sur un lemme qu'il a démontré dans les Mécaniques, là où il traite des cinq puissances? » Nous ne le pensons pas; pour nous, la distinction que Pappus semble établir ici entre le Baroulkos et les Mécaniques n'est qu'apparente; elle peut tenir à quelque légère inexactitude de langage. On en sera convaincu si l'on se reporte au livre deuxième des Mécaniques[2], là où le texte est le plus correct et le raisonnement le plus serré; on y retrouvera une autre description du train d'engrenages, venue tout à fait à sa place, et à laquelle peut également s'appliquer la citation de Pappus; le rapport des roues aux pignons y est de 5 à 1, comme le veut Pappus, et celui de la puissance au poids, de 5 à 1,000, comme il le veut aussi. Or Pappus dit expressément que c'est dans le Baroulkos que Héron résout dans ces conditions le problème de

[1] L. VIII, prop. 10, p. 1061.
[2] *Méc.*, l. II, 21.

mouvoir un poids de 1,000 talents avec une puissance de 5 talents. Si donc nous appliquons sa citation au chapitre du livre II, au lieu de l'appliquer au fragment du livre I, nous y trouvons un motif de plus pour voir dans la version de Qostâ le Baroulkos de Héron. Concluons alors que le fragment du livre premier peut être un extrait et une variante du livre II de l'Élévateur, qu'il a été rapporté maladroitement en tête d'un manuscrit, probablement acéphale, de cet ouvrage, et inséré sans motif sérieux dans les Dioptriques.

Un autre fragment[1] des Mécaniques a été souvent reproduit, c'est celui qui contient une élégante solution du problème dit *délien* : « étant donnée une ligne, en trouver une autre telle que deux figures solides semblables construites sur ces deux lignes soient entre elles dans un rapport donné ». Ce problème se ramène à celui-ci : « trouver deux moyennes proportionnelles consécutives entre deux lignes données ». La solution offerte par Héron dans le livre premier de ses Mécaniques est répétée par lui dans les Belopoeeca[2]. Elle y est amenée par cette question : construire une machine triple de celle qui a pour diamètre une certaine ligne $\alpha\beta$. Elle fait partie, dans les Mécaniques, d'un ensemble de propositions sur la similitude que nous avons réunies en une section.

[1] *Méc.*, l. I, 11.

[2] *Ἥρωνος Κτησιϐίου βελοποιϊκά*, dans les *Veteres mathematici* de Thévenot, Paris, 1693, p. 142.

On peut donc admettre qu'elle est à sa place dans les deux endroits.

Le problème délien était fameux dans l'antiquité; la solution de Héron paraît avoir été fort admirée. Pappus[1] la reproduit avec celles d'Ératosthènes, de Nicomède et la sienne propre. Il en rapporte la citation aux deux traités héroniens : *ut Hero docet in mechanicis et in catapulticis.* Eutocius[2] la répète aussi dans son commentaire sur la sphère et le cylindre d'Archimède, et il la compare aux solutions fournies par les autres auteurs. Il la rapporte aux Introductions mécaniques et aux Belopoeeca : *ὡς Ἥρων ἐν μηχανικαῖς εἰσαγωγαῖς καὶ ἐν τοῖς βελοποιϊκοῖς.* Évidemment ces Introductions mécaniques ne sont pas distinctes des Mécaniques elles-mêmes. Nous avons rencontré le même titre dans le Catalogue des manuscrits grecs de l'Escurial par Miller. Nous le retrouvons — et ceci est plus intéressant — dans notre texte arabe, à la fin du premier livre : اما فى اوّل القول من مداخل صناعة الحيل فيكفى بهذا « cela suffit comme premier discours des *Introductions mécaniques.* » La citation d'Eutocius est ainsi parfaitement justifiée.

Reprenons l'énumération des citations de Pappus réunies dans son livre VIII. Après avoir exposé à sa

[1] L. III, prop. 4, p. 57, et l. III, prop. 5, p. 63-65. Pappus ajoute, p. 57 : tertium illa quae Heronianis probatur, maxima ad manuum operationem iis qui architecturae student accommodata. — La remarque est de Héron.

[2] *Archimedis opera omnia cum commentariis*, éd. Heiberg, t. III, p. 71.

manière, mais sans s'écarter beaucoup de celle de Héron, la construction d'un train d'engrenages, Pappus[1] meut la roue la plus éloignée du poids par une vis engrenant avec elle. Héron, ajoute-t-il, a exposé dans les Mécaniques comment cela doit se faire. Héron, en effet, qui n'applique pas dans ses descriptions du train d'engrenage ce mode de transmission, l'explique longuement dans un autre endroit de notre traité[2]. Plus loin Pappus[3] montre comment chaque tour de la vis déplace une dent de la roue qui engrène avec elle; c'est ce que Héron, dit-il, a démontré dans les Mécaniques. Nous retrouvons aussi cette démonstration dans notre livre[4]. La construction de la vis expliquée par Pappus[5] est très voisine de celle que donne Héron[6]; mais Pappus ne le cite pas, il déclare se reporter à Apollonius de Perge.

La proposition que les grands cercles l'emportent sur les petits, s'ils tournent autour du même centre, est donnée par Pappus[7] comme ayant été démontrée par Archimède dans son traité Περὶ ζυγῶν et par Philon et Héron dans leurs Mécaniques. Cette proposition se retrouve en vérité en plusieurs passages de notre livre[8]. La loi d'équilibre de la puissance et

[1] L. VIII, prop. 11, p. 1069.
[2] *Méc.*, l. II, 6.
[3] L. VIII, prop. 24, p. 1115.
[4] *Méc.*, l. II, 18.
[5] L. VIII, prop. 24, p. 1111.
[6] *Méc.*, l. II, 16.
[7] L. VIII, prop. 10, p. 1069.
[8] *Méc.*, l. I, 6-7; 32-34. l. II, 7-8.

du poids agissant sur le treuil est aussi, selon Pappus[1], démontrée dans les Mécaniques de Héron. Elle y est, en effet, exposée et expliquée à plusieurs reprises et sous plusieurs formes[2].

Après la partie du livre VIII où se trouvent les citations que nous avons rapportées vient, dans Pappus, une suite assez longue d'extraits tirés des Mécaniques de Héron. Cette partie[3] commence par ces mots: « Τοσαῦτα μὲν οὖν περὶ τοῦ βαρουλκοῦ, hæc igitur de barulco », qui peuvent ne point désigner tous les passages relevés par Pappus, mais uniquement celui où il décrit le train d'engrenages; ils signifieraient ainsi : « voilà ce qui concerne l'élévateur »; aussitôt après l'auteur ajoute « sed earum quas diximus quinque potentiarum (les 5 machines simples) breviorem expositionem. . . . . excerpemus ex Heronis libris, ac subjungemus etiam ea quæ de machina μονοκώλῳ sive unius membri, tum de bimembri, trimembri, quadrimembri commemorari necesse est, ne quando libros in quibus hæc scripta sunt, frustra anquiras ». Nous ne nous arrêterons pas sur la légère opposition que ce texte semble établir entre le fragment du Baroulkos et les livres dans lesquels Pappus a puisé la description des cinq puissances et des autres machines. Ces livres sont le second et le troisième de notre ouvrage; l'identité

[1] L. VIII, prop. 10, p. 1065.

[2] L. II, 10, 20-21. Cette proposition se confond d'ailleurs avec la précédente et avec la loi d'équilibre dans la balance.

[3] Pappus, éd. Hultsch, p. 1115-1135.

des paragraphes de notre texte avec ceux de Pappus le prouve avec évidence. Si la phrase de Pappus paraît indiquer que la description du train d'engrenages appartient à un ouvrage distinct, c'est que cette description avait fait l'objet d'extraits et de variantes, comme nous l'avons déjà montré. Il entrait dans la pensée de Pappus ou de l'auteur des additions faites à son livre VIII, de rendre inutile à ses lecteurs la consultation des Mécaniques de Héron et des œuvres de Philon. Ce dessein se trouvait déjà exprimé à l'endroit où Pappus parle de l'engrenage de la vis et d'une roue dentée[1] : « hoc..... etiam a nobis, ne quidquam extra hanc collectionem quærendum sit, describetur ». Les fragments de sa collection reproduisent en effet exactement l'ouvrage de Héron, tel que nous le publions, en tout ce qui concerne la description des cinq machines simples, y compris celle de la vis sans fin mue par un tambour denté[2]. A la suite de cela Pappus[3] saute toute la partie des Mécaniques où sont rationnellement expliquées les causes qui font que les faibles puissances meuvent de grands poids par le moyen des machines; il supprime sciemment cette théorie, et il le dit : « quæ autem causa sit, cur per unamquamque earum magna pondera parva utique vi moveantur, Hero demonstravit in mechanicis ». Il passe aussi le reste du livre II, mais sans en parler. Il en vient alors

[1] Pappus, p. 1115.
[2] *Méc. de Héron*, l. II, section I.
[3] Pappus, p. 1131.

au livre III : « jam nos deinceps ex tertio Heronis libro describemus machinas ad facilem et lucrosum usum aptas, per quas rursus magna pondera movebuntur ». Suivant presque mot à mot le commencement de notre troisième livre[1], il décrit l'espèce de chariot appelé *chelona*, sur lequel sont traînés à terre les lourds fardeaux, et la machine à un seul membre à l'aide de laquelle les pierres sont hissées sur les murs. Mais là s'arrêtent ses extraits. Ils sont inachevés : il aurait dû, selon sa promesse, nous décrire les machines composées de deux, trois et quatre montants et servant au même usage. Ces machines, nous en lisons la description dans la suite de notre traité[2]. L'identité de ce traité avec les Mécaniques, telles que nous les connaissons par les extraits de Pappus, est donc aussi complète qu'elle peut l'être : elle se vérifie tout le long des fragments reproduits, aussi bien que par l'existence des passages simplement cités, et par la place que ces passages occupent, toutes les fois qu'elle est désignée.

L'étude de ces citations et de ces extraits divers nous a conduit à deux conclusions, l'une, que notre ouvrage est légitimement intitulé *Le Baroulkos*, l'autre qu'il est identiquement *Les Mécaniques* : il ne nous reste plus qu'à faire la synthèse de ces résultats en reconnaissant l'identité du Baroulkos avec les Mécaniques et en mettant ce double nom en tête de notre publication. Toutefois, comme le nom

[1] *Méc. de Héron*, l. III, 1 et 2.
[2] *Méc. de Héron*, l. III, 3-5.

général de Mécaniques embrasse mieux l'ensemble des matières qui y sont traitées, et que ce nom a paru avoir dans les citations relevées une importance plus grande, nous le plaçons en premier titre, et nous gardons pour le sous-titre le mot d'élévateur que nous avons choisi pour rendre à la fois le nom grec de Baroulkos et le titre arabe.

L'identité du livre de Héron a été constatée grâce à des témoins postérieurs à Héron. En remontant au contraire à une époque plus haute, nous en découvrirons les origines. La part d'Aristote et celle d'Archimède dans l'ouvrage du mécanicien d'Alexandrie sont considérables. D'autres auteurs, architectes ou mécaniciens, tels probablement que Vitruve et Philon, doivent leur être adjoints, mais pour une part moindre.

Si nous nous arrêtons d'abord au troisième livre, le moins intéressant au point de vue théorique, le seul ayant un caractère pratique, nous sommes frappés des similitudes qu'il présente, dans quelques-unes de ses parties, avec certains chapitres de Vitruve. Héron ne cite cependant pas plus Vitruve que Vitruve ne cite Héron; et les deux auteurs ne se copient pas l'un sur l'autre. Le rapprochement entre eux est surtout manifeste dans la description de la machine à un seul montant appelée *μονόκωλος* et qui correspond à la grue[1], et de la machine à trois montants qui correspond à la chèvre[2]. Signalons

[1] Vitruve, l. X, ch. V. — *Méc.*, l. III, 2.
[2] Vitruve, l. X, ch. II. — *Méc.*, l. III, 4.

aussi le passage qui a pour objet les fondations sous l'eau[1]. L'une des remarques qui peuvent intéresser la question de l'âge de Héron, et auxquelles nous avons fait allusion plus haut, a rapport aux machines destinées à monter les pierres. On trouve dans les Mécaniques l'exposé d'un système pour soulever les pierres au moyen de coins en fer, dont Vitruve ne parle pas, peut-être parce que l'invention de ce système lui est postérieure. Guillaume Philander l'explique en note dans son édition de Vitruve, en l'éclaircissant par une figure, et d'une façon tout à fait conforme aux indications de Héron[2].

La description des presses, donnée dans les Mécaniques avec des détails assez nombreux, devra être comparée aux descriptions laissées par Vitruve, par Caton et par Pline[3]. Ce chapitre nous suggère une seconde remarque, plus importante que la précédente, touchant la date de Héron. Pline nous apprend en effet que, cent ans environ avant son époque, les vis furent substituées aux cabestans pour mouvoir le levier des grandes presses, et que, pendant le temps de sa vie, la petite presse à vis et sans levier fut inventée. Or cette dernière est justement celle qui est décrite dans le paragraphe 19 du der-

[1] Vitruve, l. V, ch. XII. — *Méc.*, l. III, 11.

[2] *M. Vitruvii Polionis de architectura libri decem*, ed. Gulielmus Philander Castilionius. Lugd., 1552. Notes au l. X, ch. II, p. 406. — *Méc.*, l. III, 8. — Cf. aussi même note et *Méc.*, l. III, 7 (*l'écrevisse*).

[3] *Méc.*, l. III, sect. II, 13-20. — Vitruve, l. VI, ch. VI. — M. P. Catonis *De re rustica*, ch. XVIII. — C. Plinii Secundi *Nat. Hist.*, l. XVIII, 31 (74). Éd. Mayhoff, 1892.

nier livre des Mécaniques; le paragraphe suivant en donne même une variante que l'on peut prendre pour un perfectionnement d'invention postérieure. D'ailleurs cette machine ne paraît pas être une nouveauté aux regards de l'auteur. Comme, d'autre part, le texte ne présente pas, dans tout ce livre, de marques d'altération grave et que le discours y est suivi d'une manière satisfaisante, on est obligé de reconnaître que ces considérations constituent un argument très fort en faveur de l'opinion qui rabaisse l'âge de Héron au-dessous de l'époque de Vitruve et de Pline.

Aristote est, en philosophie naturelle, le maître de l'auteur des Mécaniques. Celui-ci a été ingrat en ne le citant pas; mais la marque de la pensée péripatéticienne, sur son œuvre, n'en est pas moins visible. Héron, comme Aristote, est préoccupé de la recherche des causes, du *pourquoi* des phénomènes mécaniques et de la réduction de ces phénomènes à des principes simples. Les chapitres qu'il consacre à cette étude sont parmi les plus beaux et les mieux ordonnés de son livre, et ils impriment sur l'ouvrage entier un cachet de grandeur qui le rend digne d'être placé beaucoup au-dessus de la plupart des traités mécaniques laissés par l'antiquité et par Héron lui-même.

On verra comment, à la suite d'Aristote, le mécanicien d'Alexandrie ramène ce qu'il appelle les « puissances » à une nature unique[1], comment cette

[1] *Méc.*, l. II, 1, 7, et en général, l. II, sections II et III.

nature trouve dans la balance et dans le levier son expression concrète la plus simple et, dans le cercle, son expression abstraite et pour ainsi dire symbolique. L'exposition de Héron est cependant moins nette que celle d'Aristote[1], en ce qui concerne la réduction du coin et de la vis au levier. Il montre ingénieusement[2] que la vis est un coin tortu, mais il ne reproduit pas l'analyse subtile du Stagyrite qui confond ces deux puissances ensemble avec le levier. Pappus ne nous semble qu'à demi exact lorsqu'il dit[3] qu'il a appris de Philon et de Héron que les cinq machines simples sont, au fond, d'une même nature. Bien que cette idée puisse être découverte dans les Mécaniques, on la trouve plus formellement exprimée dans Aristote.

Il y a beaucoup de finesse dans l'analyse que tente Héron de l'effet de la percussion sur le coin et des conditions plus ou moins favorables du travail de la vis[4]; il y a de l'habileté dans la démonstration qu'il donne[5] du ralentissement de la vitesse dans les machines où la multiplication de la puissance est plus grande. L'idée de répartir l'effet du coup entre les différentes parties du coin est voisine de celle de la répartition de l'effet d'un poids entre ses supports. Et cette dernière idée, qui, d'après Héron[6], aurait

[1] Aristote, éd. Didot, t. IV, *Mechanica*, XVIII.
[2] *Méc.*, l. II, 17.
[3] Pappus, p. 1117.
[4] *Méc.*, l. II, 15, 19.
[5] *Méc.*, l. II, 22, 24, 26, 28.
[6] *Méc.*, l. I, 25.

surtout été mise en œuvre par Archimède, est déjà très explicite dans Aristote[1].

L'étude du mouvement dans les cercles retient assez longuement Héron dans son premier livre ; il se plaît à remarquer les oppositions et les contradictions qui se produisent, dans la rotation d'un cercle sur lui-même et dans celle de deux ou de plusieurs cercles qui engrènent, entre les mouvements des divers points de ces cercles. Ces remarques l'amènent presque[2] à décomposer le mouvement par sa projection sur deux diamètres ; un instant après il prend conscience de cette notion de la décomposition du mouvement ou de la composition des mouvements, lorsqu'il étudie le roulement sur une droite de deux cercles concentriques[3], et la translation d'un point sur une droite qui se déplace parallèlement à elle-même[4]. Héron est, encore en cela, l'élève d'Aristote. Le problème du roulement des deux cercles concentriques est connu, et il semble avoir revêtu dans la pensée d'Aristote une apparence paradoxale : comment les circonférences de deux cercles inégaux peuvent-elles se développer sur deux lignes égales? Héron ne s'arrête pas à ce tour. Il a clairement vu et montré que le plus petit des deux cercles possède, outre son mouvement propre de rotation, un

[1] *Mechanica*, XXVII, XXX.
[2] *Méc.*, l. I, 3.
[3] *Méc.*, l. I, 7. Cf. Aristote, *Mechanica*, XXV, et Cantor, *Vorlesungen*, p. 219.
[4] *Méc.*, l. I, 8. Cf. Aristote, *Mechanica*, XXIV.

mouvement d'entraînement en ligne droite qui lui vient du grand cercle.

A côté de ces emprunts faits par Héron à la pensée aristotélicienne, on rencontre dans les Mécaniques un chapitre entier[1] qui affecte l'apparence d'un véritable extrait et qui ne tend à rien moins qu'à reproduire, bien que sous une forme très abrégée et avec de sérieuses variantes, les Mécaniques d'Aristote. Ce chapitre comprend dix-sept problèmes posés par demande et réponse, comme les problèmes mécaniques d'Aristote et précédés d'une introduction qui rappelle de loin le début de la *Naturalis auscultatio;* les idées fondamentales de cette introduction sont qu'il est nécessaire de partir de principes clairs et certains pour expliquer les phénomènes, et que les principes de la mécanique physique consistent en ce que le léger est mû plus aisément que le grave et en ce que la puissance est divisible. Le premier de ces principes est familier au Stagyrite[2]. Le second, qui n'est cependant pas fort utile dans le chapitre où il est amené, a pris évidemment une importance bien plus grande chez Héron que chez Aristote. La notion de la divisibilité de la puissance avec les notions qui en découlent, celle de l'effet de chaque effort partiel dans un travail total, celle de l'effet de chaque résistance partielle dans une résistance totale, celle

[1] *Méc.*, l. II, section IV. — Cf. Vitruve, l. X, ch. VIII, qui reproduit aussi en les abrégeant plusieurs des problèmes mécaniques d'Aristote.

[2] Voir par exemple *De Cœlo*, l. IV, éd. Didot.

de la répartition du poids d'un fardeau sur les parties des corps qui le supportent, celle de la nécessité d'un minimum de puissance pour produire un travail déterminé, toutes ces notions ont incontestablement grandi, elles se sont précisées et développées d'Aristote à Héron.

Parmi les problèmes insérés dans le chapitre de Héron et dont quelques-uns reproduisent des problèmes d'Aristote, il en est deux que nous voulons signaler parce qu'ils paraissent exprimer en des termes concis et un peu obscurs, il est vrai, une conception de la pesanteur qui ne serait pas aristotélicienne. Ces problèmes sont les suivants : Pourquoi les corps lourds tombent-ils plus vite que les corps légers? Pourquoi un corps plat tombe-t-il moins vite qu'un corps sphérique de même poids? La cause, dans cette seconde question, n'est point, selon Héron, la résistance de l'air. Sa pensée semble être que la force de la pesanteur, reçue par les corps lourds en plus grande quantité et par les corps légers en quantité moindre, est aussi reçue d'un seul coup par chacune des parties en lesquelles le corps est physiquement divisé, en sorte qu'un corps plat, qui peut être considéré comme constitué par la juxtaposition de parties petites et légères, tombe comme un corps léger, au lieu que la sphère, qui est physiquement une, acquiert d'un coup tout son poids et tombe comme un corps lourd.

Il serait difficile de décider si ces problèmes de mécanique physique ont été introduits par Héron lui-même dans son ouvrage. Ils n'y sont ni plus ni moins utiles que des problèmes de géométrie dont nous avons parlé. Mais on peut du moins affirmer — ce que nous venons de citer le prouve — que ce chapitre est autre chose que la simple transcription d'une rédaction abrégée des Mécaniques d'Aristote.

Archimède est sept fois cité par Héron. Son nom est le seul qui se trouve dans les Mécaniques, avec un autre nom douteux, cité une fois. C'est à lui que Héron se reporte lorsqu'il traite des équilibres, de la répartition des poids sur leurs supports et des centres de gravité. A propos du problème de la répartition du poids[1], Héron écrit que cette question est exposée avec beaucoup d'art par Archimède dans son *Livre des supports*, كتاب القوائم. On ne connaît pas, croyons-nous, de livre d'Archimède auquel ce titre et ce sujet conviennent. La référence de Héron devrait donc être regardée comme nous fournissant une information neuve. Les autres ouvrages d'Archimède cités par notre auteur le sont sous trois titres divers : le premier[2], à l'occasion de la règle d'équilibre du fléau de balance, est désigné sous le nom de *Livres des leviers* كتب الاثقال; un second[3], à propos de la même loi, est appelé *Livre de l'équivalence de la pesanteur,* كتاب في مساواة الميل; le troisième[4], d'où

[1] *Méc.*, l. I, 25.
[2] *Méc.*, l. I, 32.
[3] *Méc.*, l. II, 7.
[4] *Méc.*, l. I, 24.

Héron dit avoir tiré la définition complète du centre de gravité, porte le titre prolixe de *Livres sur les équilibres des figures dans lesquelles sont employés les leviers*, كتاب فى المعادلات من الاشكال التى استعمل فيها الاثقال. Il n'y a guère de difficulté à reconnaître dans ces deux premiers ouvrages le traité perdu Περὶ ζυγῶν, *De stateris* ou *Des balances*. Nous pensons que le troisième n'est pas autre chose. On sait que la définition du centre de gravité fait défaut dans le *De planorum æquilibriis*. Le géomètre de Syracuse l'avait pourtant donnée dans l'un de ses ouvrages; lui-même le dit dans la *Quadratura parabolæ* [1] : « nam omnia suspensa, in quocumque puncto posita sunt, ita manent, ut punctum suspendii et centrum gravitatis suspensi in perpendiculari posita sint. Nam hoc quoque demonstratum est ». Heiberg ajoute : « sine dubio in libro Περὶ ζυγῶν ». Nous nous rangeons à son avis.

Le nom douteux [2] auquel nous avons fait allusion est celui d'un peintre qui aurait été, selon Héron, l'auteur — le premier auteur sans doute — d'une définition du centre de gravité. N'ayant pas réussi à reconnaître le personnage, nous avons transcrit son nom de بوسدوموس ou برسدوموس par Praxidamas. Nous sommes ici dans l'inconnu; nous y resterions, si nous rappelions les noms de Philon ou d'autres mécaniciens plus obscurs qui ont une part dans

[1] *Archimedis opera omnia*, éd. Heiberg, t. II, p. 306, 23 et note. — Cf. Heiberg, *Quaestiones Archimedae*, p. 32.

[2] *Méc.*, I. I, 24.

l'œuvre de Héron, mais auxquels nous ne saurions rendre exactement justice, vu la connaissance trop incomplète que nous avons de leurs travaux.

En achevant ces remarques, nous demandons l'indulgence des savants pour les nombreuses imperfections qu'ils relèveront dans cette publication. Elles ne doivent pas nous être toutes imputées. Nous avions affaire à un texte trop souvent incorrect que nous avons reproduit avec scrupule. Le premier livre nous a présenté de gênantes transpositions, des lacunes, des altérations fréquentes et si graves parfois qu'il ne nous a été possible de donner, de deux de ses principaux passages [1], qu'une traduction à peu près informe. Le troisième livre, sans porter les mêmes traces de souffrance, était difficile à cause des mots techniques qui s'y rencontrent et de la grossièreté des figures. Quel que fût le texte, nous nous sommes efforcé partout de le conserver tel; c'est en nous y attachant avec fidélité, comme éditeur et comme traducteur, beaucoup plutôt qu'en essayant de le corriger ou de le restaurer, que nous avons cru pouvoir être utile à la science.

[1] Sur un instrument destiné à construire des figures semblables dans l'espace, l. I, 18, 19, et sur le centre de gravité, l. I, 24.

TABLES DES MATIÈRES
DES MÉCANIQUES
OU
DE L'ELÉVATEUR DE HERON D'ALEXANDRIE.

Livre Ier.

similitude des figures irrégulières. — 13. Définition du centre de similitude. — 14. Trouver une figure semblable à une figure donnée. — 15. Description d'un instrument destiné à tracer les figures semblables dans le plan. — 16. Transporter en un lieu quelconque du plan la figure tracée. — 17. Transporter en un lieu quelconque de l'espace une figure solide tracée. — 18. Description d'un instrument destiné à construire les figures semblables dans l'espace. — 19. Application de cet instrument au tracé des figures solides symétriques.

IV. — 20. Un corps grave posé sur un plan est mis en mouvement par toute force, si petite soit-elle, qui incline ce plan. — 21. Les aspérités des corps graves les retiennent sur les plans inclinés. — 22. Un poids est mû par une puissance qui lui est égale, au moyen d'une corde passée autour d'une poulie. — 23. Équilibre d'un cylindre posé sur un plan incliné.

V. — 24. Définition du centre de gravité.

VI. — 25. Problème de la répartition des poids sur leurs supports. — 26. Répartition du poids d'une poutre sur des supports, les extrémités de la poutre ne dépassant pas les supports. — 27. Répartition du poids d'une poutre sur deux supports, dont l'un est à une extrémité de la poutre, l'autre ayant une position variable. — 28. L'action de la poutre, dans le cas précédent, est comparable à celle d'un levier. — 29. Un minimum de force est nécessaire pour mouvoir un poids, sans l'intermédiaire d'une machine. — 30. Répartition du poids d'un corps sur deux supports qu'il dépasse par ses deux extrémités. — 31. Répartition des poids suspendus à une poutre, sur les supports de cette poutre. — 32. Équilibre d'un fléau de balance. — 33. Équilibre d'un fléau de balance de forme irrégulière. — 34. Équilibre de deux poids suspendus par une corde passant autour d'une poulie.

LIVRE II.

I. — 1. Les cinq machines simples. Le treuil. — 2. Le levier. — 3. La moufle. — 4. Le coin. — 5. La vis sans fin. — 6. Combinaison de la vis et de la roue dentée.

II. — 7. Explication de l'effet des cinq machines simples. Effet de la puissance, lorsque la puissance et le poids sont appliqués à deux cercles concentriques. — 8. Explication du levier. — 9. Équilibre d'un corps grave soulevé par un levier et restant appuyé à terre. — 10. Explication du treuil. — 11. Explication de la moufle. Lorsque la corde passe une fois au support fixe, la puissance, dans l'état d'équilibre, est égale au poids. — 12. Lorsque la corde passe n fois au support fixe, la puissance, dans l'état d'équilibre, est égale à la fraction $\frac{1}{n+1}$ du poids. — 13. Lorsque l'extrémité de la corde est attachée au support fixe, au lieu de l'être au poids, la résistance du support équivaut à de la puissance motrice. — 14. La percussion agit sur le coin, encore après qu'elle a cessé. — 15. Le coin peut être mû par une percussion, si faible soit-elle. Analyse de l'effet de la percussion sur le coin. — 16. Explication de la vis. Tracé de l'hélice de la vis. — 17. La vis est une sorte de coin mû par rotation. — 18. Déplacement de la vis et des dents dans l'engrenage d'une vis et d'une roue dentée. — 19. La puissance, dans la vis, résiste d'autant mieux au poids que l'hélice se rapproche davantage d'un cercle.

III. — 20. Les machines simples qui se ramènent au cercle et à la balance ont des dimensions limitées en pratique, et leurs effets sont aussi limités. — 21. Multiplication de l'effet du treuil par la combinaison de plusieurs treuils, ou train d'engrenages. — 22. La vitesse est diminuée dans le train d'engrenages. — 23. Multiplication de l'effet de la moufle par la combinaison de plusieurs moufles. — 24. Ralentissement de la vitesse dans cette machine. — 25. Multiplication de l'effet du levier par la combinaison de plusieurs leviers. — 26. Ralentissement de la vitesse dans cette combinaison. — 27. Les effets du coin et de la vis sont indéfiniment accrus par le rapetissement de l'angle dans ces machines. — 28. Le ralentissement de la vitesse dans le coin et la vis suit le rapetissement de l'angle. — 29. Combinaison de quatre machines simples : le levier, la moufle, le treuil et la vis. — 30. On peut retrancher l'angle d'un coin, quand cet angle devient très aigu. — 31. Application de cette construction à la vis, étant donnée la largeur du doigt de bois qui glisse dans la rainure hélicoïdale. — 32. Il est nécessaire, dans toutes les machines, d'augmenter les rapports théoriques, pour tenir compte de la rigidité et des aspérités des organes.

IV. — 33. Nécessité de connaître les causes physiques qui agissent dans les différents mouvements. — 34. Dix-sept problèmes de mécanique physique, expliqués d'après les principes de la nature.

V. — 35. Centre de gravité d'un triangle. — 36. Centre de gravité d'un quadrilatère. — 37. Centre de gravité d'un pentagone. — 38. Répartition du poids d'un triangle sur trois supports placés en ses trois sommets. — 39. Répartition d'un poids appliqué en un point quelconque d'un triangle sur les trois supports placés sous ses trois sommets. — 40. Centre de gravité de trois poids appliqués aux trois sommets d'un triangle. — 41. Centre de gravité des poids appliqués au sommet d'un pentagone.

Livre III.

I. — 1. Description d'un appareil sur lequel les lourds fardeaux sont tirés sur le sol. — 2. Machine à élever les fardeaux, composée d'un mât unique. — 3. Machine à élever les fardeaux, composée de deux montants. — 4. Machine à élever les fardeaux, à trois montants. — 5. Machine à élever les fardeaux, à quatre montants. — 6. Manière de porter les pierres au moyen d'un verrou en fer. — 7. Manière de les porter au moyen de pinces dites *écrevisses*. — 8. Manière de les porter au moyen de coins en fer. — 9. Appareil pour faire descendre les grosses pierres des sommets des montagnes. — 10. Appareil pour dresser les colonnes sur leurs bases. — 11. Appareil pour poser de lourds fardeaux dans la mer. — 12. Appareil pour redresser les murs ébranlés par les tremblements de terre.

II. — 13. Presse ordinaire pour le raisin, fonctionnant par le poids d'une pierre. — 14. Même presse fonctionnant par le moyen de poulies. — 15. Presse dans laquelle le levier presseur est mû par le moyen d'une vis tournant dans un écrou. — 16. Autre genre de presse pour le raisin et les olives. Description de l'appareil qui contient les matières à presser. — 17. Description d'une variété du même appareil. — 18. Remarque sur l'usage des presses décrites dans les paragraphes précédents. — 19. Description d'une presse pour les olives, puissante, facilement transportable et fonctionnant au moyen de deux vis. — 20. Variété de la même presse, ne comportant qu'une seule vis. — 21. Construction de l'écrou de la vis.

بسم الله الرحمن الرحيم ربّ نسّر برحمتك

المقالة الاولى من كتاب ايرن فى رفع الاشياء الثقيلة امر باخراجه من اللغة اليونانيّة الى اللغة العربيّة ابو العبّاس احمد بن المعتصم وتولّى ترجمته قسطا بن لوقا البعلبكىّ

[ا] نريد ان نحرّك الثقل المعلوم بالقوّة المعلومة بتراكيب فلك ذات اسنان فيعمل شكل ثابت شبيه بالصندوق وليكن فى حيطانه الطوال المتوازية محاور متوازية ويكون بعدها بالقدر الذى تتراكب الاسنان التى لاحدها فى الاسنان التى للآخر كما سنبيّن فليكن هذا الشكل صندوق ابجد وليكن فيه محور موضوع يكون حركته سلسة وهو هز وليكن عليه فلكة مسننة ثابتة عليه وهى فلكة حط وليكن مثلا قطرها خمسة امثال قطر محور هز ولان يكون عملنا مثلا نصيّر الثقل الذى نريد ان نحرّه الف قنطار والقوّة المحرّكة خمسة قناطير فاذا كان الرجل المحرّك او الصبىّ الذى يمكنه ان يحرّك بنفسه بلا حيلة خمسة قناطير فاذا ادخلنا القلوس المشدودة فى الحمل

من ثقب ما فى حائط اب حتّى تلتفّ على محور هز فان تدور فلكة حط وبالتفاف القلوس يتحرّك الحمل ولان يتحرّك فلكة حط يحتاج من القوّة الى مايتى قنطار لانّ قطر الفلكة خمسة امثال قطر المحور على ما فرضناه وذلك قد تبيّن فى براهين الخمس قوى ولكن ليس لنا قوّة مايتى قنطار فاذًا الفلكة لا تتحرّك فنعمل محورًا آخر موازيًا لمحور هز وهو محور كل وليكن عليه فلكة ثابتة ذات اسنان وهى فلكة من وليكن فلكة حط ايضًا ذات اسنان تتراكب على اسنان فلكة من وليكن على محور كل فلكة اخرى ثابتة وهى سع يكون قطرها خمسة امثال قطر من فيحتاج من القوّة فى ان يحوّل الثقل بفلكة سع الى اربعين قنطار لانّ خمس المأيتين قنطار اربعون قنطارا وايضا نركّب على فلكة سع فلكة اخرى وهى فلكة فق ثابتة على محور آخر وهو محور ىص وليكن على هذا المحور فلكة اخرى ثابتة عليه يكون قطرها خمسة امثال قطر فلكة فق ثابتة على محور ىص وهى فلكة رش فيكون القوّة التى تحرّك الثقل على علامة رش ثمانية قناطير ولكن القوّة المفروضة لنا انّما هى قوّة خمسة قناطير فلنركّب فلكة اخرى ذات اسنان وهى فلكة تث وليكن قطرها مثلى قطر فلكة رش فيكون فلكة تث تحتاج من القوّة الى اربعة قناطير والقوّة المفروضة لنا خمسة قناطير فيكون فى هذه القوّة زيادة قنطار يستظهر بة

لما عسى ان يعرض من عسر الفلك[1] ۞ فقد تبيّن ممّا وصفنا ان المحرّك اذا حرّك فلكة تت دار محور خذ ودار بدورانها فلكة رش ودار لذلك محور ىص فدارت فلكة نق ودارت فلكة سع معها ودار لذلك محور كل ودارت فلكة من وادارت فلكة حط ودار لذلك محور هز فالتفّ القلوس على المحور وارتفع الثقل وذلك ما اردنا ان نبيّن ۞ حاشية[2] ينبغى ان يخرج محور ذخ الى ض ويقام عليه عمود ضظ مساو لنصف قطر فلكة تت او اكثر والله اعلم ۞

[۲] فى هذا الموضع نقصان فى اليونانّى كتب هذا على حدس انّه ينبغى ان يكون كذى ولانّ الدوائر الثابتة على محور واحد يكون حركتها ابدًا الى جهة واحدة وهى الجهة التى يتحرّك اليها المحور والدوائر التى تكون على محورين ويتراكب بعضها فى بعض بدنداجات يكون حركتها الى جهتين مختلفين فيكون احداهما الى ناحية اليمين والاخرى الى ناحية الشمال واذا كانت الدائرتان متساويتين استوفت دورة احداهما الى اليمين دورة الاخرى الى اليسار واذا كانتا

[1] P. 3, l. 3 du ms. Le paragraphe qui suit : ... فقد تبيّن jusqu'à : ان نبيّن, a été ajouté en marge. On le retrouve deux pages plus loin, p. 5, l. 1 à 4. La main qui l'a recopié dans la marge l'a barré en cet endroit du texte.

[2] Cette glose, la seule du manuscrit, occupe dans la page 3 la marge à droite de la figure. Elle est de la même écriture que les corrections.

غير متساويتين فكانت احداها اعظم من الاخرى دارت
الصغرى مرّات الى ان تدور الكبرى مرّةً على حسب ما فيها
من العظم ۞

[٣] فاذ قد بان ذلك فى هذه المقدّمة فلندر دائرتين
متساويتين اولاها حهكد والثانية زحطه على مركزى اب
وتتماسّان على نقطة ه فاذا تحرّكتا من نقطة ه فى زمان واحد
مقدار النصف منهما ففى ذلك[1] الزمان علامة ه تجوز قوس
هحد وتصير الى علامة د متحرّكة مثل حركة علامة ح فاذًا قد
يمكن ان تتحرّك علامات ما فى جهة واحدة ويمكن ان تتحرّك
بالتضادّ امّا ما يكون منها فى جهة واحدة فيتحرّك بالتضادّ
وامّا ما كان منها نظائر ففى جهة واحدة وقد يمكن ان ما
يقال انّه يتحرّك بالتضادّ انّه يتحرّك من جهة واحدة لانّ
العلامات ان تحرّكت وكانت حركتها من علامة واحدة وهى
علامة ه وتوهّمنا خطّى زاط حبك قائمين على خطّ حد يكون
الحركة التى على قوس هز ضدّ الحركة التى هى على قوس هح لانّ
احداها تتحرّك الى الجهة اليمنى والاخرى الى اليسرى وقد
يمكن ان يكون الحركة فى جهة واحدة اذا توهّمنا بعد
العلامات متساويا عن زك وايضا اذا كانت الحركة على قوسى

[1] P. 4, l. 1 du ms. Ce qui suit appartient au paragraphe 15. La suite du texte se retrouve p. 5, l. 4.

زج حد الى حد متساوية وهذا ينبغى ان نتوقّه على قوسى جط دك وعلى قوسى طه كه وايضًا نقول انّه يمكن ان تتحرّك فى جهة واحدة فنقول انّ علامتى ده تتحرّك فى جهة واحدة اذ كانت علامة ه تتحرّك على قوس هزج وعلامة د على قوس دكه وكان بعدها من علامتى زك متساويًا وقربهما منهما متساويًا فهذه الحركة تسمّى المتضادّة فلذلك صار المتضادّ والمماثل من المضاف فينبغى ان يميّز فى كلّ حركة الحركة التى تماثل والتى تضادّ وهذا ينبغى ان يتوهّم فى الدوائر المتساوية فامّا فى الدوائر المختلفة فما بعد هذا ۞

[٤] فليكن الدوائر غير متساوية وليكن مراكزها على علامتى اب وليكن اعظم الدائرتين الدائرة التى مركزها على علامة ا ففى هذه الدوائر لا يتمّ الترتيب الذى فى الدوائر المتساوية فلنفرض علامتين ندرها من علامة ه ولان نمثل ذلك فنصيّر قطر جه ضعف قطر هد فاذًا يكون قوس هزج ضعف قوس هحد فانّ ذلك قد برهنه ارشميدس فاذًا فى الزمان الذى يجوز فيه علامة ه قوس هز متحرّكة فى جهة ج فى ذلك الزمان يجوز علامة ه قوس هحد وهى متحرّكة متضادّة وايضًا فى الزمان الذى يبتدى فيه علامة ه من ز فتجوز قوس[1] زج فى ذلك الزمان يبتدى علامة ه من د فتجوز قوس دكه

[1] Ms. علامة.

وتصير الى علامة ة فيكون العلامة التى تجوز على قوس ةحدكة مرّةً تضادّ حركة العلامة التى تجوز على قوس ةزج ومرّةً تكون مماثلة لها وايضًا فى[1] الزمان الذى يجوز فيه علامة ج قوس جطة فيه يجوز علامة ة قوس ةحدكة مرّةً فى جهة ج ومرّةً مضادّة لها ۞ فان كانت القوس ثلثة أمثال القوس او فى نسبة اخرى اىّ نسبة كانت فاننّا نتبيّن انّ العلامات المتحرّكة مرّةً تتحرّك فى جهة واحدة ومرّةً تتحرّك فى جهات متضادّة والله الموفّق ۞ [٥] وإن توهّمنا دائرة موضوعة تماسّ الدائرة التى مركزها علامة ب على علامة ك فانّا نبيّن ما ذكرنا فى الدائرة الاولى فى الدائرة الثالثة لانّه اذا كانت الدائرة الاولى تتحرّك حركة تضادّ الدائرة الثانية وكانت الدائرة الثانية تتحرّك حركة تضادّ الدائرة الثالثة فإنّ حركة الدائرة الاولى تكون مماثلة حركة الدائرة الثالثة فان تحرّك شىء ما حركة مماثلة لحركة شىء آخر وكانت تلك تتحرّك حركة مضادّة لحركة اشيآء آخر فانّ الاولى تتحرّك حركة مضادّة لحركة الاشيآء الثالثة ۞ فان كانت ايضًا دائرة رابعة بيّنّا ذلك ايضًا على هذا وبالجملة انّ الذى يعرض فى الثلث دوائر هو يعرض فى كلّ الدوائر التى جملتها أفراد والذى يعرض فى الدائرتين هو يعرض فى كلّ الدوائر التى جملتها ازواج ۞

[1] فى passé dans le ms.

IMPRIMERIE NATIONALE.

وقد ترى الحركة تكون مرّةً مماثلة ومرّةً مضادّة ليس فى دائرتين واكثر منها فقط لكن فى الدائرة الواحدة قد ترى العلامة الواحدة مرّةً تتحرّك فى جهة ما ومرّةً تتحرّك فى ضدّ تلك الجهة فإنّ تلك العلامة المتحرّكة اذا ابتدت بالحركة من علامة ما لا تزال تتحرّك فى جهة واحدة الى تجوز قوس نصف دائرة فامّا اذا جازت قوس نصف الدائرة الثانى فانّها تتحرّك حركة مضادّة لتلك الحركة ۞ [٦] وايضًا ليس تكون الدوائر العظام ابدًا اسرع حركة من الدوائر الصغار ولكن قد تكون ايضًا الدوائر الصغار اسرع من الكبار لانّه اذا كانت الدوائر على مركز واحد ثابتة عليه فانّ الدوائر الكبار تتحرّك اسرع من الصغار فان كانت الدوائر متباعدة وكانت فى جسم واحد اعنى على غير[1] محور واحد كما قد يكون فى العجل الكبيرة الفلك فانّ الدوائر الصغار تتحرّك اسرع من الدوائر الكبار لانّ حركتها واحدة وفى الزمان الواحد كلّ واحد منها تتحرّك فيحتاج الدائرة الصغرى ان تدور دورات كثيرة الى ان تدور الكبيرة دورة واحدة فلذلك صارت الصغرى اسرع حركة ۞ [٧] وقد يمكن ان تكون حركة الدائرة الصغرى والكبرى متساوية السرعة وان كانت الدوائر ثابتة متحرّكة على مركز واحد فلنتوهّم دائرتين ثابتتين على مركز واحد

[1] Le mot غير a été ajouté en marge.

وهو مركز آ وليكن خطّ ما يماسّ الدائرة الكبرى وهو خطّ
ب ب ولنصل علامتى آب فيكون خطّ آب قائمًا على خطّ ب ب
وخطّ ب ب يوازى خطّ ج ج فاذًا خطّ ج ج يماسّ الدائرة
الصغرى وايضًا فلنخرج على علامة آ خطًّا يوازى هذه الخطوط
وهو خطّ آ آ فان توهّمنا الدائرة العظمى مدحرجة على خطّ
ب ب فانّ الدائرة الصغرى تدحرج جائزة على خطّ ج ج فان
كانت الدائرة العظمى قد دارت دورة واحدة يظهر لنا انّ
الدائرة الصغرى قد دارت دورة واحدة فيكون وضع الدوائر
وضع الدوائر التى مركزها على آ ويكون وضع خطّ آب الوضع
الذى بخطّ آب فلذلك[1] يكون خطّ ب ب مساويًا خطّ ج ج
وخطّ ب ب وهو الخطّ الذى يتدحرج الدائرة العظمى اذا
دارت دورة واحدة وخطّ ج ج هو الخطّ الذى يلتفّ عليه
الدائرة الصغرى اذا دارت دورة واحدة فاذًا الدائرة الصغرى
حركتها مساوية السرعة لحركة الدائرة العظمى لانّ خطّ
ب ب يساوى خطّ ج ج والاشياء التى تجوز فى الازمان
المتساوية ابعادًا متساوية فانّ حركتها متساوية السرعة ۞
ولعلّ هذا القول يظنّ به انّه محال لانّه لا يمكن ان يكون
قوس الدائرة العظمى مساوية لقوس الدائرة الصغرى فنقول
انّ قوس الدائرة الصغرى لم يندرج على خطّ ج ج فقط لكن

[1] فذلك, ms.

الدائرة الصغرى تجوز مجاز الدائرة الكبرى معًا فيعرض ان بحرّك الدائرة الصغرى حركة مساوية السرعة لحركة الدائرة الكبرى بحركتين لانّا ان توهّمنا الدائرة الكبرى متدحرجة والدائرة الصغرى غير متدحرجه بل ثابتة على علامة ج وحدها فانّها فى مثل ذلك الزمان تجوز خطّ ج ج فاذًا مركز ا فى ذلك الزمان يجوز خطّ ا ا وهو مساوٍ خطّى ب ب ج ج فاذًا ليس ينفع فى الحركة تدحرج التفاف الدائرة الصغرى فانّا قد نرى المركز وهو لا يتدحرج بتّة يسلك ذلك البعد بالحركة التى تحرك بها الدائرة العظمى ۞ [٨] فامّا ان يكون العلامة الواحدة بحركتين متساويتى السرعة يمكنها ان تجوز خطوطًا غير متساوية فانّا الآن نبيّن ذلك فليفرض سطح مربّع متوازى الاضلاع قائم الزوايا وهو سطح ا ب ج د وليكن قطره خطّ ا د وليكن علامة ا جائزة مجازًا معتدلًا على خطّ ا ب وليكن خطّ ا ب متحرّكا على خطّى ا ج ب د حركة معتدلة ليكون ابدًا موازيا خطّ ج د وليكن الزمان الذى يجوز فيه ا الى ب مساويا للزمان الذى يجوز فيه خطّ ا ب الى ج د فاقول انّ علامة ا فى الزمان الواحد يتحرّك على خطّين غير متساويين برهان ذلك انّه اذا تحرّك خطّ ا ب فى زمان ما فصار موضعه[1] على خطّ ه ز فانّ علامة ا المتحرّكة على خطّ ا ب

[1] موضعه, dernier mot de la page 8; un folio est intercalé et le texte continue avec la page 11.

تكون فى ذلك الزمان على خطّ هز فيكون نسبة واحدة نسبة خطّ اج الى خطّ اب اعنى الى خطّ جد كنسبة خطّ اد الى الخطّ الذى من علامة ه الى العلامة المتحرّكة عليه ولخطّ اج الى خطّ جد نسبة هى نسبة اه الى هح فاذًا العلامة المتحرّكة على خطّ اب تصير عند ح على خطّ اد الذى هو القطر وبمثل ذلك يتبيّن انّ العلامة التى تجوز على خطّ اب هى ابدًا جائزة على خطّ اد وفى ذلك الزمان تتحرّك على كلّ واحد من خطّى اد اب وخطّى اد اب مختلفين فاذًا العلامة المتحرّكة حركة معتدلة فى الزمان الواحد تجوز على خطّين غير متساويين ولكن لما قلنا حركة العلامة على خطّ اب مبسوطة وحركتها التى على قطر اد مؤلّفة من حركة اب على خطّى اج بد ومن حركة ا على خطّ اب فاذًا علامة ا فى الزمان الواحد بالحركة المعتدلة تجوز على خطّين غير متساويين وذلك ما اردنا ان نبيّن ۝ [٩] فامّا كيف نزيد على الاشكال البسيطة والمجسّمة وكيف ننقص منها على النسبة المعلومة فانّا الآن نخبّر بذلك ليمكنّا ان نزيد فى الذراع مثلا فى الاشكال المجسّمة والبسيطة على نسبة واحدة واوّل ذلك فى الاشكال البسيطة فلنفرض خطّا ما معلوم النوع فنريد ان نجد خطّا آخر يكون للشكلين المرسومين على الخطّين المتشابهين لاحدهما الى الآخر نسبة مثل النسبة المعلومة

فليكن للخطّ المعلوم الى خطّ آخر نسبة معلومة وليفرض بين الخطين المعلومين نسبة خطّ آخر وهو الخطّ المطلوب لانّه اذا كانت ثلثة خطوط متناسبة يكون مثل نسبة الاوّل الى الثالث كذلك نسبة صورة الاوّل الى صورة الثانى المتشابهة المخطوطة بالتشابه ۞ [١٠] ولكن هبنا نريد ان نجد خطّا آخر تكون الاشكال المجسّمة التى من خطّين للمتشابهة المرسومة بالتشابه لبعضها الى بعض نسبة معلومة فليكن خطّ ما له الى خطّ آخر نسبة ما معلومة ونفرض بين هذين الخطّين خطّين آخرين فى النسبة المتّصلة فاذا فعلنا ذلك فحصنا عن مطلوبنا لانّه اذا كانت اربعة خطوط فى نسبة متّصلة يكون مثل نسبة الاوّل الى الرابع كذلك نسبة الصورة المجسّمة التى من الخطّ الاوّل الى الشكل المجسّم الذى من الخطّ الثانى المتشابه المخطوط على المشابهة ۞ [١١] فامّا كيف نستخرج خطّين مناسبين بين خطّين مفروضين فانّا نبيّن ذلك بآلة لا يحتاج الى ذلك فى الجسم ولنضع فى ذلك بما كلن فى العمل اكثر سهولة فليكن الخطّان المفروضان خطّى اب بج وليكن احدهما قائما على الآخر وهما الخطّان اللذان نريد ان نجد خطّين متوسّطين بينهما فنتمّ مربّع ابجد ونخرج خطّى دح دا ونصل بد جا ونركّب على علامة ب قانون يقطع خطّى ده از وندبره حتّى يكون الخطّ الخارج من علامة ح الى

تقاطع جد مساويا للخطّ الخارج من علامة ح الى تقاطع از وليكن وضع القانون على ەبز وخطّى ەح حز متساويين فاقول انّ خطّى از جە متوسّطين متناسبين بين خطّى اب بج واوّلها اب والثانى زا والثالث جە والرابع جب برهان ذلك من اجل ان مربّع ابجد متوازى الاضلاع قائم الزوايا فانّ الاربعة خطوط التى هى دح حا حب حج متساوية ومن اجل ان خطّ حد مساوٍ لخطّ حا وقد اخرج خطّ حز فانّ مضروب دز فى زا مع مضروب اح فى نفسه مساوٍ لمضروب حز فى نفسه وكذلك ايضا مضروب دە فى ەج مع مضروب جح فى نفسه مساوٍ لمضروب حە فى نفسه وخطّى ەح حز متساويين فاذًا مضروب دز فى زا مع مضروب اح فى نفسه مساوٍ لمضروب دە فى ەج مع مضروب حج فى نفسه ومضروب حج فى نفسه مساوٍ لمضروب اح فى نفسه فاذًا مضروب دە فى ەج الباقى مساوٍ لمضروب دز فى زا الباقى فاذًا خطّ ەد عند دز كخطّ زا عند جە وخطّ ەد عند دز كخطّ با عند از وكخطّ ەج عند جب فاذًا خطّ زا عند جە وخطّ جە عند بج كخطّ با عند از فقد القينا بين خطّى اب بج خطّين متوسّطين متناسبين هما خطّا از جە وذلك ما اردنا ان نبيّن ۞

[١٢] فامّا كيف ينبغى ان نزيد وننقص فى الاشكال المرتّبة سطوحيّة كانت او مجسّمة على النسبة المعلومة فقد اخبرنا بذلك وقد

يجب باضطرار ان نحتال فى الغير مرتّبة البسيطة والمجسّمة بحيلة يمكنّا بها ان نعمل مثل ذلك العمل ولكنّا نقدم اوّلا ما يصلح لتسهيل معرفة هذا ثمّ يتبعه بيان ذلك يقال انّ الاشكال متشابهة متساوية بسيطة ومجسّمة مرتّبة كانت او غير مرتّبة اذا امكنّا ان نرسم فى احد ما من الاشكال المستقيمة الخطوط شكلا مساويا مشابها للّذى نرسمه فى الاخر ولاشكال يقال انّها متشابهة اذا امكنّا ان نرسم فى احد ما [1] من الاشكال المستقيمة الخطوط اشكالا ما يمكنّا ان نرسم اشكالا متشابهة لها فى الاخر [2] ۞

[١٣] اذا كان خطّ ما [3] متحرّكا على نقطة ما وفرض على ذلك الخطّ علامتان تقسم الخطّ ممّا يلى العلامة الثابتة على النسبة المعلومة فانّ العلامتين التى تتحرّك على ذلك الخطّ ترسم اشكالا متشابهة فان كان الخطّ يتحرّك على سطح يكون الاشكال المرسومة بسيطة فان لم يكن الخطّ متحرّكا على سطح لكنه كان مجسّما فانّ الاشكال المرسومة تكون مجسّمة اذا توهّمنا العلامات بتقاربها ترسم بسائط الاشكال لانّه ليس بممتنع ان يتوهّم فى المحسوسات هذا الوضع وذلك فى المعقولات اكثر صدقًا واصحّ وعلى جهة اخرى تسمّى الاشكال متشابهة اذا كان اذا رسم

[1] ها, ms.
[2] الاكثر, ms.
[3] مما, ms.

احدهما فى الاخر وفرضت علامة ما تكون الخطوط الخارجة من العلامة الى نهايات الاشكال خطوط كانت او سطوح تقطعها نهايات الاشكال فى تلك النسبة ۞

[١٤] فاذا قدّمنا هذا نبيّن انّه قد يمكنّا ان نجد شكلا مشابها كلّ شكل مفروض وله اليه نسبة معلومة واوّل ذلك نبيّنه فى السطوح فلنفرض خطّا ما هو خطّ اب ثابت على علامة ا متحرّك على سطح عليها علامتين وهما علامتا بح تجوز على الخطوط وليرسم علامة ب فى السطح خطّ بجدهز وعلامة ح ترسم خطّ حطكلم فنقول انّ شكلى بجدهز حطكلم متشابهان برهان ذلك انّا نرسم فى بجدهز شكلا مستقيم الخطوط وهو شكل بجدهز وايضا[1] نرسم شكل حطكلم ونصل من علامة ا الى علامات بجدهز وهى الخطوط التى قد اخرجناها وايضا نصل حطكلم ومن اجل انّ خطوط با جا دا ها از قد قسمت قسمة متشابهة على علامات حطكلم لما فرضنا فانّ الشكل المستقيم الخطوط الذى هو بجدهز متشابه للشكل المستقيم الخطوط الذى حطكلم وبمثل ذلك نبيّن انّه قد يمكنّا ان نرسم فى شكل حطكلم شكلا مستقيم الخطوط يشابه كلّ شكل مستقيم الخطوط يرسم فى شكل بجدهز لانّ الاشكال التى رسمتها العلامتان متشابهة ۞

[1] ايما, ms.

[١٥] ولنبيّن الآن كيف نجد شكلا مشابها للشكل المسطّح المعلوم بآلة يكون اليه نسبة معلومة فنعمل صفيحتين على مركز واحد ثابتة عليه ذوات اسنان مهندمة على محور واحد متحرّكة فى السطح الذى فيه الشكل الذى نريد ان نعمل مثله وليكن نسبة الصفائح بعضها الى بعض تلك النسبة المعلومة وليكن على كلّ واحدة من الصفائح قانون ذو اسنان فى تلك الجهة وليكن اسنانها مركّبة على اسنان الصفائح ولتكن هذه القوانين فى حفر ميزابىّ من قانون آخر متحرّك على محور الصفائح بثقب مستدير وليكن على اطراف القوانين[1] المضرّسة مراكز يكون خطّ الاشكال المتشابهة ولتكن المراكز[2] تجوز على خطّ مستقيم على مركز الصفائح وليكونا[3] كلاهما ابدًا متحرّكين حركة مستقيمة على مركز الصفائح ونعمل الثلاث علامات عملا واحدا وتكون ابدا على خطّ واحد مستقيم ينبغى ان نعمل المراكز فى القوانين المسنّنة بعيدة من القوانين قدر البعد الذى لمركز كلّ واحدة من الصفائح ثمّ نعوّجها لتنال السطح الذى نريد ان نرسم فيه الاشكال المتشابهة فان مدّ احد مركزًا ما قصيّره[4] على الخطّ الذى يحيط بذلك الشكل وباعد

[1] القوانين, p. 14, l. 21 du ms. La suite du texte s'interrompt ici, et il faut revenir à la page 4, l. 1.
[2] الراكز, ms.
[3] ولا نكونا, ms.
[4] قصيرة, ms.

الآخر عنه البعد الذى يكون بينه وبين مركز الصفائح عند
البعد الذى بينه وبين مركز الآخر لنسبة اقطار الصفائح
المسنّنة بعضها الى بعض وصيّر القانون الذى فيه الحفر الميزانىّ
منفوشًا قليلاً ليكون المركز الذى على الخطّ الذى ذكرناه
جائزًا على هذا الخطّ فانّ المركز[1] الآخر يرسم الشكل المشابه
للشكل الاوّل ويرسمه ايضًا على النسبة المعلومة لانّ الصفائح
المسنّنة لاحداها الى الاخرى هذه النسبة ۞

[١٩] امّا الشكل الذى يشابه الشكل المعلوم الذى له اليه نسبة
فقد عملنا[2] فى الموضع الذى هو فيه والذى نريد ان نعمل
الشكل المشابه له فيه فان اراد احد ان لا يعمل الشكل
الموجود فى ذلك الموضع لكن فى موضع آخر حيث يريد
واضعه فانّا نستعمل فيه هذا العمل فليكن الشكل المشابه
للشكل المعلوم شكل ا ب ج د ه ز وليكن الموضع الذى نريد[3] ان
نعمله فيه ما يلى علامة ح ولنفرض فى داخل شكل ا ب ج د ه ز
علامة ما وهى علامة ط ولنرسم على علامتى ح ط دائرتين
متساويتين فى السطح ولنقسمها باقسام متساوية الكثرة على
علامات ك ل م ن س ع ف ق ر ش ت ث ولنصلها ونخرجها من

[1] المراكز, ms.
[2] علمنا, ms.
[3] نريد, dernier mot de la page 4. Deux feuillets sont intercalés et la suite se retrouve au premier mot de la page 9.

المراكز الى الفصول ونخرج خطوطا مساوية للخطوط التى فى شكل ا ب ج د ه ز من علامة ح وليكن خطّ ا ك مساويا لخطّ ق د ول ب لخطّ ر ض وم ج لخطّ ش و ون د لخطّ ت ص وس ه لخطّ ث ظ وع ز لخطّ ف خ ولنخرج على علامات خ ذ ض وص ظ والعلامات المشابهة لها خطوطا فان قسمت الدوائر المتساوية التى على مركزى ط ح باقسام اكثر فانّ كلّما كانت العلامات متقاربة كان للخطّ المرسوم اكثر صحّة واستقصآء فلنرسم خطّ خ ذ ض وص ظ فيكون هذا الخطّ مساويا ومشابها لخطّ ا ب ج د ه ز لانّ السطوح متشابهة متساويه تتراكب بعضها على بعض ۞ [١٧] وفى الاشكال المجسّمة ايضا المرتّبة والغير مرتّبة ينبغى ان يتوهّم النقلة متشابهة اعنى ان تكون كرة بدل الدائرة او فيه او اشكال ما اخر متساوية متشابهة فنفرض عليها علامات متشابهة الوضع ونخرج منها الى علامات اخر موضوعة فى اوساط الاشكال خطوطا ونخرجها فانّا اذا فعلنا ذلك كان من هذه الخطوط شكل مجسّم مساوٍ مشابه الشكل الموضوع[1] اوّلًا ۞

[١٨] فامّا المجسّمات فانّا نعملها على هذه الجهة نتّخذ لوحين من خشب سطوحيّة متحرّكة من خطّ مشترك يكون الخطّ المشترك فى كلّ حركة خطّ واحد وذلك يتهيّأ اذا كانت مراكز

[1] الموضع, ms.

السوبادحات[1] التى تتحرّك عليها الالواح على هذا الخطّ المشترك وليكن عظم الالواح على قدر عظم اعظم الشكلين المتشابهين المجسّمين وذلك الصنيعة والحاجة اليه نعلّمه ولنتّخذ شكلين من حديد تشابه الحرف الذى يسمّى هولآ[2] فلتكن اجزآء كلّ واحد منهما المقدودة متساوية وليعوّج اطرافها تعويجا له حدّة وليكن من تعويج اثنين منها صورة مثلّث وليكن النسبة المعلومة التى لاحد المجسّمين الى الآخر ثلاثة امثال النسبة التى لاضلاع المثلّث المناسبة بعضها الى بعض فليتوهّم ذلك الى خطوط اب اج اد والخطوط التى قد عوّجت جه بز دح والشكل الاخر خطوط طك طل طم وليكن الخطوط التى قد عوّجت خطوط كن لس مع وليكن المثلّثان المتشابهة حهز نسع ولنرسم على الخطّ المشترك الذى للّوحين المتحرّكين فى احد اللوحين شكلا مساويا مشابها للشكل الحديد ولنخرج على احد خطوط المثلّث خطّا موازيا لقاعدة المثلّث يحيط بمثلّث آخر مساوٍ للمثلّث الذى من حديد الذى يشابه حرف هولآ وليكن على كلّ واحد من اشكال هولآ قضيب من رصاص ملصق به وليكن طرفه محدّدًا قويّا ليكون اذا عوّجت اىّ تعويج كان وتركت تسكن اعنى لا

[1] سوبادحات. Mot douteux ayant le sens de « tourillons ». Cf. سرمادحه, « soigneusement aplani ».

[2] هولا. Ce mot est constamment employé sans article.

ترتعد لما قد يكون القضبان الرصاص التى تعمل التماثيل الانسيّة وليكن صورة هذا الحرف الذى يسمّى هولآ مشابها للاداة التى تسمّى غالاغرا [1] وليكن الالواح التى ذكرنا متحرّكة الى بعضها بعض الحركة التى اذا سكنت ثبتت وكانت غير متزعزعة كالسراطين امّا صنعة الآلة فهى هذه والذى نريد ان نخبره بعد هذا هو استعمالها [2] ۞ فاذا اردنا ان نعمل شكلا مجسّما مشابها لشكل آخر معلوم مجسّم كالنسبة المعلومة نقرّب بسيط الشكل المجسّم الى شكل هولآ ليماسّ المراكز البسيط من كلّ جهة ونقرّب ايضا الشكل الآخر المشابه هولآ للشكل الذى نريد ان نعمله فان اردنا ان نعمله اكبر من الشكل المنظور اتينا بالشكل الاعظم الى المثلّث الاعظم والآخر الى الباقى فليكن نريد ان نعمل الشكل المشابه فى حجر او خشب او آلة اخرى ونصيّر على كلّ جسم علامات المراكز ولتكن العلامات المفروضة موضوعة على الاجسام وضعا مشابها ولنعمل الاجزآء الاخر على هذا العمل وليكون التعليم ظاهرا نفرض كانّا نريد ان نرسم عينا فى مثال انسان او مثال آخر غيره فنضع مراكز هولآ على المعمول اعنى الموضوع لنا الذى نريد ان نعمل شكلا مشابها له ونعوّج طرف القضيب

[1] عالاعرا, ms. Cf. l. III, 16.

[2] استعالها, dernier mot de la page 10. La suite est à la page 14, l. 21.

الرصاص الذى عند هولآ حتّى ينال طرفه العين الذى نريد
ثمّ نرفع هولآ ونركّبه على المثلّث الذى قد رسم فى الالواح ثمّ
نخفض او نرفع اللوح الآخر الذى ليس فيه رسم حتّى يناله
طرف القضيب بانخفاضه او بارتفاعه ثمّ نرفع هولآ ونصل
خطّين من العلامة التى ينالها القضيب الرصاص على اللوح
فى نهايات ضلع المثلّث الذى على الخطّ المشترك للّوحين
ولنحفظ كلّ واحد من اللوحين غير متحرّك الى الآخر ونخرج
على العلامة الاخرى التى على الخطّ المشترك للّوحين خطّا
موازيا للخطوط العظام التى عند الخطّ الموازى للمقاعدة حتّى
تقطع الخطّ المخرج الآخر ثمّ نأخذ هولآ الآخر ونركّب اطراف
الاسنان التى قد عوّجت الحادّة على المثلّث الذى فى اللوح
المساوى للمثلّث المعلوم من اطراف تلك الاجزآء ونعوّج
القضيب الرصاص حتّى ينال العلامة التى رسمها الخطّ الموازى
فى اللوح الآخر ونرفع هولآ ونضعه على العلامات المفروضة فى
الشكل الذى لم نستعمله فعلى ايّ علامة تراكب طرف
القضيب فى الجسم تلك العلامة تكون الموضوعة على موضع
عين المثال المشابه الوضع الذى تعوّج عليها القضيب الاوّل
وكذلك ايضا نعوّج القضيب على الاجزآء الباقية[1] فنرسم
المتشابهات الوضع على الحجر ثمّ نعمل البسيط على العلامات

[1] السية, ms.

المفروضة وهى العلامات التى تعمل الشكل مشابها للشكل الذى تقدّم وضعه ويصير اليه نسبة هى النسبة المذكورة فامّا الخطّ الموازى الذى ذكرناه فانّه رسم فى اللوح الآخر بسهولة اذا رسمنا على اللوح خطّا ما موازيا للخطّ المشترك امّا ان يكون الاشكال المعمولة على هذا العمل متشابهة فذلك ظاهر لانّها من الاشكال[1] البازية متشابهة الوضع قواعدها المثلّثات التى رسمتها اطراف القضبان فى كلّ واحد من الاجسام فامّا ان يكون لبعضها الى بعض نسبة معلومة فذلك ظاهر لانّ الاشكال البازية التى منها عملت الاجسام نسبها ثلثة امثال الاضلاع المتناسبة لانّ اضلاع المثلّثات المتشابهات كذا فرضت فاذًا المجسّمات لبعضها الى بعض هذه النسبة المعلومة ۞

[١٩] فان اردنا ان نعمل ما خلف الاجسام المتشابهة نستعمل بهذه الحيلة فى جهة خلف ثلث علامات فى كلّ واحد من الاشكال موضوعة وضعا مشابها وفاعلة من الخطوط التى تصلها مثلّثين متساويين للمثلّثات المعمولة من حرف هولآ اعنى المرسومة فى اللوح الواحد وننقل كليهما هولآ فى جهة خلف ونفرض علامات متّصلة نعمل بها اجزآء الجسم المذكورة ۞ فان اردنا ان نعمل تماثيل يخالف بعضها بعضا حتّى تكون اذا قدّم احدها الرجل اليمنى يقدّم الآخر الرجل اليسرى

[1] من أشكال, ms.

قدمة تشابه رجل الآخر اليمنى وعلى هذا فى الاعضاء الآخر فانّا نعمل هكذا ننقل الى العلامة[1] المفروضة فى اللوح الآخر الى الجهة الاخرى حتّى تكون موضوعة وضعا متشابها اعنى ان يكون العمود الخارج من العلامة المذكورة على الخطّ المشترك بعيدًا[2] عن الطرف الواحد البعد الذى احاط[3] به الخطّ الآخر من العلامة الاخرى فى الجهة الاخرى ويكون مساويًا[4] للعمود الآخر اعنى ان يكون الخطّ المشترك للّوحين خطّ اب ويكون نهايات ضلع المثلّث علامتى جد والعلامة المفروضة علامة ه ولنخرج على خطّ جد عمودا وهو عمود ز ولنخرج خطّ دح مساويا خطّ جز ولكن خطّ حط المساوى لخطّ هز القائم عليه فطرف القضيب ليس نعوّجه الى ما يلى علامة ه ولكن الى ما يلى علامة ط وكذلك ندبّره بنقله الى الجهة الاخرى فنعمل اعضاء الاجسام متخالفة ۞

[٢٠] وقد ظنّ قوم انّ الاثقال الموضوعة على الارض تحرّك بقوّة معادلة لها باستعمالهم الارآء الكاذبة فلنبيّن انّ الاثقال التى وضعها على ما وصفنا تتحرّك بقوّة اقلّ من كلّ القوّة المعلومة ونوضح العلّة التى لها صار ذلك غير ظاهر فى العمل فلنتوهّم حملا ما موضوعا على الارض وليكن معتدلا املس

[1] الاسه, ms. — [2] بعيدة, ms. — [3] احلط, ms. — [4] مساوية, ms.

تجمع بعضها الى بعض وليكن السطح الذى الثقل عليه يمكن ان يميل الى كلّ الجهتين اعنى اليمنى واليسرى فليكن اوّلا مائلا الى اليمنى فيظهر لنا انّ الثقل[1] المفروض يميل الى الجهة اليمنى لانّ الاثقال طبيعتها ان تتحرّك الى السفل ان لم يدعها شىء فيمنعها من الحركة وايضا اذا استقلّت الجهة المائلة الى السطح وصار معتدلًا فانّه يميّز الثقل بهذا فان مال الى الجهة الاخرى اعنى الى الجهة اليسرى فانّ الثقل ايضا ينحطّ الجهة المائلة وان كان الميل يسيرًا جدًّا لانّ[2] يحتاج الثقل الى قوّة تدعه لان لا يتحرّك فاذا صار الثقل ايضا معتدلًا غير مائل الى جهة من الجهات فانّه بهذا بلا ان يكون له قوّة تدعه فلا يزال هادئًا الى ان يميل السطح[3] الى اىّ جهة كانت فانّه يميل الى تلك الجهة بالثقل المنهى للذهاب الى كلّ جهة كانت فيكون[4] حاجته فى ان يتحرّك الى قوّة يسيرة قدر القوّة التى تميله فاذًا الثقل يتحرّك بكلّ قوّة يسيرة ۞

[٢١] فالمياه التى على السطوح الغير مائلة فانّها تكون غير سائلة بل تكون ثابتة لا تميل الى جهة من الجهات فاذا نالها اقلّ ميل فانّ جميعها تميل الى تلك الجهة حتّى[5] لا يبقى اقلّ جزء من الماء ثابتًا عليه الّا ان يكون فى السطح اغوار فتبقى اجزاء

[1] ان ثقل, ms. — [2] لئلا, ms. — [3] الثقل, ms. — [4] كانت فيكون, conjecture pour كيف لا يكون, ms. — [5] التى, ms.

بسيرة فى قعر الاغوار كما قد يعرض فى الآنية ولكن الماء قد ناله هذا لانّ اجزآءه غير متّصلة شديدة التحلّل فامّا الاجساد المتّصلة فمن اجل انّها فى طبعها غير ملسة فى بسائطها ولا يمكنها سهل فانّه يعرض من خشونة الاجساد ان يدعم بعضها بعضا فيعرض من ذلك ان يستند احدها بالآخر كالاضراس فيمنع من ذلك لانّها اذا تكاثرت واتّصلت باجتماع بعضها الى بعض تحتاج الى اجتماع قوّة عظيمة فمن التجربة صارت اتمّ معلّم صاروا يرصفون تحت الخانات[1] خشب تكون بسائطها فى هيئة الاساطين فلا تماسّ من السطح إلّا جزءا يسيرا ولا يعرض من ذلك من الخشونة آلّا اقلّ ذلك ويستعملون الاوتاد فيتحرّك الثقل عليها بسهولة على انّه قد يزيد على الثقل ثقل الاداة واقوام يرصون على السطح الواح منحوتة لملاستها ويطلونها بدسم لان يتملّس الخشونة التى عليها فيحرّكون الثقل بايسر قوّة فامّا الاساطين فانّها اذا كانت ثقالا وكانت ملقاة على الارض حتّى لا ينال الارض منها آلّا ضلع واحد فانّها تتحرّك بسهولة وكذلك ايضا الاكرّ وهو قد تقدّم فى قولنا ۞

[٢٢] فان اردنا ان نحمل الثقل الى جهة عليا فانّا عند ذلك

[1] الخانات, mot douteux ayant le sens de *tortue*. Ms. porte : الاحايات. Cf. I. III, 1.

يحتاج الى قوّة مساوية للثقل فلنتوهّم حناية[1] متعالية متحرّكة قائمة على سطح ولتكن متحرّكة على مراكز على المحور حركة سهلة وليكن على بسيط حافتها حبل يكون احد طرفيه مشدودا بالحمل وطرفه الآخر عند القوّة الجاذبة فاقول انّ ذلك الثقل يتحرّك بقوّة مساوية له ولا يكون عند طرف الحبل الآخر قوّة بل يكون ثقل آخر[2] مشدود فيه فيظهر لنا انّ الأثقال اذا كانت متساوية فانّ الحناية لا تميل الى جهة من الجهات ولا يقوى الاوّل على الثقل المرتبط الثانى ولا[3] الثقل على الحمل لانّ الثقل المشدود الثانى مساوٍ للحمل الاوّل فاذا زيد فى الثقل قدر ما يسير فانّ الثقل الآخر منجذب الى الجهة العلياء فالقوّة اذًا المحرّكة للحمل ان كانت اعظم من الحمل فانّها تقوى عليه وتحرّكه الّا ان يعرض خشونة فى تدوير الحناية او صلابة فى القلوس فيكون من ذلك امتناع الحركة ۞

[٢٣] فامّا الاثقال التى على السطوح المائلة فانّ طبيعتها انّ تميل الى السفل ايضا كما قد يكون حركة جميع الاجسام فان لم يكن هذا كما ذكرنا ينبغى ان نتوهّم فيه ايضا العلّة التى ذكرناها قبل هذا فلنفرض انّا نريد ان نحرّك ثقلا على سطح مائل الى ما يلى العلو وليكن ارضه لينة ملسة وكذلك ايضا

[1] حناية mot douteux ayant le sens de *poulie*. Cf. حنايات l. 1, 24.
[2] الاخر, ms. — [3] وبما, ms.

جزء الثقل الذى تدعه نحتاج فى هذا ان نكتسب قوّة ما او ثقلا ما من الجهة الاخرى ليقوى اوّلا على الثقل اعنى ان يعادله ليكون القوّة الزائدة عليه تقوى على الثقل فترفعه الى فوق ولان يصحّ قولنا نبيّن ذلك فى اسطوانة موضوعة فانّ الاسطوانة من اجل انّه لا ينال الارض منها كثير جزء فانّها فى طبيعتها تتدحرج الى اسفل فلنتوهّم سطحًا ما خارجًا على الضلع الذى يماسّ الارض قائمًا على تلك الارض فيظهر لنا انّ ذلك السطح يجوز على محور الاسطوانة ويقطعها بنصفين لانّه اذا كانت دائرة ما يماسّها خطّ واخرج من علامة المماسّة خطّ على زاوية قائمة فانّ ذلك الخطّ يقع على مركز الدائرة وايضا نخرج على ذلك الضلع اعنى ضلع الاسطوانة سطحًا آخر قائمًا على الافق فانّه لا يكون السطح المخرج الاوّل ويقسم الاسطوانة بقسمين مختلفين يكون اصغرهما ممّا يلى الجهة العليا واعظمهما ممّا يلى الجهة السفلى فيقوى اعظمهما على اصغرهما اذا كان اعظم منه فتتدحرج الاسطوانة فان توهّمنا فى الجهة الاخرى من السطح المخرج القائم على الافق انّه قد نقص من القسم الاعظم قدر زيادته على القسم الاصغر فانّ القسمين يعتدلان فيكون ثقل جميعهما ثابتًا على ذلك الضلع المماسّ للارض فلا يميل الى جهة من الجهات اعنى لا الى ما يلى العلو ولا الى ما يلى السفل فيحتاج حينئذ الى قوّة معادلة له

تقاومه فاذا ازيد على تلك القوّة زيادة ما يسيرة قويت على الثقل ۞

[٢٤] وقد ارى انّه يجب باضطرار ان نخبّر متعلّمى صناعات الحيل ما ذا الميل وما مركز الثقل فى الجسم كان ذلك او فى غير جسم وليكن للميل والانحراف لا يقال بالاستحقاق الّا فى الاجسام فانّ ذلك ليس يدفعه احد فان قلنا فى الاشكال المساحيّة المجسّمة والسطوحيّة انّ مركز الميل ومركز الثقل علامة ما فإنّ ذلك قد وضعه ارشميدس بما فيه كفاية فينبغى ان يفهم هذا على ما هو ذا نخبر به انّ بوسدوموس الذى من اصحاب الزوّاق قد حدّ مركز الميل بحدّ طبيعىّ فقال انّ مركز الثقل او الميل هو علامة ما اذا علّق الثقل بها كان منقسما بقسمين متساويين فمن اجل ذلك ارشميدس ومن اقتدى به من اهل صناعة الحيل ميّزوا هذا القول وفصلوا بين العلاقة وبين مركز الميل امّا العلاقة فانّها علامة ما على الجسم او غير الجسم اذا علّق بها المعلّق تعادلت اجزاءه اعنى بذلك ان لا يترجّح ولا يميل فانّ المعادلة هى اذا عادل شىء شيئًا كما قد يعرض فى الميزان اذا اضطرب موازيا لسطح الافق او سطح ما كان موازيا [1] له كما قال ارشميدس انّ الانقال تكون غير مائلة على خطّ

[1] Le texte donne : اذا نصطربه موازيه لسطح الأفق او سطح ما كانت موازى له.

وعلامة امّا على خطّ اذا كان الثقل على علامتين من ذلك الخطّ فلم يكن يميل[1] وكان السطح الخارج على ذلك الخطّ القائم على الافق كيف حوّل الخطّ كان قائمًا لا يميل على الخطّ بتّة فانّا اذا قلنا الثقل مائل فانّا انّما نريد انحطاطه الى السفل اى حركته الى ما يلى الارض وامّا المعادلة التى تكون على العلامة فانّها قد تكون اذا كان الثقل معلّقًا بها وكان الجسم فى كلّ حركة يحرّك متساوية اجزاءه بعضها ببعض والثقل معادل ثقلا آخر اذا كان عند تعليقهما على علامتين من خطّ مقسوم بنصفين وعلى العلامة التى قسم عليها كان الخطّ موازيا للافق بعد ان يكون اقدار الاثقال بعضها الى بعض كقدر ابعادها المبادلة من العلامات التى هى معلّقة عليها امّا ان تكون الاثقال المعلّقة على هذه الجهة متعادلة للميل فانّ ارشميدس قد بيّن ذلك فى كتبه فى المعادلات من الاشكال التى استعمل فيها الاحال وقد يعرض للعلاقات والقوائم شىء واحد لانّ العلاقة والقائمة بالقوّة هما شىء واحد فانّ القوائم التى يتعلّق فيها الثقل هى التى تحمل الثقل وقد يعرض ان تكون هذه القوائم كثيرة جدًّا غير متناهية الكثرة فامّا مركز الميل فانّه فى كلّ واحد من الاجسام علامة ما واحدة تميل اليه القوائم التى من العلاقات وقد يكون مراكز الميل فى

[1] يميل. Ms. ajoute : الخطّ.

بعض الاجسام خارجا عن جواهرها كما قد يعرض فى الحنايات والاسورة امّا ان يكون خطوط العلاقات تجتمع على نقطة واحدة مشتركة لها فانّ ذلك قد يتبيّن لنا اذا توهّمنا سطحا ما قائما على الافق وكان يقطع جسما ما باعتدال فانّه يظهر لنا انّ ذلك السطح يقسم به الجسم بنصفين فانّه اذًا ينفذ فى الجسم واذا توهّمنا ايضا سطحا آخر يقطع الجسم مثل ذلك القطع فانّه ينفذ فيه كنفاذ هذا السطح ويتقاطعان سطحان على خطّ فان وقع التقاطع على غير العلاقة عرض من ذلك ان تكون الاجسام متعادلة وغير متعادلة فلننقل الآن هذا القول الى القوائم ونتوهّم جسمًا قائمًا على سطح وليكن الجسم معتدل الاجزاء قائما على ذلك الخطّ فاذا خرج ذلك الخطّ فانّه ينفذ فى الجسم فلن وقع الخطّ المخرج خارج الجسم فانّ السطح المخرج عليه يقع ايضا خارج الجسم وذلك قد ظهر انّه غير ممكن فاذًا الخطّ ينفذ فى الجسم ويقسمه بقسمين معتدلين فان توهّمنا علامة الاعتدال علامة اخرى ايضا غير تلك فانّه قد يعرض فى ذلك ايضا مثل الذى عرض فى الاوّل اعنى ان يكون الخطّ المخرج على تلك العلامة ينفذ فى وسط الجسم فيكون الخطّان متباعدين فاذا خرج عليهما سطحان لم ينقطعا فانّه قد يمكن ان يخرج على خطّين سطحان لا ينقطعان فيعرض فى هذا مثل الذى عرض فى الاوّل فيكون هذا غير ممكن فمن

اجل هذا يعلم انّ السطوح تتقاطع والخطوط تتلاق فتكون فى سطح واحد فاذا خرج ذلك السطح الى بسيط الجسم فانّه يفعل خطّ على علامة التقاطع فيكون علامة ثالثة واقعة خارج على هذا الخطّ ويتوهّم هذه العلامة المعادلة ايضا يكون الجسم معتدلاً عليها ونخرج من العلامة خطّا على بسيط الجسم فالذى تقدّم من قولنا اذا اخرج هذا الخطّ يقع على ذلك الخطّ الذى اخرج السطحان عليه ولا يقع على علامة اخرى غير علامة تلاقيهما لانّه اذا لاق خطّ مع خطّين متقاطعين وهو فى سطح آخر فانّه يلاقيهما على علامة تقاطعهما فان لم تكن ملاقاة لهما على علامة تقاطعهما يجب ان يكون بعض الخطّ فى سطح وباقيه فى سطح آخر فاذًا جميع الخطوط التى للعلاقة قد تجتمع الى علامة واحدة وهى التى تسمّى مركز الميل والثقل ۞

[٢٥] وقد يجب باضطرار ان نوضح شيئًا فى الكبس والنقل والحمل على جهة الكمّيّة ما يكون يصلح للمدخل فانّ ارشميدس قد استعمل فى هذا الجزء صناعة متّقنة فى كتابه المسمّى كتاب القوائم ونحن نضع ما يحتاج اليه منه فى اشياء آخر وامّا الآن فانّا نستعمل من ذلك ما كان قد على الكمّيّة على ما يصلح للمتعلّمين والجهة فى ذلك هى هذه اذا كانت اساطين كم كانت وكان عليها عوارض او حائط ما وكان موضوعا متساويًا او كان

مختلفا الوضع على اطرافها فكان زائدًا على احد الطرفين او على الطرفين جميعًا وكان البعد الذى بين الاساطين متساويًا او مختلفًا فانّا نريد ان نعرف كم ينال كلّ واحد من الاساطين من الثقل ومثل ذلك ايضا اذا كانت خشبة طويلة متساوية[1] الثقل وكان رجال يحملونها متساوين فى طول الخشبة وفى اطرافها ويكون احد اطرافها فاضلا او جميعها نريد ان نعرف كلّ واحد من الرجال كم يناله من الثقل فانّ المطلوب فى جميعها واحد ۞

[٣٦] فليكن ثقل متساوى الثخن متساوى الاجزآء على الاساطين وهو اَبَ وليكن موضوعا على اسطوانتين وهما اَجَ دَبَ فيكون كلّ واحد من اسطوانتى اَجَ دَبَ يناله نصف ثقل اَبَ فليكن ايضا اسطوانة اخرى وهى هَزَ ويفصل بعد اَبَ كيف ما وقع فنريد ان نعرف كلّ واحد من اساطين اَجَ هَزَ بَدَ كم يناله من الثقل فليتوهّم ثقل اَبَ مقسوما على علامة هَ قسمة على خطّ قائم على اسطوانة فيظهر لنا انّ جهة اَهَ ينال كلّ واحد من اسطوانتى اَجَ هَزَ نصف ثقلها وجهة هَبَ ينال كلّ واحد من اسطوانتى هَزَ بَدَ نصف ثقلها لانّه لا يكون اختلاف فيما ينال الاساطين اذا كان الموضوع[2] عليها متّصلا او كان منفصلا لانّه متّصلا كان او منفصلًا فانّ جميعه على الاسطوانة فاذا

[1] مجتمعة, ms. — [2] الموضع, ms.

اسطوانة هز يناله نصف ثقل هب ونصف ثقل اه اعنى نصف
جميع ثقل اب واسطوانة اج يناله نصف ثقل اه واسطوانة
بد يناله نصف ثقل هب فان قسمنا نصف اب على نسبة
بعد اه[1] الى بعد هب فانّ ثقل القسم المشابه لنسبة اه ينال
اج والثقل المناسب لبعد هب ينال بد وايضا فلنضع
اسطوانة اخرى وهى حط فيظهر لنا انّ اج ينالها نصف اه
وبد ينالها نصف حب وهز ينالها نصف اح وحط ينالها
نصف هب ونصف اه ونصف حب ونصف اح[2] ونصف هب هو
جميع اب وهو الموضوع على جميع الاساطين وان كانت
الاساطين اكثر فانّا بهذا العمل نعرف كم ينال كلّ واحد منها
من الثقل ۞

[٢٧] واذا كان هكذا فلنفرض قوائم ابجد متساوية الوضع
فليكن عليها جسم ما متساوى العظم والثقل وهو اج وقد كنّا
قلنا انّ كلّ واحد من قائمتى اب جد يناله نصف ثقل اج
فلننقل قائمة جد ونقرّبها الى اب وليكن موضع هز فنريد ان
نعلم ايضا اىّ شىء ينال اب هز من الثقل فنقول انّ بعد اه امّا
ان يكون مساويا لبعد هج وامّا ان يكون اصغر منه وامّا ان
يكون اعظم منه فليكن متساويًا له فيظهر لنا انّ ثقل اه

[1] اب, ms.
[2] ونصف اح. Ms. omet ce mot.

يعادل ثقل ه ج فان نحن اخرجنا قائمة ا ب يقيم ا ج ثابتا على حاله فيظهر لنا انّ قائمة ا ب لم يكن ينالها من الثقل شيء وانّما كان ثقل ا ج على ه ز وحده فان كان بعد ج ه اعظم من بعد ه ا فانّ ثقل ا ج ينحطّ الى ما يلى ج فليكن بعد ج ه اصغر من بعد ه ا وليكن ج ه مساويا ه ح فاذًا ج ح يكون معتدلًا على ه ز وحده ولنضع ركبا ما على ح ط فان توهّمنا انّ جميع الثقل قد فصل على علامة ح فانّ ح ج يكون ثابتا على ه ز وحده ويكون نصف ا ح على كلّ واحد من قائمتى ا ب ح ط فاذا نقّصنا قائمة ح ط يكون لعلامة ح قوّة القائمة بعد ان يكون الجسم ملتحما فيكون ا ب يناله نصف ثقل ح ا وه ز يناله الباقى اعنى ج ح ونصف ا ح اعنى اذا توهّمنا ا ج مفصولًا بنصفين على علامة ك يكون ك ه نصف ا ح فاذا كانت القائمة التى كانت اوّلًا عند ه تحت علامة ك فانّه ينالها ثقل جميع ا ج وكلّما تباعدت القائمة من الفصل الذى يقسم الثقل بنصفين يراك القدر ينال ا ب من الثقل و يكون باقى الثقل على القائمة الاخرى ۞

[٢٨] وان كان[1] هذا هكذا فلنفرض قائمتين هما ا ب ه ز موضوعة الوضع الذى ذكرناه قبل هذا وليكن ثقل ه ج فاضلًا ولنقسم ا ج بنصفين على[2] علامة ك فقد بيّنّا انّ قائمة ا ب ينالها ثقل

[1] واكان, ms. — [2] Ms. omet ce mot.

ك ه وقائمة ه ز ينالها باقى ثقل ا ج ولنفرض تحت علامة ج قائمة وهى قائمة ج د فتبيّن ايضا انّ قائمة ا ب ينالها نصف ثقل ه ا وقائمة د ج ينالها نصف ثقل ه ج وقائمة ه ز ينالها نصف من ثقل ا ج ومن قبل ان نضع قائمة ج د بيّنّا كم ينال كلّ واحدة من ا ب ه ز من الثقل فظاهر لنا انّ قائمة ج د لمّا ان صيرت تحت الثقل صار ينال قائمة ا ب من الثقل اكثر ممّا كان ينالها قبل ذلك بقدر نصف ه ح اعنى بقدر نصف ه ج وصار الذى ينال ه ز أقلّ ممّا كان ينالهٔ أوّلًا بقدر ه ج فيكون الذى ينال د ج من الثقل على هذا القول نصف ه ج لانّ القائمة التى زيدت تحت الثقل نقصت ممّا ينال ه ز قدرًا مساويا ثقل ه ج وزادت على قائمة ا ب ثقلا مساويا نصف ه ج فيكون ج د يناله نصف ثقل ه ج فيكون الباقى وقد كان هذا المقدار يناله على العمل الآخر فمن هاهنا يظهر لنا انّه اذا كان ثقل ما على قوائم تحمله وزيد على تلك القوائم قائمة اخرى فانّ احد القوائم الاولى الذى هو الاوّل يناله من الثقل اكثر ما كان يناله قبل الزيادة والقائمة الاخرى ينالها من الثقل اقلّ ممّا كان ينالها قبل الزيادة ومن اجل انّه لمّا كانت القوائم ا ب ه ز ج د كان الذى ينال ا ب نصف ا ه ولمّا نقص ج د كان الذى ينال ا ب نصف ثقل ا ج ظهر لنا انّ ه ج لمّا ان تعلّق صار فى هيئة محل فحمل بعض الثقل الذى كان على ا ب وزاد على ه ز اكثر

ممّا كان عليه من الثقل اوّلا وثقل آج ثابت فى مكانه ۞

[٢٩] فامّا انّه لا يمكن ان تحرّك القوى اليسيرة اثقالًا عظيمًا بلا حيلة تستعمل فيها فانّ ذلك قد تبيّن من الاشياء الظاهرة فانّ الرجلين يحرّكان ثقلًا ما بسهولة لا يحرّكه الرجل الواحد ولو استعمل قوّته كلّها فيظهر لنا انّ الثقل انّما يحرّك لمّا زيدت قوّة الرجل الثانى فامّا انّ الرجل الثانى وحده لا يحرّك الثقل[1] فإنّ ذلك ظاهر لانّه إن نحّا الرجل الاوّل وتركه على الثانى لم يحرّكه فان قسم الثقل بنصفين فانّ الرجل الاوّل وحده يحرّك نصفه ويبقى نصف الآخر ثابتًا فيظهر لنا انّ النصف الذى حرّكه الرجل الواحد كان يجسده النصف الآخر قبل ان يفصل منه ولذلك ايضًا اذا كانت قوى كثيرة تحرّك ثقلًا ما نقص من تلك القوى قوّة واحدة فانّ جميع القوى بعد ان ينقص تلك القوّة الواحدة لا تحرّك الثقل فان ابتدت القوّة المجتمعة ان تقلّ ذلك الثقل فانّ عند زيادة القوّة المفروضة الباقية يتحرّك الثقل حركةً سهلةً وقد يظهر لنا ذلك ايضًا فى الضربات لانّ الشىء الذى يهشم بالضربات الكثيرة اذا زيدت عليه ضربة واحدة رضّته ليس باجتماع ذلك فقط لكن بها ايضا وحدها فكذلك قد يظهر فى المحسوسات لانّه اذا كان ثقل ما وكان فى قوّتنا ما يقوى عليه

[1] والثقل, ms.

لكن بعد تعب أفلم يظهر لنا[1] انّ قوّتنا قدر ذلك الثقل ۞ [٣٠] فلنفرض قوائم اب جد وعليها جسم ما متساوى الثقل والثخن وهو هز وليكن على كلّ واحد من القوائم فاضلًا[2] ونريد ان نعلم كلّ واحد من القوائم كم يناله من الثقل انّا قد بيّنّا انّه اذا كان ثقل از[3] موضوعًا على جد اب فانّ جد يناله من الثقل اكثر من اب بقدر ضعف جز واذا كان جه موضوعا على جد اب يناله من الثقل اكثر من جد بقدر ضعف اه فيظهر لنا انّ جد يناله من الثقل اكثر ممّا ينال اب بقدر زيادة ضعف جز على ضعف اه فان كان جز ها متساويين فانّ الذى ينال كلّ واحد من جد اب من الثقل متساو فبالقدر الذى يكون البعد اعظم بذلك القدر ينال تلك القائمة من زيادة الثقل ۞ وممّا تقدّم من قولنا يظهر لنا انّه متى كان على اساطين وقوائم عوارض او حائط متساوى الثخن والثقل وكانت الأبعاد التى بينها مختلفة كيف كانت فانّه قد يمكنّا ان نعلم أيّما من القوائم يناله ثقل عظيم وكم زيادة الثقل فان كان على القوائم عوارض او غير ذلك فانّه يظهر لنا ايضا بهذا العمل وكذلك ايضا

[1] Ms. porte : اذا كنا ثقلا ما وكان ذ ثقله ما يقوى عليه لكن بعد تعب والم يظهر لنا. . .

[2] فاضلا. Nous ajoutons ce mot.

[3] اب, ms.

فانّه اذا كان عود او حجر تحمله ناس على أعضادهم او على أذرعهم[1] وكان بعضهم[2] فى وسطه وبعضهم فى طرفه وإن كان الثقل من جهة واحدة او من جهتين فانّه قد يظهر لنا كم ينال كلّ واحد من الحاملين من الثقل ❊

[٣١] وليكن ثقل ما آخر ايضا متساوى الاجزآء والثقل وهو اب وليكن على قوائم متساوية الوضع مما اج بد فيظهر لنا انّ كلّ واحد من القوائم يناله نصف ثقل اب فلنعلّق ثقلا على اب من علامة ة فان كانت علامة ة تفصل اب بنصفين فيظهر لنا انّ كلّ واحد من القوائم يناله نصف ثقل اب ونصف الثقل المعلّق على علامة ة او الموضوع عليه فان لم يكن علامة ة تفصله بنصفين وفصل الثقل بقسمين على نسبة بة الى ةا فانّ ثقل الجزء المناسب ةب ينال اج وثقل الجزء المناسب ةا ينال بد وايضا كلّ واحد من القوائم يناله نصف اب فإن علّقنا ثقلا آخر على علامة ز وقسمناه بنسبة از الى زب فانّ دب يناله ثقل الجزء المناسب از واج يناله ثقل الجزء المناسب زب فينال كلّ واحد من القوائم نصف اب وزب عند اج ملفوظ وقد كانت الأثقال التى ينالها قبل ان تعلّق الأثقال التى علّقت على زة ملفوظة فاذًا جميع الذى ينال قائمتى اج بد ملفوظة وايضا ان علّقت أثقال آخر بهذا

[1] أذرعهم, conjecture pour دهر ou دهن, ms. — [2] بعضه, ms.

العمل يخرج لنا معرفة كم ينال كلّ واحد منهما من الثقل ۞

[٣٢] وقد توهّم قوم فى الموازين انّه اذا عادلت الأثقال الأبعاد فان بتلك النسبة تكون الأثقال الى الأبعاد بانقلاب وقد ينبغى ان لا يقال هذا قولًا مرسلًا بل يميّز تمييزًا آخر فلنفرض عمود ميزان متساوى الثقل والثخن وهو $\overline{اب}$ وليكن علاقته التى هى علامة $\overline{ج}$ فى وسط العمود وليعلّق على علامات ما اىّ علامات كانت وهى علامتى $\overline{ده}$ حبال تكون حبلى $\overline{دز}$ $\overline{هح}$ ولنعلّق عليها ثقلين وليكن الميزان بعد تعديل الثقل معتدلًا ولنتوهّم الحبلين مخرجين على علامتى $\overline{ط}$ $\overline{ك}$ فيكون عند اعتدال الميزان لبعد $\overline{طج}$ عند $\overline{جك}$ كذلك ثقل $\overline{ح}$ عند ثقل $\overline{ز}$ فانّ هذا قد بيّنه ارشميدس فى كتبه التى تسمّى كتب[1] الأثقال فإن فصلنا من عمود الميزان ما يلى الجهتين جميعًا اعنى $\overline{طا}$ $\overline{كب}$[2] فانّ الميزان لا يعتدل ۞

[٣٣] وقد ظنّ قوم ان المناسبة التى تكون بالمعادلة[3] فلنفرض ايضا عمود ميزان مختلف الثقل والثخن من اىّ جسم كان وليكن معتدلًا اذا علّق من علامة $\overline{ج}$ ومعنانا فى هذا الموضع فى الاعتدال سكون العمود وثباته وان كان مائلا الى جهة من الجهات ثمّ نعلّق أثقالا ما على علامات اىّ علامات كانت وهى

[1] التى كتب تسمّى, ms.
[2] $\overline{ب}$ $\overline{ك}$ $\overline{ط}$, ms.
[3] La phrase est incomplète.

علامتى د ه وليكن ايضا بعد تعليق الأثقال العمود معتدلًا فعد برهن ارشميدس انّ نسبة الثقل الى الثقل فى هذا ايضا كنسبة البعد الا البعد بالمبادلة فامّا فى الاجسام الغير مرتّبة المائلة البعد فانّه ينبغى ان نتوهّم فيها هذا نخرج الحبل الذى من علامة ج الى ما يلى علامة ز ونخرج خطًا ونتوهّمه انّه يخرج على علامة ز مساوى خطّ زح ط وليكن ثابتًا اعنى ان يكون على زاوية قائمة على الحبل فاذا كان الحبلان الذان من علامتى د ه هكذا اعنى حبلى دح ط ه فانّ البعد الذى بين خطّ ج ز[1] وبين الثقل الذى عند علامة ه اعنى زط يكون عند سكون الميزان كما فى زح عند زط كذلك الثقل المعلّق على علامة ه عند الثقل المعلّق على علامة د فانّ هذا قد بيّن فيما تقدّم ۞

[٣٤] وليكن فلكة او بكرة متحرّكة على محور على مركز آ وليكن قطرها خطّ ب ج موازيا للأفق ولنعلّق على علامتى ب ج حبلين وهما زد ج ه ولنعلّق فيهما أثقالًا متساوية فيظهر لنا انّ البكرة لا تميل الى جهة من الجهات لان الثقلين متساويين والبعدان اللذان من علاقة آ متساويان فليكن الثقل الذى عند د اعظم من الثقل الذى عند ه فيظهر لنا انّ الفلكة تميل الى جهة ب وينحطّ علامة ب مع الثقل فينبغى لنا ان

[1] ج د علامة, ms.

نعلم الى ایّ موضع اذا انحطّ ثقل د الاعظم یسکن فلنحط علامة ب ونصیّرها على علامة ز ولیکن حبل بد على حبل زح فیسکن الثقل فیظهر لنا انّ حبل جه یلتفّ على حافة الفلکة ویکون معلّقا على الثقل على علامة ج لانّ ما کان منه ملتفّا لیس هو متعلّق فیخرج زح الى علامة ط فمن اجل انّ الثقلین معتدلان یکون نسبة الثقل کنسبة البعد الذى بین علاقة او بین الحبال فیکون کما اج عند اط کذلك الثقل الذى عند ح الى الثقل الذى عند ه فاذا صیّرنا نسبة جا الى اط کنسبة الثقل الى الثقل واخرجنا على علامتى بج نحو زط على زوایا قائمة یظهر لنا انّ الفلکة تحرّکت من علامة ب الى علامة ز[1] وتسکن وهذا القول ایضا فى الأثقال الاخر فاذا قد یمکن ان یعادل کلّ ثقل ثقلًا اصغر منه على هذه الجهة ۞ امّا فى اوّل القول من مداخل صناعة الحیل فیکفى بهذا وامّا فى الذى یتلوه فانّ نخبّر عن الخمس قوى التى تحرّك بها الأثقال وتستجرّ[2] علیها والفعل الطبیعىّ فیها ونخبّر ایضا باشیاء اخر تکون کثیرة المنفعة فى حمل الأثقال ورفعها ۞ تمّت المقالة الاوّل من کتاب ایرن فى رفع الاشیآء الثقیلة

والحمد لله حقّ حمده

[1] ب . . . ز. Ms. intervertit ces lettres. — [2] وسرح, ms.

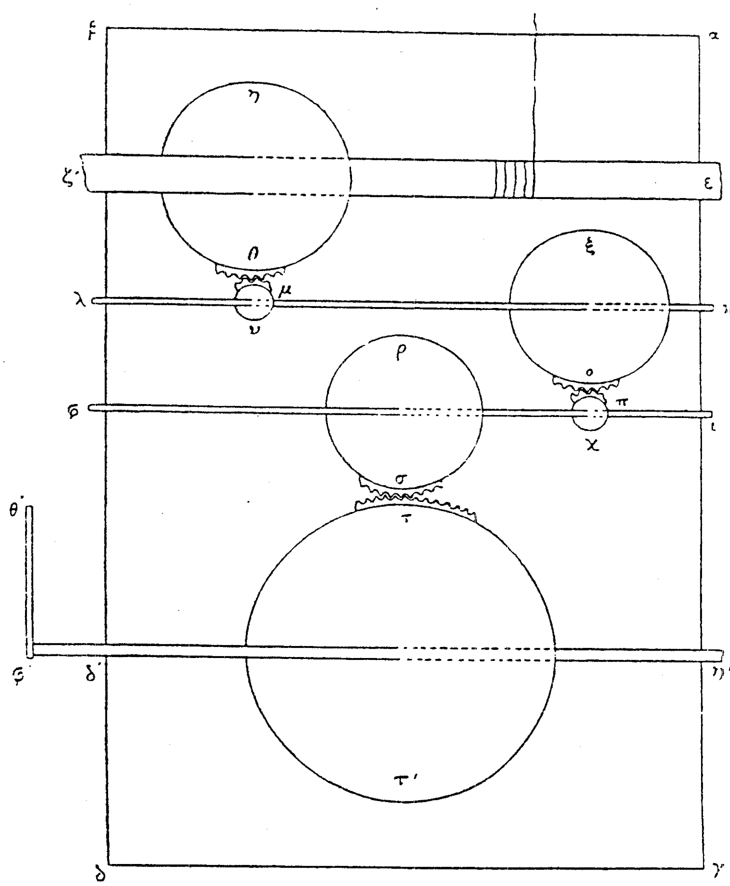
LIVRE I^er^.

I. — 1. Nous nous proposons de mouvoir un poids donné avec une force donnée au moyen d'un train d'engrenages. Construisons un châssis solide, une sorte de coffre[1]; sur ses parois longues, parallèles entre elles, reposent des axes parallèles et ayant entre eux des distances telles que les roues dentées qu'ils portent engrènent l'une avec l'autre, comme nous le montrerons. Soit $\alpha\beta\gamma\delta$ ce châssis; plaçons-y un axe $\varepsilon\zeta$ dont le mouvement soit aisé et sur lequel est fixée une roue dentée, la roue $\eta\theta$. Prenons le diamètre de cette roue égal, par exemple, à cinq fois celui de l'axe $\varepsilon\zeta$. Pour déterminer ce que nous nous proposons, admettons que le poids que nous voulons mouvoir soit de 1,000 talents et la puissance motrice de 5 talents; ainsi l'homme ou l'enfant qui tourne la manivelle est capable de mouvoir de lui-même, sans le secours d'une machine, un poids de 5 talents. Nous entrons la corde à laquelle est suspendu le poids par un trou ménagé dans la paroi $\alpha\beta$, puis nous l'enroulons autour de l'axe $\varepsilon\zeta$. Si donc la roue $\eta\theta$ tourne, la corde s'enroule et le poids

[1] *Coffre.* صندوق; c'est l'*arca* ou coffre-fort des Romains; gr. *κιβωτός*. — Pappus : *καὶ ἔσlω τὸ εἰρημένον ὑπ' αὐτοῦ γλωσσόκομον τὸ ΑΒΓΔ*, p. 1062, l. 3.

est mû. Pour mouvoir la roue $\eta\theta$, il faut une puis-

Fig. 1.



sance de 200 talents, puisque le diamètre de la roue est cinq fois le diamètre de l'axe, selon l'hypothèse. C'est ce qui a été démontré dans l'exposé des cinq machines simples[1]. Mais nous ne disposons pas d'une puissance de 200 talents, et la roue ne peut se mouvoir. Construisons alors un second axe parallèle à l'axe $\varepsilon\zeta$, à savoir : l'axe $\varkappa\lambda$. Une roue dentée, la roue $\mu\nu$ est fixée sur lui ; la roue $\eta\theta$ est aussi pourvue de dents qui engrènent avec celles de la roue $\mu\nu$. Sur l'axe $\varkappa\lambda$, fixons une autre roue ξo, d'un diamètre égal à cinq fois celui de $\mu\nu$. Il faudra, pour élever le poids avec la roue ξo, 40 talents, le cinquième de 200 talents étant de 40 talents. Faisons encore engrener avec la roue ξo une autre roue $\pi\chi$ fixée sur un nouvel axe $\iota\varphi$, et fixons aussi sur cet axe une seconde roue dont le diamètre soit cinq fois celui de la roue $\pi\chi$. Soit $\rho\sigma$ cette nouvelle roue. La force qui, appliquée à la roue $\rho\sigma$, mettra le poids en mouvement, sera de 8 talents ; mais la puissance qui nous est donnée n'est que de 5 talents. Montons donc une autre roue dentée $\tau\tau'$ dont le diamètre soit double de celui de la roue $\rho\sigma$. Une puissance de 4 talents devra être appliquée à la roue $\tau\tau'$. La force qui nous est donnée étant de 5 talents, il se trouvera une puissance de 1 talent en excès, qui servira à vaincre la résistance que peut présenter le train.

Il résulte clairement de ce que nous avons décrit que lorsque le moteur meut la roue $\tau\tau'$, l'axe $\eta'\delta'$ tourne, et que la roue $\rho\sigma$ tourne en même temps

[1] Ce morceau est déplacé et altéré. Cf. Introd. et l. II, 21.

qu'elle; elle fait tourner l'axe $\iota\varphi$; celui-ci entraine la roue $\pi\varkappa$ et le mouvement se transmet à la roue ξo; cette roue fait tourner l'axe $\varkappa\lambda$ qui entraîne la roue $\mu\nu$; de là le mouvement se transmet encore à la roue $\eta\theta$, l'axe $\varepsilon\zeta$ tourne, les cordes s'enroulent sur lui et le poids s'élève. C'est ce que nous voulions démontrer.

Glose : Il faut prolonger l'axe $\eta'\delta'$ jusqu'en φ' et lui mener une perpendiculaire égale à la moitié du diamètre de la roue $\tau\tau'$ ou plus grande. Et Dieu est le plus savant !

II. — 2. Ici il y a une lacune dans le grec. Cela a été écrit dans l'hypothèse qu'il doit en être ainsi[1].

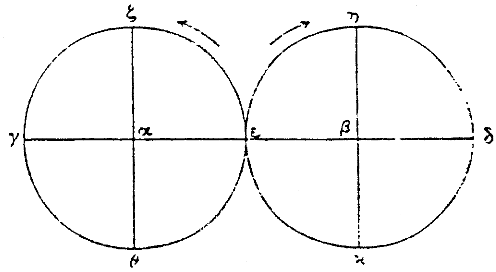
Les cercles fixés sur un même axe accomplissent toujours leur mouvement dans un seul sens, qui est celui dans lequel l'axe se meut. Mais les cercles montés sur deux axes et engrenant l'un avec l'autre au moyen de dents se meuvent dans deux sens opposés. L'un tourne à droite, l'autre à gauche. Si les deux cercles qui engrènent sont égaux, l'un accomplit sa rotation à droite dans le même temps que l'autre accomplit la sienne à gauche. Mais s'ils sont inégaux et que l'un d'eux soit plus grand que l'autre, le petit tourne plusieurs fois tandis que l'autre fait un seul tour; et le nombre des tours du petit dépend de sa grandeur.

3. Ce lemme étant posé, faisons tourner deux

[1] Cette phrase est obscure. Mais elle laisse entendre que le fragment qui précède a été rapporté en tête d'un manuscrit acéphale

cercles que nous prenons d'abord égaux entre eux l'un $\eta\epsilon\varkappa\delta$, l'autre $\zeta\gamma\theta\epsilon$, de centres α et β et se touchant au point ϵ. Ils se meuvent à partir de ce point,

Fig. 2.



et dans le même temps, d'une quantité égale à une demi-circonférence. Pendant ce temps, le point ϵ décrit l'arc $\epsilon\eta\delta$, et il vient en δ, après avoir subi le même déplacement que le point γ. Il y a des points qui se meuvent dans la même direction, d'autres se meuvent dans des directions opposées. Les points semblablement placés dans les deux cercles ont des mouvements de directions contraires, ceux qui sont symétriquement placés ont des mouvements de même direction. Il est d'ailleurs possible que des points qui sont dits se mouvoir dans des directions opposées se meuvent dans le même sens; en effet, supposons que ces points entrent en mouvement à partir d'un même point de départ ϵ, et imaginons les deux lignes $\zeta\alpha\theta$, $\eta\beta\varkappa$ perpendiculaires sur la ligne $\gamma\delta$. Le mouvement sur l'arc $\epsilon\zeta$ est opposé à celui qui a lieu sur l'arc $\epsilon\eta$, car celui-ci s'accomplit vers la droite, et celui-là vers la gauche. Les mouvements peuvent aussi s'effectuer dans la même direction, lorsque nous considérons des points pris à des distances égales de ζ et de $\varkappa$, ou bien encore si nous remarquons que les mouvements vers $\gamma\delta$ sur les deux arcs $\zeta\gamma$, $\eta\delta$ sont égaux; il convient de faire la même remarque sur les deux arcs $\gamma\theta$, $\delta\varkappa$, et sur les deux arcs $\theta\varepsilon$, $\varkappa\varepsilon$. Nous disons encore que les mouvements peuvent avoir lieu dans la même direction, que les deux points δ, ε, par exemple, se meuvent dans la même direction. En effet, le point ε se meut sur l'arc $\varepsilon\zeta\gamma$, et le point δ sur l'arc $\delta\varkappa\varepsilon$; ils se rapprochent ou s'éloignent respectivement des points ζ et $\varkappa$ de quantités égales. Or ce mouvement s'appelle mouvement en sens opposés. C'est pourquoi l'opposition ou l'identité des sens des mouvements sont relatives; il faut donc distinguer dans chaque mouvement les mouvements qui s'effectuent dans un même sens et ceux qui s'effectuent en sens opposés[1].

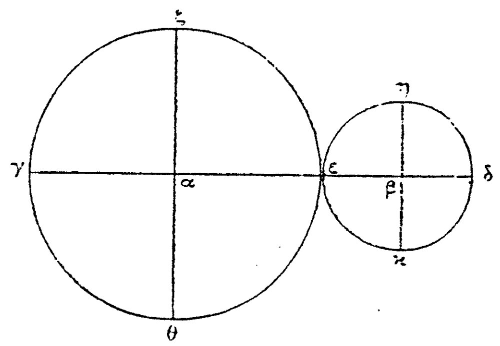
Voilà ce qu'il convient de considérer dans le cas où les cercles sont égaux. Ce qui suit concerne les cercles inégaux.

4. Supposons les deux cercles inégaux. Ils ont leurs centres aux points α et β; le plus grand est celui qui a son centre en α. Les rapports ne se présentent plus ici sous une forme parfaite comme dans le cas

[1] Sous cette rédaction très embarrassée ce paragraphe témoigne d'un effort pour décomposer le mouvement sur les deux cercles selon deux axes, dont l'un serait la ligne des centres et l'autre la perpendiculaire à cette ligne.

des cercles égaux. Soient deux points qui tournent à partir du point ε, et, pour prendre un exemple, faisons le diamètre $\gamma\varepsilon$ double du diamètre $\varepsilon\delta$. L'arc

Fig. 3.



$\varepsilon\zeta\gamma$ sera alors double de l'arc $\varepsilon\eta\delta$, comme l'a démontré Archimède; donc, dans le temps que met le point ε à parcourir l'arc $\varepsilon\zeta$, en se mouvant dans la direction de γ, ce même point ε se mouvant en sens inverse parcourt l'arc $\varepsilon\eta\delta$; dans le temps aussi que ce point partant de ζ met à décrire l'arc $\zeta\gamma$, un point partant de δ décrit l'arc $\delta\kappa\varepsilon$ et parvient au point ε. Donc le point qui décrit la circonférence $\varepsilon\eta\delta\kappa\varepsilon$ suit tantôt une direction opposée à celle du point qui décrit l'arc $\varepsilon\zeta\gamma$ et tantôt une direction de même sens. De même, pendant le temps que le point γ parcourt l'arc $\gamma\theta\varepsilon$, le point ε parcourt le cercle $\varepsilon\eta\delta\kappa\varepsilon$, tantôt allant dans la direction de γ et tantôt dans la direction contraire.

Si l'arc d'un des cercles valait trois fois l'arc homologue, ou s'il était avec lui dans un autre rapport quelconque, nous démontrerions encore que les points mobiles vont tantôt dans une même direction, tantôt dans des directions opposées; — et Dieu est notre aide.

5. Si nous imaginons qu'on place un cercle touchant au point $\varkappa$ celui dont le centre est en β, nous démontrerons de ce troisième cercle tout ce que nous avons dit du premier. En effet, si le premier cercle se meut d'un mouvement contraire à celui du second, et le second d'un mouvement contraire à celui du premier, le mouvement du premier sera semblable à celui du troisième. Si une chose se meut du même mouvement qu'une autre et que celle-ci se meuve d'un mouvement contraire à une troisième chose, la première se mouvra d'un mouvement contraire à celui de la troisième.

Y a-t-il encore un quatrième cercle, il sera l'objet de la même démonstration. En résumé, ce qui se produit dans le cas de trois cercles se répète dans tout système de cercles en nombre impair, et ce qui se produit dans le cas de deux cercles se répète dans tout système où les cercles sont associés deux à deux.

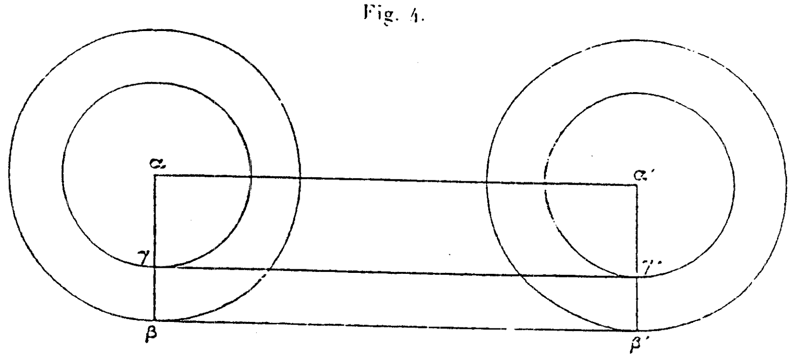
Vous voyez aussi que l'identité ou l'opposition des directions des mouvements n'ont pas lieu seulement dans le cas de deux cercles ou d'un plus grand nombre de cercles, mais aussi dans le cas d'un cercle unique; car un point unique se meut successivement dans une direction et dans la direction opposée. Ce point mobile, étant parti d'un point quelconque, se meut dans une même direction jusqu'à ce qu'il ait décrit l'arc du demi-cercle; et, quand il décrit l'arc du second demi-cercle, il se meut dans une direction opposée à la première.

6. Les grands cercles, d'autre part, n'ont pas toujours un mouvement plus rapide que les petits cercles; il arrive aussi que les petits cercles se meuvent plus vite que les grands. Quand les deux cercles sont fixés sur un même centre, les grands cercles se meuvent plus vite que les petits. Si les cercles sont écartés l'un de l'autre, tout en faisant partie d'un même appareil, c'est-à-dire s'ils ne sont pas fixés sur un même axe, comme cela a lieu dans les chariots qui ont de grandes roues, les petits cercles se meuvent plus vite que les grands, parce que leur déplacement est le même et que dans le même temps tous deux sont entraînés également. Il faut donc que le petit cercle fasse plusieurs tours tandis que le grand n'en fait qu'un: c'est pourquoi le mouvement du petit est plus rapide.

7. Il se peut aussi que les mouvements du grand et du petit cercle aient la même vitesse, même si les cercles sont fixés sur un même centre autour duquel ils se meuvent. Imaginons donc deux cercles fixés sur un même centre, le centre α. Menons une ligne quelconque $\beta\beta'$ tangente au grand cercle. Joignons les deux points $\alpha\beta$; la ligne $\alpha\beta$ sera perpendiculaire sur la ligne $\beta\beta'$; la ligne $\beta\beta'$ est parallèle à la ligne $\gamma\gamma'$, et celle-ci touche le petit cercle. Menons encore

du point α une ligne parallèle à ces deux-là, soit $\alpha\alpha'$. Si nous imaginons que le grand cercle roule sur la ligne $\beta\beta'$, le petit cercle roulera en glissant sur la

Fig. 4.



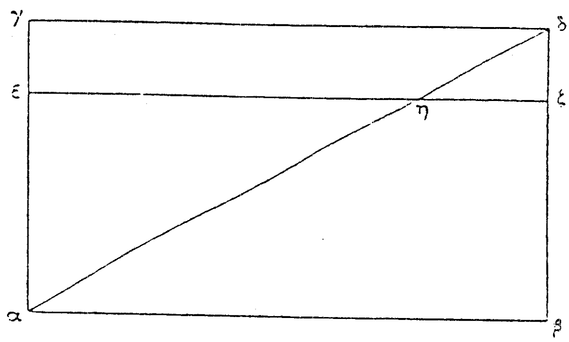
ligne $\gamma\gamma'$; et si le grand cercle décrit un tour, il est clair que le petit décrira un tour aussi; la position de ces cercles sera alors celle des cercles dont le centre est en α', et la position de la ligne $\alpha\beta$ sera celle qu'occupe la ligne $\alpha'\beta'$. Ainsi la ligne $\beta\beta'$ sera égale à la ligne $\gamma\gamma'$, et cette ligne $\beta\beta'$ est celle que le grand cercle enveloppe lorsqu'il accomplit un tour, de même que la ligne $\gamma\gamma'$ est celle sur laquelle tourne le petit cercle lorsqu'il accomplit un tour. Donc le mouvement du petit cercle a la même vitesse que celui du grand, puisque la ligne $\beta\beta'$ est égale à la ligne $\gamma\gamma'$, et que, lorsque des choses se déplacent dans des temps égaux de quantités égales, leurs mouvements sont égaux en vitesse.

On pensera peut-être que cette conclusion est absurde, parce que la circonférence du grand cercle ne peut pas être égale à celle du petit. Aussi disons-nous que le petit cercle ne tourne pas seulement sur la ligne $\gamma\gamma'$, mais qu'il est en même temps entraîné dans le parcours du grand cercle; et c'est par l'effet de deux mouvements que le petit cercle arrive à se mouvoir avec la même rapidité que le grand. Si, en effet, nous supposions que le grand cercle fût animé d'une rotation et que le petit ne tournât pas, mais qu'il fût fixé au point γ, il n'en parcourrait pas moins la ligne $\gamma\gamma'$ dans le même temps que le centre α parcourrait la ligne $\alpha\alpha'$ égale aux lignes $\beta\beta'$ et $\gamma\gamma'$. Il n'est donc pas nécessaire dans ce mouvement que la circonférence du petit cercle accomplisse une rotation, puisque nous voyons le centre, qui ne peut absolument pas tourner, parcourir la distance indiquée par l'effet du mouvement qui entraîne le grand cercle.

8. Un même point animé de deux mouvements d'égale vitesse peut décrire des lignes d'inégale longueur. C'est ce que nous allons démontrer. Supposons une figure plane, quadrangulaire, aux côtés parallèles et aux angles droits; et soit $\alpha\beta\gamma\delta$ cette figure; $\alpha\delta$ est sa diagonale. Le point α parcourt d'un mouvement régulier la ligne $\alpha\beta$, et la ligne $\alpha\beta$ elle-même se transporte d'un mouvement régulier sur les lignes $\alpha\gamma$, $\beta\delta$, de façon qu'elle reste constamment parallèle à la ligne $\gamma\delta$. Enfin le temps dans lequel le point α vient en β est égal à celui que met la ligne $\alpha\beta$ pour venir en $\gamma\delta$. Je dis que, dans le même temps, le point α décrit deux lignes d'inégale lon-

gueur. En effet, quand la ligne $\alpha\beta$ s'est mue pendant un temps donné, et qu'elle a pris une position telle

Fig. 5.



que $\varepsilon\zeta$, le point α qui s'est mû sur la ligne $\alpha\beta$ se trouve en cet instant sur $\varepsilon\zeta$; et le rapport de $\alpha\gamma$ à $\alpha\beta$, c'est-à-dire à $\delta\gamma$, est égal au rapport de la longueur $\alpha\varepsilon$ à la longueur de la ligne sur laquelle se meut le point comptée depuis ε jusqu'au point. Or le rapport $\frac{\alpha\gamma}{\gamma\delta}$ est égal au rapport $\frac{\alpha\varepsilon}{\varepsilon\eta}$. Donc le point qui se meut sur la ligne $\alpha\beta$ est venu en η sur la ligne $\alpha\delta$ qui est la diagonale. Ce raisonnement pourrait être répété; il prouve que le point qui parcourt la ligne $\alpha\beta$ reste toujours sur la ligne $\alpha\delta$; et tandis qu'il la parcourt, il se meut sur chacune des deux lignes $\alpha\delta$ et $\alpha\beta$ qui sont d'inégale longueur. Donc ce point qui se meut d'un mouvement régulier décrit deux lignes inégales. Cependant, comme nous l'avons dit, le mouvement du point sur la ligne $\alpha\beta$ est simple, au lieu que son mouvement le long de la diagonale $\alpha\delta$ est composé du mouvement de $\alpha\beta$ sur les droites $\alpha\gamma$, $\beta\delta$ et du mouvement de α sur la droite $\alpha\beta$. Ainsi le point α décrit dans le même temps et d'un mouvement régulier deux lignes inégales; c'est ce que nous voulions démontrer.

(*La suite au prochain cahier.*)

LES MÉCANIQUES
OU
L'ÉLÉVATEUR DE HÉRON D'ALEXANDRIE,
PUBLIÉES POUR LA PREMIÈRE FOIS
SUR LA VERSION ARABE DE QOSTÂ IBN LÛQÂ,
ET TRADUITES EN FRANÇAIS
PAR

M. LE BARON CARRA DE VAUX.

(SUITE.)

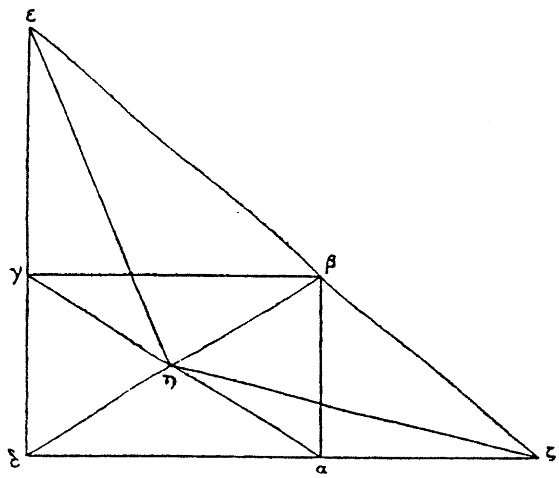
III. — 9. Parlons maintenant de la manière dont nous augmentons ou dont nous diminuons les figures planes et solides dans un rapport donné, afin que nous puissions grandir les figures solides et planes, par exemple le trait de la baliste [?], selon un certain rapport. Occupons-nous d'abord des figures planes. Donnons-nous une ligne quelconque de genre connu, nous nous proposons de trouver une autre ligne telle que les deux figures tracées sur les deux lignes semblables soient entre elles dans un rapport égal au rapport donné. Soit donc connu le rapport qui existe entre la ligne donnée et une autre, et supposons qu'entre les deux lignes dont on connaît le rapport, une troisième soit moyenne proportionnelle. Elle sera la ligne cherchée, car lorsque trois lignes forment entre elles une proportion, le rapport de la première à la troisième est égal au rapport de la figure construite sur la première à la figure construite semblablement sur la seconde.

10. Proposons-nous de plus de trouver une autre ligne telle que les figures solides provenant des deux lignes, et tracées semblablement, soient l'une avec l'autre dans un rapport donné. Soit une ligne quelconque ayant avec une autre un rapport donné, et supposons qu'entre ces deux lignes il y en ait deux autres qui leur soient moyennes proportionnelles. Si cela est, nous avons atteint notre but, car, lorsque quatre lignes s'ordonnent en trois rapports égaux, le rapport de la première à la quatrième est égal au rapport de la figure solide construite sur la première à la figure solide construite semblablement sur la seconde.

11. Comment donc trouverons-nous deux moyennes proportionnelles consécutives entre deux lignes données?

Nous ferons cette démonstration par une méthode qui ne nécessitera pas la considération des solides, et qui nous conduira à la manière d'opérer la plus aisée. Soient $\alpha\beta$, $\beta\gamma$ les deux lignes données; l'une est perpendiculaire sur l'autre; ce sont les deux lignes entre lesquelles nous voulons trouver deux moyennes proportionnelles. Achevons le rectangle $\alpha\beta\gamma\delta$, en menant les deux droites $\delta\gamma$, $\delta\alpha$; joignons $\beta\gamma$, $\gamma\alpha$; puis faisons passer par le point β une règle qui coupe les deux droites $\delta\varepsilon$, $\delta\zeta$, et que nous amènerons par rotation dans la position où les droites issues du point η et aboutissant aux points d'intersection de la

Fig. 6.



règle avec les lignes $\gamma\varepsilon$, $\alpha\zeta$ sont égales. Soit $\varepsilon\beta\zeta$ cette position, les deux lignes $\varepsilon\eta$; $\eta\zeta$ étant égales. Je dis que les deux droites $\alpha\zeta$, $\gamma\varepsilon$ sont moyennes proportionnelles entre les deux droites $\alpha\beta$, $\beta\gamma$; $\alpha\beta$ sera le premier terme des rapports, $\alpha\zeta$ le second, $\gamma\varepsilon$ le troisième et $\gamma\beta$ le quatrième. En effet le quadrilatère $\alpha\beta\gamma\delta$ a les côtés parallèles et les angles droits. Donc les quatre lignes $\delta\eta$, $\eta\alpha$, $\eta\beta$, $\eta\gamma$ sont égales. La ligne $\eta\delta$ étant égale à la ligne $\eta\alpha$, et la ligne $\eta\zeta$ étant déjà menée, nous avons : $\delta\zeta \times \zeta\alpha + \overline{\alpha\eta}^2 = \overline{\eta\zeta}^2$; et de même : $\delta\varepsilon \times \varepsilon\gamma + \overline{\gamma\eta}^2 = \overline{\eta\varepsilon}^2$. Or les deux lignes

$\varepsilon\eta$, $\eta\zeta$ sont égales; il en résulte : $\delta\zeta \times \zeta\alpha + \overline{\alpha\eta}^2 = \delta\varepsilon \times \varepsilon\gamma + \overline{\gamma\eta}^2$. Mais $\overline{\gamma\eta}^2 = \overline{\alpha\eta}^2$; il reste $\delta\varepsilon \times \varepsilon\gamma = \delta\zeta \times \zeta\alpha$ ou bien $\frac{\varepsilon\delta}{\delta\zeta} = \frac{\zeta\alpha}{\gamma\varepsilon}$; on a d'ailleurs : $\frac{\varepsilon\delta}{\delta\zeta} = \frac{\alpha\beta}{\alpha\zeta} = \frac{\varepsilon\gamma}{\gamma\beta}$. Donc les rapports $\frac{\alpha\zeta}{\gamma\varepsilon}$ et $\frac{\gamma\varepsilon}{\beta\gamma}$ sont égaux au rapport $\frac{\alpha\beta}{\alpha\zeta}$. Ainsi nous avons construit deux moyennes proportionnelles consécutives entre $\alpha\beta$ et $\beta\gamma$, à savoir les deux lignes $\alpha\zeta$ et $\gamma\varepsilon$. C'est ce que nous voulions démontrer.

12. Nous savons déjà comment nous pouvons grandir ou diminuer dans un rapport donné les figures régulières, planes ou solides. Il est nécessaire maintenant de trouver un instrument qui nous permette de résoudre le même problème dans le cas des figures irrégulières à deux ou à trois dimensions. Donnons d'abord des notions propres à faciliter notre démonstration; nous la ferons après.

On dit que des figures planes ou solides, régulières ou non, sont semblables et semblablement placées, lorsque dans l'une d'elles on peut tracer une figure rectiligne semblable à celle que l'on trace dans les autres et semblablement placée. Et l'on dit que des figures sont semblables entre elles, lorsque dans l'une d'elles on peut tracer des figures rectilignes, telles qu'il soit possible de décrire, dans les autres, des figures semblables à celles-là.

13. Lorsqu'une ligne se meut autour d'un point quelconque, et que sur cette ligne on donne deux points qui la partagent, à partir du point fixe, selon un rapport donné, ces points, en se mouvant sur cette ligne, décrivent des figures semblables. Si elle

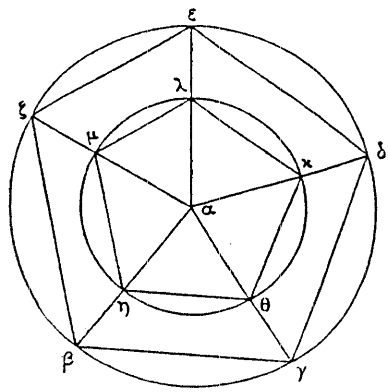
est mobile dans un plan, les figures décrites sont planes. Si elle est mobile, non dans un plan, mais dans l'espace, les figures décrites sont solides. Ainsi nous concevons que les points, par leur rapprochement mutuel, décrivent les surfaces des figures ; rien n'empêche en effet d'imaginer cette hypothèse dans l'ordre des représentations sensibles, et elle est plus juste et plus parfaite dans le sens abstrait.

A ce point de vue, des figures sont dites semblables, lorsque l'une est décrite dans l'autre et que l'on donne un point tel que les lignes issues de ce point vers les limites linéaires ou superficielles des figures soient coupées par ces limites dans un rapport constant.

14. Après ces préliminaires, démontrons que nous pouvons trouver une figure semblable à toute figure donnée et étant avec elle dans un rapport donné. Nous commencerons notre démonstration par les figures planes. Supposons donc une ligne quelconque, la ligne $\alpha\beta$ fixée au point α et mobile dans un plan. Sur elles sont les deux points β et η qui parcourent les lignes des figures. Le point β décrit dans le plan une ligne $\beta\gamma\delta\varepsilon\zeta$, et le point η décrit la ligne $\eta\theta\varkappa\lambda\mu$. Nous disons que les deux figures $\beta\gamma\delta\varepsilon\zeta$ et $\eta\theta\varkappa\lambda\mu$ sont semblables. En effet, traçons sur $\beta\gamma\delta\varepsilon\zeta$ une figure rectiligne, c'est le polygone ainsi désigné, et traçons aussi la figure $\eta\theta\varkappa\lambda\mu$. Joignons le point α aux points $\beta\gamma\delta\varepsilon\zeta$, nous obtenons les lignes déjà menées. Joignons aussi $\eta\theta\varkappa\lambda\mu$. Puisque les droites $\alpha\beta$, $\alpha\gamma$, $\alpha\delta$, $\alpha\varepsilon$, $\alpha\zeta$ sont divisées proportionnellement aux points η, θ,

$\varkappa$, λ, μ, selon l'hypothèse, la figure rectiligne $\beta\gamma\delta\varepsilon\zeta$ est semblable à la figure rectiligne $\eta\theta\varkappa\lambda\mu$. Nous dé-

Fig. 7.



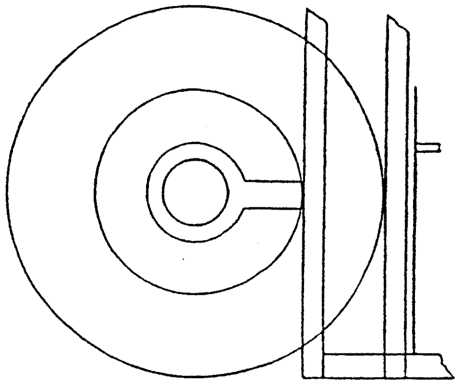
montrerions de même qu'il est possible de tracer dans la figure $\eta\theta\varkappa\lambda\mu$ une figure rectiligne semblable à toute figure rectiligne tracée dans la figure $\beta\gamma\delta\varepsilon\zeta$; donc les figures que décrivent les points sont semblables.

15. Exposons maintenant comment nous traçons, au moyen d'un instrument, une figure semblable à une figure plane donnée, selon un rapport donné. Établissons deux safihas [1] fixées sur un centre commun, dentées, bien assujetties autour d'un même axe, mobiles dans le plan où se trouve la figure à laquelle nous voulons construire une figure semblable. Que les safihas aient entre elles un rapport

[1] *Safiha*, cercle.

égal au rapport donné. Contre chacune des safîhas se trouve une règle dentée, dont les dents sont placées de façon à engrener avec celles de la safîha. Ces

Fig. 8.



deux règles sont guidées dans la rainure d'une autre règle, mobile autour de l'axe des safîhas, par le moyen d'un manchon. A l'extrémité des deux règles[1] dentées sont des sortes de mires[2] qui se meuvent le long des figures semblables; ces mires doivent glisser sur une ligne droite passant par le centre des safîhas, et se mouvoir toujours sur un même rayon autour de ce centre. Nous visons du même coup les trois mires; elles se trouvent ainsi toujours sur une même ligne droite. Il faut placer les mires sur les deux

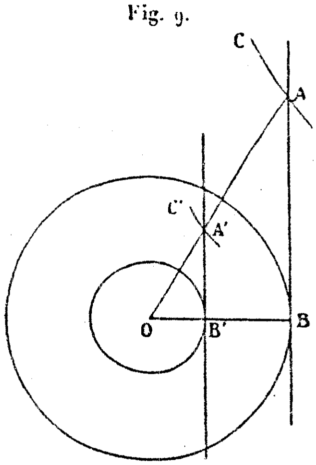
[1] Il y a ici une interruption dans le texte arabe, et ce qui suit présente de grandes obscurités.

[2] *Mires*, le texte dit: *centres*.

règles dentées à la même distance des règles que la mire centrale des deux safihas; puis on en recourbe l'extrémité de façon qu'elle atteigne le plan dans lequel nous voulons tracer les figures semblables. Si donc on amène l'une des mires sur la ligne qui limite la figure donnée, l'autre mire en sera éloignée d'une distance telle que les distances des deux mires au centre des safihas seront entre elles dans le rapport des diamètres des safihas[1]. La règle qui sert de guide doit être placée un peu de côté pour que la mire qui se déplace sur la ligne donnée puisse par-

[1] Ce paragraphe, très peu satisfaisant et accompagné d'une figure très grossière que nous reproduisons, ne laisse du moins aucun doute sur le principe de l'instrument qui y est si imparfaitement décrit. Soit AC la courbe donnée, O le centre de similitude, je fais tourner le cercle OB, jusqu'à ce que la ligne BA rencontre un certain point de la courbe, et je déplace cette ligne dans sa propre direction jusqu'à ce qu'un point de repère fixé sur elle coïncide avec le point de la courbe. La ligne A'B', tangente au cercle OB', est venue dans la rotation occuper une position parallèle à celle de AB; je la déplace aussi dans sa propre direction jusqu'à ce que le repère A', qu'elle porte, vienne sur la droite déterminée par les points O et A. Les repères A et A' décrivent ainsi des courbes semblables qui sont entre elles dans le rapport des rayons des cercles.

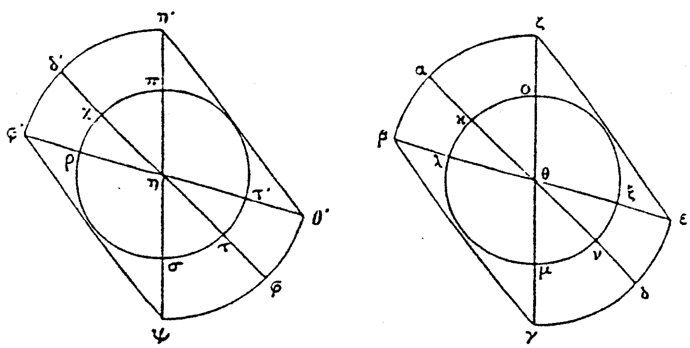
Fig. 9.



courir cette ligne. Alors l'autre centre décrit la figure semblable à la première figure; et il la décrit dans le rapport donné parce que les safîhas dentées ont entre elles ce rapport.

16. Cette figure semblable à la figure donnée et ayant avec elle un rapport donné, nous l'avons construite dans le lieu où se trouvait la figure donnée, et c'est en ce lieu que nous nous sommes proposé de tracer la figure semblable. Si maintenant nous voulons la construire, non en ce lieu, mais dans un autre, quel qu'il soit, nous agirons de la façon suivante. Soit $\alpha\beta\gamma\delta\varepsilon\zeta$ la figure semblable à la figure

Fig. 10.



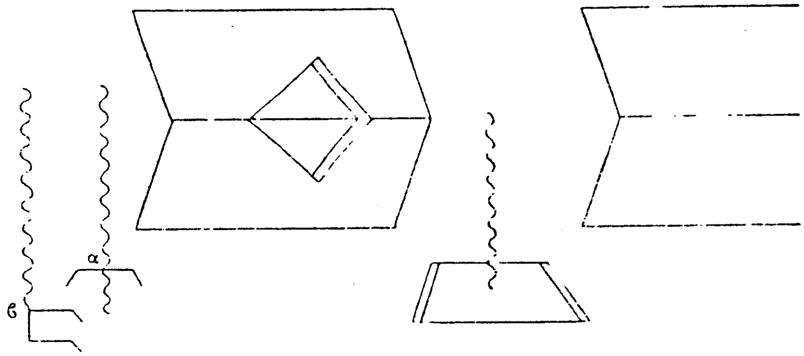
donnée, et supposons que nous voulions la transporter aux environs du point η. Prenons dans l'intérieur de la figure $\alpha\beta\gamma\delta\varepsilon\zeta$ un point quelconque, le point θ; décrivons autour des deux points η, θ comme centres, deux cercles égaux, dans le plan;

divisons-les en segments égaux deux à deux, aux points $\varkappa$, λ, μ, ν, ξ, o; χ, ρ, ς, τ, τ', π. Joignons les premiers au centre θ, et prolongeons ces rayons jusqu'à leur intersection avec la figure. Puis, du point η comptons des longueurs égales à celles de la figure $\alpha\beta\gamma\delta\varepsilon\zeta$. Soit la ligne $\alpha\varkappa$ égale à la ligne $\chi\delta'$, soit $\lambda\beta$ égal à $\rho\varphi'$, $\mu\gamma$ égal à $\sigma\psi$, $\nu\delta$ à $\tau\varphi$, $\xi\varepsilon$ à $\tau'\theta'$ et $o\zeta$ à $\pi\eta'$. Faisons alors passer une courbe par les points $\eta'\delta'\varphi'\psi\varphi\theta'$ et les points trouvés de la même manière. Si les cercles égaux de centres θ et η ont été divisés en un plus grand nombre de secteurs, les points déterminés sont plus voisins les uns des autres et la courbe tracée est plus exacte et plus parfaite. Décrivons donc la courbe $\eta'\delta'\varphi'\psi\varphi\theta'$; elle est égale à la ligne $\alpha\beta\gamma\delta\varepsilon\zeta$, et semblablement placée, parce que les figures planes sont égales et semblablement placées lorsqu'elles peuvent être superposées l'une à l'autre.

17. Dans le cas des figures solides, régulières ou non, on doit encore imaginer ce déplacement effectué par un procédé analogue, c'est-à-dire que l'on prendra une sphère tenant lieu du cercle ou construite sur lui, ou toute autre figure; on en prendra une seconde égale et semblablement placée, et l'on marquera sur elles des points homologues; ceux-ci seront joints à d'autres points situés dans le milieu de ces figures; on prolongera ces rayons, et les lignes ainsi menées détermineront une figure solide égale à la figure construite en premier lieu et semblablement placée.

18. Pour construire des figures solides semblables, nous procédons de cette manière : prenons deux tablettes de bois dur, planes et mobiles autour de leur ligne d'intersection, et ayons soin que celle-ci ne se déplace pas dans le mouvement des tablettes; c'est ce qui a lieu quand les centres des tourillons sur lesquels se meuvent les tablettes sont situés sur cette ligne commune. La grandeur des tablettes doit être

Fig. 11.

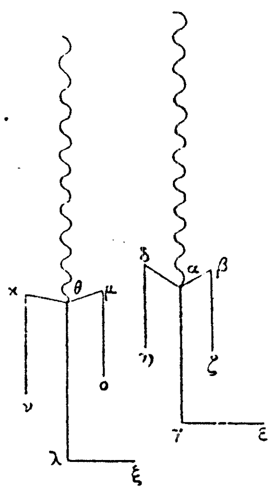


proportionnée à celle de la plus grande des deux figures solides semblables. Cela étant (fait et il était utile de l'indiquer), prenons deux outils de fer semblables à la pince que l'on appelle *chèlè*[1]. Les membres de ces outils qui s'ouvrent sont égaux en longueur; les bouts en sont recourbés et munis d'une pointe. Lorsque deux d'entre eux sont recourbés, il

[1] *Chèlè* gr. χηλή, pied fourchu, pince, pince de la baliste. Nous pensons qu'ainsi doit se transcrire l'arabe هولا. *Pince*, le texte dit : *pointe*.

en résulte une figure triangulaire. Soit le rapport donné entre les deux solides exprimé par le rapport de 3 entre les côtés homologues de ces triangles[1]. Représentons l'une des pinces par les lignes $\alpha\beta$, $\alpha\gamma$, $\alpha\delta$, les parties recourbées étant $\gamma\varepsilon$, $\beta\zeta$, $\delta\eta$. L'autre figure se compose des lignes $\theta\kappa$, $\theta\lambda$, $\theta\mu$, et les parties recourbées y sont les lignes $\kappa\nu$, $\lambda\xi$, μo. Les deux triangles semblables sont $\eta\varepsilon\zeta$, $\nu\xi o$. Construisons sur la ligne d'intersection des deux tablettes mobiles et sur l'une d'elles une figure égale à celle de la pince de fer et semblablement placée. Menons à partir de l'un des côtés du triangle une ligne parallèle à la base de ce triangle; elle limitera un autre triangle égal à celui de la pince de fer qui ressemble au *chèlè*. A chacune des pinces est attachée une verge d'étain, dont l'extrémité est ferrée et solide, afin que lorsqu'on la courbe, puis qu'on l'abandonne, elle demeure en repos sans trembler, comme font les deux verges d'étain qui servent à faire les effigies humaines. La

Fig. 12.



[1] Cette phrase est mauvaise. Les lettres indicatrices, dans les phrases qui suivent, demeurent sans emploi dans le reste du morceau. Le texte est défiguré en cet endroit.

11.

forme de cette pince que l'on appelle *chèlè* ressemble à celle de l'instrument qui est appelé *galéagre*[1]. Quant aux tablettes dont nous avons parlé, elles se meuvent l'une vers l'autre. d'un mouvement tel que, lorsqu'il a cessé, elles demeurent fixes, sans tremblement, comme les écrevisses. Telle est la manière de construire l'instrument; nous allons parler maintenant de son mode d'emploi.

Quand nous voulons construire une figure solide semblable à une autre figure donnée et étant avec elle dans un rapport donné, nous approchons de la pince triangulaire la surface de la figure solide, de façon que la surface vienne, de chaque côté, en contact avec les pointes. Nous approchons aussi l'autre pince, ressemblant au *chèlè*, de la figure que nous voulons construire, et, si nous voulons la faire plus grande que la figure correspondante, nous amenons la plus grande figure contre le plus grand triangle et l'autre contre le triangle restant. Supposons que nous voulions construire la figure semblable dans de la pierre, dans du bois dur ou dans quelque autre matière. Nous marquons sur chaque corps la place des pointes; les points qui sont ainsi déterminés occupant sur les corps des positions semblables, voici comment on délimite les autres parties : pour rendre notre exposition plus claire, supposons que nous voulions tracer un œil dans l'image d'un homme ou d'un autre animal. Nous plaçons

[1] *Galéagre* gr. *γαλεάγρα*, piège à belette. C'est aussi un organe de la presse. — *Ecrevisse*, sorte de pince. Cf. L. III, 7.

les pointes de la pince sur l'objet connu, c'est-à-dire sur le corps auquel il nous a été proposé de construire une figure semblable; puis nous courbons l'extrémité de la verge d'étain que possède la pince jusqu'à ce qu'elle atteigne l'œil en question. Nous enlevons ensuite la pince et nous la montons sur le triangle qui a été tracé sur l'une des tablettes; puis nous élevons ou abaissons l'autre tablette, sur laquelle il n'y a rien de tracé, jusqu'à ce qu'elle vienne toucher l'extrémité de la verge. Enlevant alors la pince, nous menons deux lignes joignant le point qu'a marqué la verge d'étain sur la tablette aux extrémités du côté du triangle situé sur la ligne d'intersection des deux tablettes. Nous gardons les tablettes immobiles l'une par rapport à l'autre, et nous menons par l'autre point situé sur la ligne d'intersection une parallèle à la base, jusqu'à sa rencontre avec la ligne déjà menée. Alors nous prenons l'autre pince, nous montons l'extrémité des dents aiguës et préalablement recourbées sur le triangle situé dans la première tablette et égal au triangle formé par les repères choisis; nous courbons la verge d'étain jusqu'à ce qu'elle atteigne le point déterminé par la ligne parallèle dans l'autre tablette; enfin nous enlevons la pince pour la porter sur les points marqués dans la figure non encore employée. Sur quelque point du corps que vienne l'extrémité de la verge, ce point sera celui qui occupera la place de l'œil de l'image, c'est-à-dire une position homologue à celle qu'occupe le point sur lequel a été recourbée la première verge. La verge sera de même recourbée sur les autres parties de la figure. Ainsi nous traçons les points homologues sur la pierre. Ensuite nous construirons la surface délimitée par ces points, car ce sont eux qui forment la figure à la ressemblance de la figure proposée, et dans le rapport de grandeur donné.

Quant à la ligne parallèle dont il a été question, on peut la mener dans la seconde tablette avec facilité, après avoir tracé sur la tablette une parallèle quelconque à la ligne d'intersection.

Que les figures obtenues par ce procédé soient semblables, cela est évident, parce qu'elles proviennent des figures correspondantes et semblablement placées, qui ont pour bases les triangles décrits par les extrémités des verges dans chaque corps. Qu'elles aient entre elles un rapport donné, cela est évident aussi, parce que les figures correspondantes au moyen desquelles les corps ont été délimités ont le rapport de 3 entre les côtés homologues : c'est en effet ce que l'on a admis pour les côtés des triangles semblables; donc les solides sont l'un avec l'autre dans le rapport donné [1].

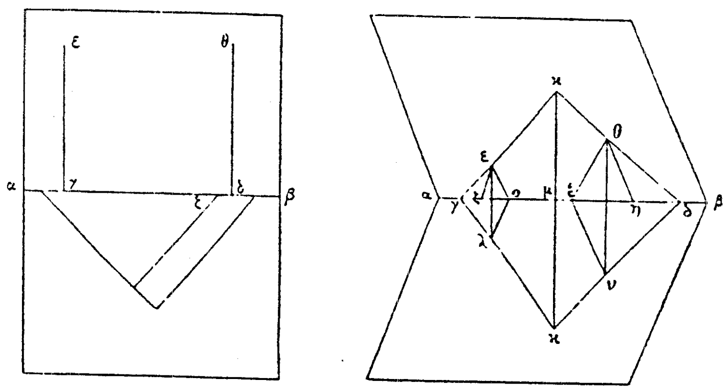
19. Si nous voulons construire des corps semblables, mais renversés, nous opérerons avec cet instrument en renversant les trois points dans chaque

[1] Toute la description contenue dans ce paragraphe est extrêmement obscure. Les figures ne le sont pas moins; nous les reproduisons telles qu'elles sont, sans essayer de les restituer. La fig. 12 est une retouche faite en noir sur les détails α et β de la fig. 11.

figure, en partant de la position qu'ils occupent dans le cas de similitude; il résultera de la jonction de ces points par des lignes deux triangles égaux aux triangles marqués par les pointes de la pince, j'entends ceux qui sont tracés sur la première tablette. Les deux instruments seront transportés dans des directions opposées, et l'on déterminera ainsi des points consécutifs qui délimiteront les parties du corps où l'on aura opéré.

Si nous voulons construire des figures symétriques l'une de l'autre, en sorte que, l'une avançant le pied droit, l'autre avance le gauche d'une quantité semblable à celle dont la première avance le droit,

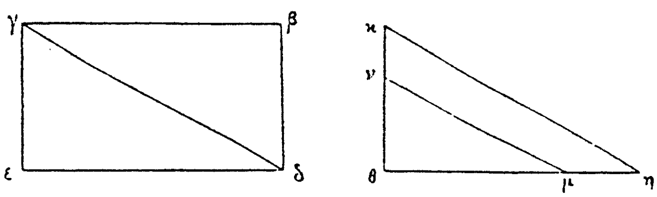
Fig. 13.



et de même pour les autres membres, nous procéderons ainsi : nous porterons l'instrument vers le point marqué sur la seconde tablette et dans la direction opposée, de façon qu'il soit symétriquement placé, c'est-à-dire que la perpendiculaire issue du point susdit sur la ligne d'intersection soit distante de la première extrémité, de la distance qui sépare l'autre ligne de l'autre point dans l'autre direction, et qu'elle soit aussi égale à l'autre perpendiculaire; ainsi, soit la ligne d'intersection des deux tablettes la ligne $\alpha\beta$; soient les extrémités du côté du triangle les points γ, δ, et le point marqué, le point ε. Menons sur la ligne $\gamma\delta$ une perpendiculaire, tombant en ζ; prenons la longueur $\delta\eta$ égale à la longueur $\gamma\zeta$. La ligne $\eta\theta$ sera égale à la ligne $\varepsilon\zeta$, perpendiculaire sur l'intersection. Donc on ne courbera pas l'extrémité de la verge dans le voisinage du point ε, mais dans le voisinage du point θ. Nous continuerons de même à la porter dans le sens opposé, et nous construirons symétriquement les différentes parties du corps[1].

[1] Ce paragraphe 19 n'est pas moins difficile que le précédent.

Fig. 14.



L'altération du texte y est prouvée d'une manière certaine par la présence de deux figures (fig. 13), dont l'une ne correspond pas au

IV. — 20. Beaucoup de personnes, se plaçant à des points de vue faux, pensent que les fardeaux placés à terre ne peuvent être mis en mouvement que par une puissance qui leur est équivalente. Nous démontrerons que les poids qui ont une telle position peuvent être mus par une force moindre que toute force donnée; et nous expliquerons pour quelle cause cela ne paraît pas évident dans le fait. Imaginons un fardeau posé à terre, dont la surface soit bien égale et unie, et de substance compacte. Le plan sur lequel est ce poids peut être incliné dans les deux sens, c'est-à-dire à droite et à gauche. Inclinons-le d'abord à droite. Il est évident que le poids penchera vers la droite, parce qu'il est dans la nature des corps graves de se mouvoir vers le bas, si rien ne les étaye et ne s'oppose à leur mouvement. Si ensuite le côté incliné est rapproché peu à peu du plan horizontal et remis de niveau, le poids sera sensible à ces différences; si le plan s'incline dans l'autre sens, c'est-à-dire vers la gauche, le poids descendra encore le long du plan incliné, même si l'inclinaison est fort petite, car il a besoin d'être soutenu par une certaine puissance pour ne pas se mouvoir. Lorsque le plan est replacé de niveau, sans inclinaison dans aucun sens, le poids demeure en repos sans qu'aucune puissance le retienne,

texte, et dont l'autre contient des lignes et des lettres dont il n'est pas fait mention. Nous reproduisons ces deux figures. — A la page suivante, p. 17, se trouvent des figures (fig. 14) qui ne se rapportent à aucune partie du texte, et que nous recopions aussi.

jusqu'à ce que le plan soit incliné dans un sens ou dans l'autre; alors le poids penche dans ce sens par l'effet de la pesanteur qui le fait partir d'un côté ou de l'autre; il n'a donc pour entrer en mouvement que la puissance très petite capable de soulever le plan. Donc le poids est mû par toute force, si petite soit-elle.

21. Les eaux qui se trouvent sur un plan non incliné ne coulent pas, mais elles restent immobiles sans pencher d'aucun côté. Si l'on vient à donner au plan la moindre inclinaison, elles s'écoulent toutes le long de la pente, et il ne reste plus sur le plan la moindre particule d'eau, à moins qu'il ne contienne des cavités, au fond desquelles de faibles quantités d'eau se trouvent retenues, comme dans le creux des coupes. L'eau produit ces effets parce que ses parties ne sont pas adhérentes entre elles et qu'elles sont extrêmement divisibles; les corps solides au contraire n'ont point, d'après leur nature, des surfaces lisses, et ils ne peuvent point s'aplanir; aussi arrive-t-il par le fait de l'aspérité de ces corps qu'ils s'étayent les uns les autres, et les uns prennent leur point d'appui sur les autres, comme les dents d'un engrenage. De là naissent des obstacles parce que lorsqu'ils se trouvent en grandes masses et unis les uns aux autres, il faut, pour les manier, réunir une force considérable. L'expérience, qui est la meilleure éducatrice, a appris à placer sous les tortues[1] des pièces

[1] *Tortue*, χελώνη. Cf. l. III, 1.

de bois de forme cylindrique, qui ne touchent le sol que par une étroite ligne de contact; le frottement en est réduit autant que possible. On emploie aussi des pieux, sur lesquels le fardeau se meut avec facilité, à condition que le poids de l'appareil dépasse celui du fardeau. D'autres personnes affermissent sur le sol des planches rabotées et rendues bien lisses et les enduisent de suif afin d'en adoucir les aspérités. Ils meuvent alors le poids avec une force très faible. Les colonnes, quoique lourdes, lorsqu'elles sont renversées sur le sol de façon à ne le toucher que le long d'une arête, sont mises en mouvement avec facilité. Il en est de même de la sphère; nous en avons déjà parlé.

22. Quand nous voulons élever un poids, nous avons besoin d'une force qui lui soit égale. Imaginons une poulie[1] élevée et mobile, dressée au-dessus du sol; elle se meut d'un mouvement aisé autour d'un axe, monté sur des tourillons; la surface de son pourtour porte une corde, dont une extrémité est attachée au fardeau et dont l'autre extrémité est liée à la puissance qui la tire. Je dis que ce poids est mû par une force qui lui est égale. S'il y a à cette seconde extrémité, non une force, mais un poids égal à celui qui tend le premier brin, il est évident que ces poids égaux n'inclinent l'instrument ni dans un sens ni dans l'autre; le fardeau n'est pas assez fort pour entraîner le poids attaché au second brin, non plus

[1] *Poulie*. Le terme arabe est douteux.

que ce poids pour entraîner le fardeau, puisque le poids attaché en second lieu équivaut au fardeau donné d'abord. Lors donc que le poids reçoit un accroissement si faible soit-il, l'autre poids se trouve entraîné en haut. Ainsi la puissance destinée à mouvoir le fardeau, dès qu'elle lui est supérieure, l'emporte sur lui et le met en mouvement, abstraction faite du frottement qui survient dans la rotation de l'instrument et de la rigidité dans les cordes, qui font obstacle au mouvement.

23. Les poids placés sur des plans inclinés tendent naturellement en bas, comme il arrive dans le mouvement de tous les corps. Si cela n'a pas lieu comme nous le disons, on doit penser que la cause signalée plus haut agit [1]. Proposons-nous de tirer vers le haut un poids posé sur un plan incliné. Le sol de ce plan est doux et uni de même que la partie de la surface du poids, qui s'appuie dessus. Nous aurons recours à quelque puissance ou à quelque poids appliqué de l'autre côté, pour faire d'abord équilibre au poids donné, afin qu'un excès de puissance l'emporte sur ce poids et le tire en haut. Pour établir parfaitement notre démonstration, faisons-la pour le cas d'un cylindre placé sur le plan incliné. Comme les cylindres ne touchent pas le sol par une grande surface, il est dans leur nature de rouler en bas. Imaginons donc un plan passant par l'arête qui touche le plan incliné et perpendiculaire

[1] *La cause signalée plus haut*, le frottement, les aspérités du plan.

sur ce plan. Il est clair que ce plan passe par l'axe du cylindre et qu'il divise ce corps en deux parties égales; car, étant donnés un cercle et une tangente, lorsqu'on élève à partir du point de contact une ligne faisant avec la tangente un angle droit, elle va rencontrer le centre du cercle. Par la même arête du cylindre, menons un autre plan perpendiculaire sur l'horizon; il ne se confondra pas avec le premier plan, et il partagera le cylindre en deux portions inégales, dont la plus petite se trouvera vers le haut et la plus grande vers le bas; la plus grande l'emportera sur la plus petite, puisqu'elle est plus grande, et le cylindre roulera. Mais si, considérant le plan mené perpendiculairement à l'horizon, nous imaginons qu'on enlève de la portion la plus grande qu'il détermine dans le cylindre une quantité égale à celle dont elle excède la portion la plus petite, les deux portions se feront équilibre; leur poids reposera immobile sur l'arête qui touche le sol incliné, et ne tendra ni d'un côté ni de l'autre ni en haut, ni en bas. On a donc besoin d'une puissance équivalente à cette différence pour faire équilibre au poids et, dès qu'on ajoutera à cette puissance le plus léger excès, elle l'emportera sur le poids[1].

V. — 24. On voit bien qu'il faut de toute nécessité que ceux qui apprennent les arts mécaniques sachent ce que c'est que la pesanteur et ce qu'est le

[1] *Équivalente à cette différence*: nous précisons le texte.

centre de gravité, soit dans les corps, soit dans les figures non corporelles; bien que la pesanteur et l'inclinaison [1] ne s'entendent exactement que des corps, cependant personne ne s'opposera à ce que nous disions que dans les figures géométriques, solides et planes, le centre d'inclinaison, le centre de gravité est en tel point. Cette question a été exposée par Archimède avec des développements suffisants. Il faut savoir à ce sujet que Praxidamas(?), qui était un peintre, a donné du centre de gravité une définition physique. Il a dit que le centre de gravité ou d'inclinaison est un point tel que, lorsque le poids est suspendu par ce point, il est divisé en deux portions équivalentes. A la suite de cela, Archimède et les mécaniciens qui l'ont imité ont scindé cette définition, et ils ont distingué le point de suspension du centre d'inclinaison; le point de suspension est un point quelconque sur le corps ou sur la figure non corporelle, tel que lorsque l'objet suspendu est suspendu à ce point, ses portions se font équilibre, c'est-à-dire qu'il n'oscille ni ne s'incline. L'équilibre est l'état d'équivalence entre une chose et une autre, comme on le constate dans la balance, lorsqu'elle s'arrête parallèlement au plan de l'horizon ou à quelque autre plan. Archimède dit que les corps graves peuvent rester sans inclinaison autour d'une ligne ou autour d'un point: autour d'une ligne, lorsque, le corps reposant sur deux points de cette ligne, il ne penche d'aucun

[1] *L'inclinaison*, sens du gr. ῥοπή.

côté[1]; alors le plan perpendiculaire à l'horizon, mené par cette ligne, en quelque endroit qu'on la transporte, demeure perpendiculaire et ne s'incline pas autour d'elle. Quand nous disons que le corps grave penche, nous voulons seulement exprimer son déplacement vers le bas, c'est à-dire son inclinaison dans la direction du sol. Quant à l'équilibre autour d'un point, il a lieu lorsque, le corps y étant suspendu, quel que soit le mouvement du point, ses parties s'équivalent entre elles.

Lorsqu'un corps grave fait équilibre à un autre corps grave et que tous deux sont suspendus à deux points d'une ligne partagée par moitiés et reposant sur le point de division, cette ligne est parallèle à l'horizon, si le rapport des grandeurs des poids est égal à l'inverse du rapport des distances respectives de leurs points de suspension au point de division de la ligne. Les poids suspendus de cette façon se font équilibre sans inclinaison du fléau; c'est ce qu'Archimède a démontré dans ses livres sur les équilibres des figures où sont employés les leviers.

Les choses se passent de même pour les crochets que pour les supports, parce qu'un crochet et un support, c'est une même chose quant à la force. Les supports auxquels sont accrochés les poids sont aussi ceux qui portent les poids. Il peut arriver que ces supports soient en nombre considérable, illimité. Le centre de gravité dans chaque corps est un point

[1] *Il ne penche*. Le texte porte : *la ligne ne penche*.

unique vers lequel sont tirés les crochets qui tiennent aux supports. Le centre de gravité dans certains corps est extérieur à la substance du corps; c'est ce qui a lieu par exemple dans les arcs et les bracelets. Les lignes selon lesquelles les crochets sont tendus convergent toutes en un point commun. Pour le démontrer, nous imaginons un plan quelconque perpendiculaire sur l'horizon, et qui coupe un corps de façon que les sections s'équilibrent. Il apparaît manifestement que ce plan partage le corps en deux parties équivalentes. Il pénètre donc dans le corps: imaginons un autre plan qui coupe aussi le corps dans les mêmes conditions, et qui y pénètre comme y pénètre le premier, ces deux plans se couperont suivant une droite; or si l'intersection ne rencontre pas le point de suspension, il en résultera que le corps sera à la fois en équilibre et ne le sera pas. Transportons aux supports cette démonstration. Imaginons un corps en équilibre autour d'un plan vertical, et que ce corps soit aussi en équilibre par rapport à une ligne verticale menée par un certain point de ce plan. Lorsque cette ligne sera menée, elle pénétrera dans le corps; si elle tombe en dehors du corps, le plan mené par elle tombera aussi en dehors du corps; mais il est évident que cela est impossible; donc la ligne pénètre dans le corps et le partage en deux parties équivalentes. Imaginons que l'équilibre ait lieu autour d'un autre point distinct du premier; il arrivera ici ce qui est arrivé d'abord, c'est-à-dire que la ligne issue de ce point pénétrera dans le milieu du corps; mais les deux lignes seront distantes l'une de l'autre; et si par elles on mène deux plans, ils ne se couperont pas. Il sera donc possible de mener par deux lignes deux plans qui ne se coupent pas. Ainsi l'on aboutit à la même conclusion que précédemment : ce qui est proposé est impossible. Par là on sait que les plans se coupent, que les lignes se rencontrent et qu'elles sont dans un même plan. Prolongeons ce plan vers la surface du corps; il y décrit une ligne d'intersection : soit un troisième point situé hors de cette ligne. Imaginons que le corps soit en équilibre autour de ce nouveau point, et menons de ce point une ligne vers la surface du corps; d'après ce que nous avons dit plus haut, cette ligne prolongée coupe les deux lignes par lesquelles nous avons fait passer les deux plans, et elle les rencontre précisément en leur point d'intersection, parce que, lorsqu'une ligne rencontre deux lignes qui se coupent, et qu'elle n'est pas dans leur plan, elle les rencontre en leur point d'intersection. Il serait absurde que ces lignes ne se rencontrassent pas en ce point d'intersection, puisqu'elles sont dans des plans divers. Donc toutes les lignes selon lesquelles les organes de suspension se trouvent tirés se réunissent en un même point : c'est celui qu'on nomme le centre d'inclinaison et de gravité.

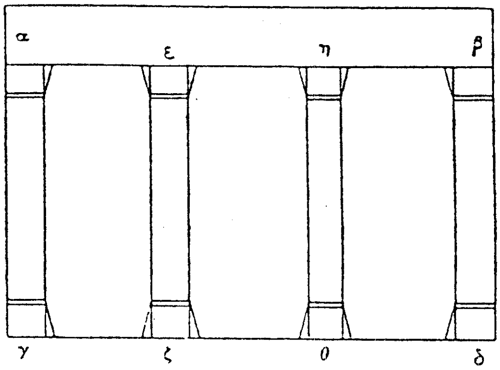
VI. — 25. Il est nécessaire d'expliquer comment on soutient, comment on porte et transporte les corps graves, avec les développements convenables pour une introduction. Archimède a traité cette matière avec un art très sûr dans son livre appelé *Livre des supports;* pour nous, nous établirons ce qu'on a besoin d'en connaître pour d'autres objets, et nous ferons usage de ces résultats, dans la mesure qui peut convenir aux étudiants. Voici la voie que nous suivrons :

Soient des colonnes en nombre quelconque; elles supportent des poutres transversales ou une paroi, posées sur elles dans des situations identiques ou diverses, dépassant par l'une de ~~leurs~~ extrémités ou par les deux ensemble, et ces colonnes sont également ou inégalement distancées; nous voulons connaître quelle portion du poids supporte chacune d'elles. Un exemple semblable est offert par ce cas : une longue poutre, partout de même poids, est portée par des hommes également espacés sur sa longueur et entre ses extrémités; elle dépasse par l'une de ses extrémités ou par les deux ensemble. Nous voulons connaître quelle portion de son poids chaque homme supporte. Le problème est le même dans les deux cas.

26. Soit un fardeau homogène et ayant même épaisseur partout, posé sur des colonnes; $\alpha\beta$ est ce fardeau. Supposons-le placé sur deux colonnes $\alpha\gamma$ et $\beta\delta$. Chacune des deux colonnes $\alpha\gamma$ et $\beta\delta$ supporte la moitié du poids $\alpha\beta$. Supposons encore qu'une autre colonne $\varepsilon\zeta$ partage la distance $\alpha\beta$, dans une proportion quelconque. Nous voudrions savoir quelle portion du poids supporte chacune des colonnes

$\alpha\gamma$, $\varepsilon\zeta$, $\beta\delta$. Imaginons le poids $\alpha\beta$ divisé au point ε selon une ligne qui prolonge l'axe de la colonne. Il est évident que le segment $\alpha\varepsilon$ fait porter la moitié

Fig. 15.

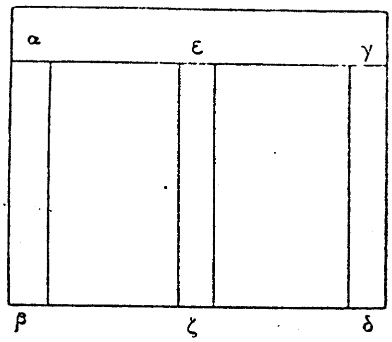


de son poids sur chacune des deux colonnes $\alpha\gamma$ et $\varepsilon\zeta$, et que chacune des deux colonnes $\varepsilon\zeta$ et $\beta\delta$ supporte la moitié du poids du segment $\varepsilon\beta$. En effet, il n'y a pas de différence dans le poids que supportent les colonnes, que la poutre reposant sur elles soit continue ou divisée, parce que, continue ou divisée, la somme de son poids est toujours sur les colonnes. Donc la colonne $\varepsilon\zeta$ porte la moitié du poids de $\varepsilon\beta$ et la moitié du poids de $\alpha\varepsilon$, c'est-à-dire la moitié du poids total $\alpha\beta$; la colonne $\alpha\gamma$ supporte la moitié du poids de $\alpha\varepsilon$, et la colonne $\beta\delta$ la moitié du poids de $\varepsilon\beta$. Si nous divisons la moitié de $\alpha\beta$, dans le rapport de la distance $\alpha\varepsilon$ à la distance $\varepsilon\beta$, le poids du segment proportionel à $\alpha\varepsilon$ est porté par $\alpha\gamma$, et le poids du segment proportionnel à $\varepsilon\beta$ l'est par $\beta\delta$. Plaçons encore une autre colonne $\eta\theta$. Il est évident que $\alpha\gamma$ supporte la moitié de $\alpha\varepsilon$, $\beta\delta$ la moitie de $\eta\beta$, $\varepsilon\zeta$ la moitié de $\alpha\eta$, et $\eta\theta$ la moitié de $\varepsilon\beta$. Or la moitié de $\alpha\varepsilon$ plus celle de $\eta\beta$, plus celles de $\alpha\eta$ et de $\varepsilon\beta$, c'est $\alpha\beta$ tout entier, et c'est ce qui repose sur l'ensemble des colonnes.

Si les colonnes sont plus nombreuses, le même raisonnement fait connaître quelle portion du poids supporte chacune d'elles.

27. Cela étant, soient les supports $\alpha\beta$, $\gamma\delta$ dans des positions identiques, et supposons qu'il y ait sur eux un corps partout de même grosseur et de même poids; $\alpha\gamma$ est ce corps. Nous avons déjà dit que chacun

Fig. 16.

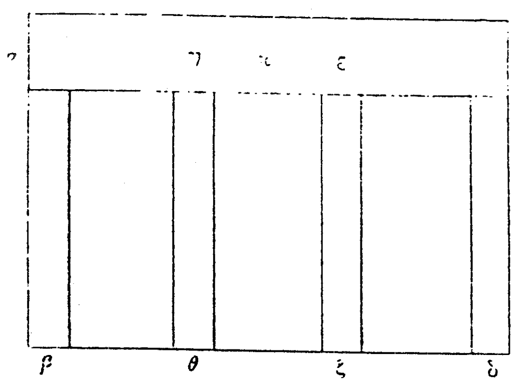


des deux montants $\alpha\beta$, $\gamma\delta$ supporte la moitié du poids $\alpha\gamma$. Déplaçons maintenant le support $\gamma\delta$ et rapprochons-le de $\alpha\beta$, soit $\varepsilon\zeta$ sa nouvelle position. Nous voulons savoir encore quelles portions du poids portent $\alpha\beta$ et $\varepsilon\zeta$. La distance $\alpha\varepsilon$, ou bien est égale à la distance $\varepsilon\gamma$, ou bien elle est plus petite ou plus grande qu'elle. Supposons-la égale. Il est clair que le poids de $\alpha\varepsilon$ fait équilibre au poids de $\varepsilon\gamma$. Si nous enlevons le support $\alpha\beta$, le fardeau $\alpha\gamma$ restera stable dans sa position. Il est donc évident que le support $\alpha\beta$ ne porte rien du poids; le poids $\alpha\gamma$ repose sur $\varepsilon\zeta$ seul.

Si nous faisons la distance $\gamma\varepsilon$ plus grande que la distance $\alpha\varepsilon$, le poids $\alpha\gamma$ s'abaisse du côté de γ.

Soit enfin la distance $\varepsilon\gamma$ plus petite que la distance $\alpha\varepsilon$, prenons $\varepsilon\eta$ égal à $\gamma\varepsilon$; $\eta\gamma$ sera en équilibre sur $\varepsilon\zeta$ seul. Plaçons un montant en $\eta\theta$. Si nous ima-

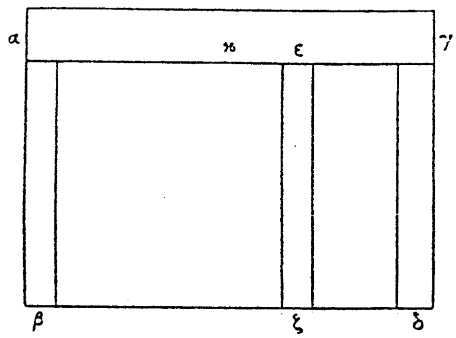
Fig. 17.



ginons que le poids est coupé au point η, le segment $\eta\gamma$ reposera sur $\varepsilon\zeta$ seul, et la moitié de $\alpha\eta$ pèsera sur chacun des deux montants $\alpha\beta$, $\eta\theta$. Lorsque le montant $\eta\theta$ viendra à manquer, la résistance qu'il représentait sera transportée au point η dans le corps continu. Donc $\alpha\beta$ supporte la moitié du poids $\alpha\eta$, et $\varepsilon\zeta$ supporte le reste, c'est-à-dire $\eta\gamma$ et la moitié de $\alpha\eta$. Si nous imaginons $\alpha\gamma$ partagé par moitiés au point $\varkappa$, $\varkappa\varepsilon$ est la moitié de $\alpha\eta$; lorsque le montant qui était d'abord en ε est transporté sous le point $\varkappa$, il supporte la totalité du poids $\alpha\gamma$; et toutes les fois que ce montant s'écarte du point qui partage le poids en deux parties égales, on voit quelle est la portion du poids que supporte $\alpha\beta$; le reste porte sur l'autre montant.

28. Puisqu'il en est ainsi, imaginons deux supports $\alpha\beta$, $\varepsilon\zeta$ dans la même position que plus haut. La partie $\varepsilon\gamma$ dépasse, et nous partageons $\alpha\gamma$ en deux

Fig. 18.



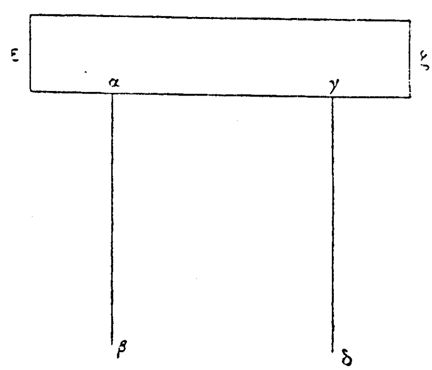
moitiés au point $\varkappa$. Nous avons déjà démontré que le montant $\alpha\beta$ porte le poids de $\varkappa\varepsilon$, et que le montant $\varepsilon\zeta$ porte le reste du poids de $\alpha\gamma$. Supposons qu'il y ait un support sous le point γ, soit $\gamma\delta$ ce support. Il est démontré aussi que le montant $\alpha\beta$ porte la moitié du poids de $\varepsilon\alpha$ et le montant $\delta\gamma$ la moitié du poids de $\varepsilon\gamma$, et que le montant $\varepsilon\zeta$ porte la moitié du poids de $\alpha\gamma$. Avant d'introduire le montant $\gamma\delta$, nous avons montré quelle partie du poids supportent respectivement $\alpha\beta$ et $\varepsilon\zeta$. Il apparaît donc clairement que, à la suite de l'introduction du support $\gamma\delta$ sous le poids, la portion du poids qui pèse sur le support $\alpha\beta$ est plus grande qu'auparavant d'une quantité équivalente à la moitié de $\varepsilon\eta$ ou de $\varepsilon\gamma$, au lieu que celle qui pèse sur $\varepsilon\zeta$ est moindre qu'auparavant d'une quantité équivalente à $\varepsilon\gamma$. La portion du poids que supporte $\delta\gamma$, d'après cela, est la moitié de $\varepsilon\gamma$, puisque ce support, étant ajouté sous le poids, allège la charge de $\varepsilon\zeta$ d'un poids égal à celui de $\varepsilon\gamma$ et rejette sur le montant $\alpha\beta$ un poids égal à la moitié de $\varepsilon\gamma$. Donc $\gamma\delta$ supporte la moitié du poids de $\varepsilon\gamma$: car c'est la quantité restante, et c'est celle que nous avions déjà obtenue par l'autre procédé. Par là on voit que, lorsqu'un poids quelconque repose sur des montants et qu'à ces montants on en ajoute un autre, l'un des premiers montants, celui qui est à l'extrémité du fardeau, supporte une plus grande portion du poids que celle qu'il supportait avant cette adjonction, au lieu que l'autre montant en supporte une moindre portion qu'auparavant. Et puisque, les trois supports $\alpha\beta$, $\varepsilon\zeta$, $\gamma\delta$ étant dressés, le montant $\alpha\beta$ porte la moitié de $\alpha\varepsilon$ et que ce même montant porte la moitié du poids de $\alpha\gamma$, si le support $\gamma\delta$ vient à manquer, il est évident que la portion $\varepsilon\gamma$ qui dépasse joue le rôle de levier; elle enlève une partie du poids qui pesait sur $\alpha\beta$ et elle apporte une surcharge de poids au support $\varepsilon\zeta$, sans que d'ailleurs le corps grave change de position.

29. Qu'une force légère ne puisse pas, sans l'intermédiaire de quelque machine, mouvoir un poids très lourd, c'est un fait de toute évidence. Deux hommes meuvent avec facilité un poids qu'un homme seul ne mouvrait pas, même en y mettant toute sa force. Nous voyons bien que le fardeau n'est mis en mouvement qu'après que la force du second homme est venue s'ajouter à celle du premier; mais ce second homme tout seul ne le mouvrait pas. Cela est évident parce que, si le premier homme s'arrête et laisse tout le poids au second, celui-ci ne meut pas le fardeau. Si l'on partage le fardeau en deux moitiés, le premier homme seul meut sa moitié et laisse l'autre en repos. La moitié que meut cet homme seul était adhérente à l'autre moitié avant que celle-ci en fût détachée. Pour la même raison, lorsque des forces nombreuses mettent en mouvement un certain poids, et qu'une seule de ces forces vient à faire défaut, l'ensemble des forces qui restent après que celle-ci a manqué ne peuvent mouvoir ce poids. Si des forces réunies ont commencé à mouvoir le poids après l'addition d'une dernière force donnée, elles le meuvent avec facilité. La même chose se manifeste dans les percussions; lorsque de nombreux coups ont ébranlé la solidité d'un objet, un seul coup frappé en plus

le réduit en morceaux. Et ce n'est pas seulement l'effet de l'ensemble des percussions, mais aussi de ce dernier coup seul. Il y a de cela des exemples sensibles : si nous avons un poids et que nous puissions le lever mais après de grands efforts, n'est-il pas évident que notre force se mesure à ce poids?

30. Soient des supports $\alpha\beta$, $\gamma\delta$, sur lesquels repose un corps ayant partout même poids et même épaisseur. Soit $\varepsilon\zeta$ ce corps; il dépasse ces deux supports; nous voulons savoir quelle portion de son

Fig. 19.



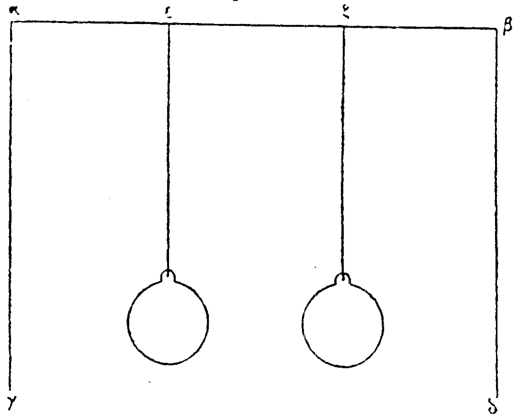
poids pèse sur chacun des deux montants. Nous avons déjà démontré que, lorsqu'un poids $\alpha\zeta$ est placé sur des supports $\gamma\delta$ et $\alpha\beta$, $\gamma\delta$ supporte du poids une portion plus grande que celle qui est supportée par $\alpha\beta$, d'une quantité équivalente au double de $\gamma\zeta$. Et $\gamma\varepsilon$ étant placé sur $\gamma\delta$, le montant $\alpha\beta$ supporte du poids une portion plus grande que celle qui est supportée par $\gamma\delta$ d'une quantité équivalente au double de $\alpha\varepsilon$. Il est donc clair que $\gamma\delta$ supporte de plus que $\alpha\beta$ une portion du poids équivalente à l'excès du double de $\gamma\zeta$ sur le double de $\alpha\varepsilon$. Si $\gamma\zeta$ est égal à $\alpha\varepsilon$, chacun des deux pieds $\gamma\delta$, $\alpha\beta$ supporte du poids une quantité égale, et si l'une de ces longueurs augmente, le pied correspondant supporte un accroissement de charge proportionnel.

De ce que nous avons dit plus haut, il résulte avec évidence que, quand des poutres ou des parois ayant partout même épaisseur et même poids reposent sur des colonnes ou des supports, espacés inégalement et sans règle, nous pouvons savoir sur lequel des supports pèse le plus grand poids, et quel est l'excès de charge sur ce support. S'il y a sur les piliers des solives ou quelque autre chose, ces mêmes procédés sont applicables. De même encore, lorsque des hommes portent à bras ou sur les épaules une poutre ou une pierre, les uns étant au milieu, les autres au bout, qu'ils soient du même côté du fardeau ou des deux côtés, nous savons clairement quelle portion du poids pèse sur chacun d'eux.

31. Soit un autre corps $\alpha\beta$, égal aussi et de même poids dans toutes ses parties; il repose sur des supports dressés dans des positions identiques $\alpha\gamma$ et $\beta\delta$. Il est clair que sur chacun des supports pèse la moitié du poids $\alpha\beta$. Suspendons un poids à $\alpha\beta$, au point ε; si le point ε divise $\alpha\beta$ par moitiés, il est évident que chacun des deux pieds supporte une moitié du poids $\alpha\beta$, plus une moitié du poids

suspendu au point ε ou chargé en ce point. Si le point ε ne divise pas $\alpha\beta$ en deux parties égales, di-

Fig. 30.



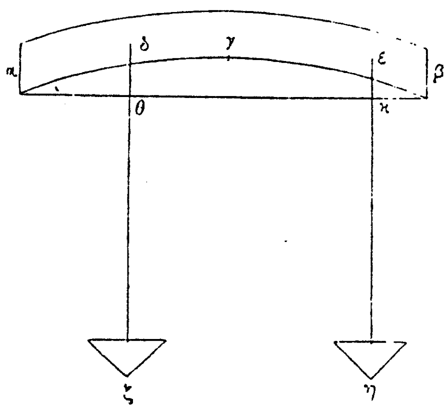
visons le poids suspendu en deux portions dans le rapport $\frac{\beta\varepsilon}{\varepsilon\alpha}$; le poids de la portion proportionnelle à $\varepsilon\beta$ pèsera sur $\alpha\gamma$, et celui de la portion proportionnelle à $\alpha\varepsilon$ pèsera sur $\beta\delta$. De plus, chacun des deux pieds supporte la moitié de $\alpha\beta$. Suspendons un autre poids au point ζ, et divisons-le dans le rapport $\frac{\alpha\zeta}{\zeta\beta}$; $\delta\beta$ supportera le poids de la partie proportionnelle à $\alpha\zeta$, et $\alpha\gamma$ le poids de la partie proportionnelle à $\zeta\beta$, et chaque pied supportera de plus la moitié de $\alpha\beta$. On a énoncé[1] un poids proportionnel à $\zeta\beta$ supporté par $\alpha\gamma$; les poids que ce pied supportait

[1] *On a énoncé, énuméré et connu.* Ce passage est évidemment tronqué, sans pourtant être obscur.

avant qu'on en ait suspendu en ε et en ζ étaient déjà énoncés; donc tout ce que supportent les deux pieds $\alpha\gamma$, $\beta\delta$ est énuméré et connu. Si l'on continue à suspendre d'autres poids, on saura par la même méthode quel poids pèse sur chacun des deux supports.

32. Beaucoup de gens pensent que lorsque, dans la balance, les poids appliqués à certaines distances du point de suspension se font équilibre, les poids sont inversement proportionnels à leurs distances respectives. Mais il ne faut pas énoncer cela sous cette forme négligée; nous devons introduire une autre distinction. Supposons que $\alpha\beta$ soit le fléau

Fig. 21.



d'une balance ayant partout même poids et même épaisseur. Il est suspendu en son milieu, au point γ; on accroche à des points quelconques, ε et δ par exemple, des cordes; soient $\delta\zeta$, $\varepsilon\eta$ ces deux cordes.

et on y suspend deux poids. Le fléau est horizontal après qu'on a équilibré les poids. Imaginons que les deux cordes passent aux points $\theta\varkappa$; le fléau étant en équilibre, la distance $\theta\gamma$ sera à $\gamma\varkappa$ comme le poids η au poids ζ. C'est ce qu'a démontré Archimède dans ses livres sur les leviers. Si nous retranchons du fléau de la balance ce qui avoisine les deux extrémités, c'est-à-dire les parties $\theta\alpha$, $\varkappa\beta$, le fléau n'est plus en équilibre [1].

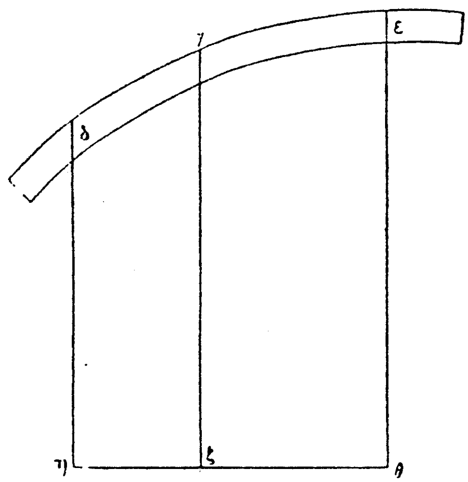
33. Quelques-uns ont pensé à tort que la proportion existant dans l'état d'équilibre n'était plus vraie dans le cas d'un fléau irrégulier [2]. Supposons un fléau de balance n'ayant pas partout même poids ni même épaisseur, et fait de matière quelconque; il est en équilibre lorsqu'on le suspend au point γ; nous entendons ici par équilibre l'arrêt du fléau dans une position stable, quand bien même il serait incliné dans un sens ou dans l'autre. Suspendons ensuite des poids à des points quelconques du fléau; soient δ et ε ces points; le fléau reprend une position d'équilibre après que les poids ont été suspendus; et Archimède a démontré que, dans ce cas encore, le rapport des poids est égal au rapport inverse des distances respectives. Ce que sont ces distances dans le cas des fléaux irréguliers et inclinés, on l'imagine en faisant tomber une corde du point γ vers le point ζ. Nous menons

[1] Le manuscrit donne trois figures correspondant à cette proposition et à la suivante, toutes trois incomplètes et sans lettres. Le texte aussi paraît avoir souffert.

[2] *A tort, n'était plus vraie dans le cas d'un fléau irrégulier.* Ces mots ne sont pas dans le texte où la phrase est incomplète.

une ligne que nous imaginons issue du point ζ et qui est la ligne $\eta\zeta\theta$; elle doit être établie de façon à couper la corde à angles droits. Cela étant, et les cordes $\delta\eta$

Fig. 22.



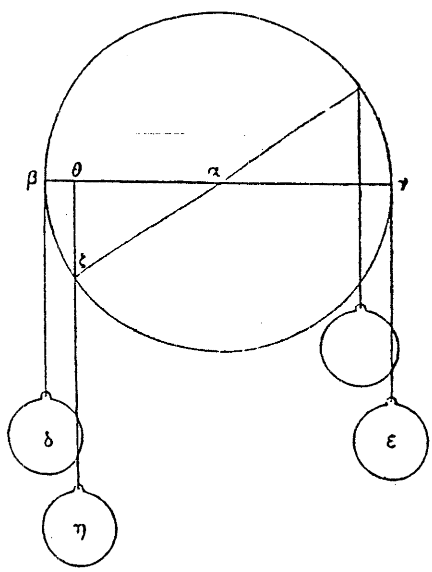
$\varepsilon\theta$ étant suspendues aux points $\delta\varepsilon$, la distance entre la ligne $\gamma\zeta$ et le point suspendu en ε est marquée par $\theta\zeta$, et l'on aura, au repos du fléau, le rapport de $\zeta\eta$ à $\zeta\theta$ égal au rapport du poids suspendu au point ε, au poids suspendu au point δ. C'est la relation démontrée précédemment[1].

34. Soit une roue ou une poulie mobile sur un axe de centre α; elle a pour diamètre la ligne $\beta\gamma$ paral-

[1] Notre traduction dans ce paragraphe est plus claire que le texte, qui porte des marques d'altération, sans que la pensée en soit obscurcie.

lèle à l'horizon. Aux points β et γ sont accrochées deux cordes $\beta\delta$ et $\gamma\varepsilon$, auxquelles sont suspendus des poids égaux. Il est évident que la poulie ne penchera ni dans un sens ni dans l'autre, parce que les deux poids sont égaux et que les distances à partir du point α

Fig. 23.



sont égales. Soit le poids δ plus grand que le poids appliqué en ε; il est évident que la poulie penchera du côté β et que le point β descendra avec le poids. Il faut que nous sachions à quelle position s'arrêtera le poids le plus lourd δ après être descendu. Abaissons donc le point β et faisons-le venir au point ζ; la corde $\beta\delta$ vient en $\zeta\eta$ et le poids s'arrête. Il est clair que la corde $\gamma\varepsilon$ s'enroulera sur la gorge de la poulie et qu'elle sera suspendue par le poids à partir du point γ, parce que la partie qui est enroulée n'est pas suspendue; $\zeta\eta$ prolongé vient en θ. Puisque les deux poids sont en équilibre, leur rapport est égal à l'inverse[1] du rapport des distances respectives du point de suspension α aux cordes. Donc $\frac{\alpha\gamma}{\alpha\theta}$ est égal au rapport du poids η au poids ε. Prenons un rapport $\frac{\alpha\gamma}{\alpha\theta}$ égal au rapport des poids, et menant sur la ligne $\beta\gamma$ la perpendiculaire $\theta\zeta$, nous voyons que la poulie s'est inclinée du point β au point ζ et que là elle reste en repos. Nous ferions le même raisonnement pour tout autre poids. Il est donc possible par ce moyen de faire équilibre à un poids quelconque avec un poids plus petit.

Ce livre suffit comme première introduction aux arts mécaniques. Dans ce qui va suivre, nous parlerons des cinq machines simples avec lesquelles on meut ou l'on tire les corps graves, ainsi que des causes physiques qui les font agir; nous traiterons aussi d'autres choses qui sont de la plus grande utilité dans la question de porter et d'élever les corps graves.

[1] *L'inverse*. Nous ajoutons ce mot.

FIN DU PREMIER LIVRE.

(*La suite au prochain cahier.*)

JOURNAL ASIATIQUE.

SEPTEMBRE-OCTOBRE 1893.

LES MÉCANIQUES

OU

L'ÉLÉVATEUR DE HÉRON D'ALEXANDRIE,

PUBLIÉES POUR LA PREMIÈRE FOIS

SUR LA VERSION ARABE DE QOSTÂ IBN LÛQÂ,

ET TRADUITES EN FRANÇAIS

PAR

M. LE BARON CARRA DE VAUX.

(SUITE.)

بسم الله الرحمن الرحيم

المقالة الثانية من كتاب ايرن فى رفع الاشياء الثقيلة

[١] إنّه لمّا كانت القوى التى تحرّك بها الثقل المعلوم بالقوة المعلومة خمسًا يجب باضطرار ان تضع أشكالها واستعمالاتها وأسمآؤها لان هذه القوى منسوبة الى طبيعة

واحدة وهي مختلفة فى أشكالها اختلافًا كثيرًا فأمّا أسمآؤها
فهى هذه ۝ محور داخل فى فلكة ۝ محل ۝ بكرة ۝ أسفين ۝
لولب ۝ أمّا المحور المركّب فى فلكة فإنّه يعمل على هذه
الصنعة يؤخذ عود صلب مربّع فى هيئة الخشبة فتملس
أطرافه وتدوّر ويركّب عليها سرنجات[1] من نحاس مهندمة
لا يجوز غلظ المحور لتكون اذا ركبت فى ثقب مستدير
نلبسه نحاسًا من ركن ثابت غير متحرّك تدور تدويرا سهلا
فهذا العود اذا عمل على هذه الصفة سمّى محورا ثمّ يركّب فى
وسط المحور فلكة منقوبة مربّعًا بقدر وسط المحور مهندم على
قدر المحور ليكون اذا ركبت الفلكة فى المحور دارت الفلكة
والمحور معًا وهذه الفلكة تسمّى بريطرطن[2] وتأويله المحيطة
فاذا فعلنا ذلك فرضنا فى المحور عن جنبى الفلكة فرضا
هفطسا[3] ليكون ذلك الفرض ملفّة تلتفّ القلوس عليها
ونثقب فى ظاهر الفلكة أعنى فى محيطها ثقبا يكون فى كثرتها
قدر ما يدعو الحاجة اليه ولتكن مهندمة حتّى يكون اذا
ركّبت فيها أوتاد[4] يدوّر بتلك الأوتاد الفلكة والمحور ۝ وقد
بيّنّا كيف ينبغى ان يعمل المحور فأمّا العمل به فالآن نشرحه

[1] سرنجات anneaux. Cf. اسرنجة et le persan اسرنج.

[2] Le mot est raturé dans le manuscrit. Il transcrit le grec περιτρόχιον ou περίτροχον.

[3] Mot douteux ayant le sens probable de «raboté».

[4] اوتاذا ms.

اذا أردت ان تحرّك ثقلا عظيما بقوّة أقلّ منه تشدّ القلوس المرتبطة فى الثقل فى الموضع المفروض من المحور عن جنبى الفلكة ثمّ تركّب فى الثقب التى ثقبنا فى الفلكة أوتادًا وتكبّس الأوتاد فى جهة الانخفاض حتّى تدير الفلكة فيتحرّك الثقل بقوّة يسيرة وتلتفّ القلوس على المحور او يركّب بعضها بعضًا لئن لا تلتفّ جميعًا على ذا المحور[1] وينبغى ان يكون عظم هذه الآلة على قدر عظم الأجسام الثقيلة الذى تريد ان تنقلها بها وأمّا فى تقديرها فينبغى ان يكون على قدر نسبة الثقل الذى نريد حركته الى قوّة التى تحرّكه وذلك سنبيّنه فيما يستأنف ۞

[٢] القوّة الثانية فأمّا القوّة الثانية فإنّها التى تدعى المخل ولعلّ هذه القوّة هى أوّل ما فكر فيه فى حركة الأجسام المفرطة الثقل لانّ قومًا لمّا أرادوا ان يحرّكوا جسما ثقيلا مفرط الثقل من أجل ان أوّل ما احتاجوا اليه فى حركته ان يقلّوه عن الأرض ولم تكن لهم مقابض يقبضونها منه لانّ جميع أجزاء قاعدة تكون على الأرض احتاجوا الى ان احتالوا فى ذلك لحفروا تحت الجسم الثقيل فى الأرض حفرًا يسيرًا وأخذوا عودًا طويلاً فأدخلوا طرفه فى ذلك الحفر وكبّسوا الطرف الآخر فاستقلّ الثقل ثمّ وضعوا تحت هذا العود حجرا سمّوه

[1] .B ذالمحور

ابوخيلن[1] وتأويله الموضوع تحت المحل وكبّسوه أيضا فاستقلّ الثقل أكثر فلمّا ظهرت هذه القوّة علمت أنّه قد يمكن ان يحرّك بهذه الجهة اثقال عظيمة وهذا العود يسمّى محلا مدوّرا كان او مربّعا وكلمّا قرب الحجر الذى يوضع تحته من الثقل الذى يحرّك كان أهون لحركته على ما سنبيّن فيما يستأنف ❊

[٣] القوّة الثالثة فأمّا القوّة الثالثة فانّها التى تدعى للكبيرة الرفع فانّا اذا اردنا ان نرفع ثقلا اىّ ثقل كان ربطنا القلوس فى ذلك الثقل وأردنا ان نمدّ القلوس حتّى نرفعه يحتاج فى ذلك الى قوّة موازية للثقل الذى نريد ان نرفعه فان نحن حللنا القلوس من الحمل وربطنا أحد طرفيها فى عارضة ثابتة وأدخلنا الطرف الآخر فى بكرة مشدودة فى وسط الحمل ومددنا القلوس كان تحريكنا لذلك الثقل أسهل فإن نحن ربطنا فى العارضة الثابتة بكرة أخرى وأدخلنا طرف القلس فيها ومددناه كان تحريكنا لذلك الثقل أكثر سهولة وايضا إن نحن شددنا على ذلك الثقل بكرة أخرى وأدخلنا طرف الحبل فيها زادنا ذلك سهولة فى حركة الثقل وعلى هذا العمل زدنا فى العارضة الثابتة من البكر وفى الثقل الذى نريد ان نحمله وأدخلنا أحد طرفى القلس فى البكرة الثابتة وفى المرتبط على الحمل وصيّرنا مجرى القلوس تمدّ[2] اليه زدنا فى

[1] Ce mot transcrit le grec ὑπομόχλιον. — [2] تمد ms.

سهولة رفع ذلك الثقل وكلّما تكاثرت البكر التى تجرى عليها الغلوس كان أسهل لرفع ذلك الثقل وينبغى ان يكون طرف القلس الواحد ثابتا مشدودا فى العارضة الثابتة ويكون القلس يجرى منها الى الثقل فأمّا البكر التى فى العارضة الثابتة فانّه ينبغى ان تكون مشدودة على خشبة أخرى وتكون دائرة على محور واحد [1] ويدعى ذلك المحور منغين [2] ويكون تلك [3] الخشبة مشدودة على العارضة الثابتة بقلوس آخر وامّا البكر المشدودة على الحمل فإنّها تكون على محور آخر مساو لذلك المحور مربوط بالحمل وقد يجب ان تركّب على المحور تركيبًا لا يمكن بعضها يلاق بعضا لأنّها اذا تلاقت صعب تدويرها قلنا لذا صارت الزيادة فى البكر نزيد فى سهولة الرفع ولم صار طرف القلس يربط فى العارضة الثابتة فانّا سنجرّبه فيما بعد هذا ۞

{٤} القوّة الرابعة فأمّا القوّة الرابعة التى [4] تتلو هذه فإنّها القوّة التى تدعى بالأسفين وهى تستعمل فى بعض آلات الطيب وفى لزق ما حلّ من أعمال النجارة ولتكن أعمالها وأكثر استعمالنا [5] لما اذا أردنا ان نفرى أسفل الحجر الذى نريد ان نقطعه وقد فصلنا جوانبه من الحبل الذى نقطعه منه فإنّ فى هذا الباب ليس يعمل شىء من تلك القوى الأخر فلا لو جمعت كلّها فأمّا الأسفين

[1] واحدة ms. — [2] Ce mot transcrit le grec μάγγανον. — [3] ذلك ms. — [4] الذى ms. — [5] استعملنا ms.

فإنّه وحده يفعل فى ذلك وفعله بالضربة التى تناله أىّ ضربة كانت وليس يبطل من فعله بعد سكون الضربة وذلك ظاهر لنا إنّه بلا ان يضرب كثيرا ما يكون له صوت وقلع لما يشقّ بقوّته وكلّما كانت زاوية الأسفين أصغر فانّ العمل به يكون أسهل كما سنبيّن ☼

[٥] القوّة الخامسة وهى التى تسمّى اللولب[1] أمّا الآلات التى[2] ذكرنا فإنّ معانيها ظاهرة تتمّ بذاتها وذلك ظاهر لنا فى اشياء كثيرة من استعمالاتها فأمّا اللولب فإنّ فى عمله واستعماله صعوبة كان الذى هو يعمل وحده او كان قوّة أخرى تعمل معه إلّا أنّه ليس بشىء آخر آلّا اسفين ملتوى لا يناله ضرب بل يتحرّك بالعمل وذلك يتبيّن بما نحن ذاكرون فنقول انّ طبيعة الخطّ المرسوم عليه هى هذه اذا فرض ضلع من أضلاع شكل اسطوانىّ متحرّك على بسيط الأسطوانة وفرضت نقطة ما فى نهاية ذلك الضلع يتحرّك على الضلع وينفذ عليه كلّه فى الزمان الذى يدور ذلك الضلع بسيط الشكل الاسطوانىّ كلّه دورة واحدة ويرجع الى الموضع الذى منه ابتدأ يتحرك فإنّ الخطّ الذى ترسمه تلك النقطة على بسيط الشكل الاسطوانىّ يكون دائرة لولبيّة وهى التى تسمّى اللولب فاذا أردنا ان نرسم هذا الخطّ على بسيط الاسطوانة فإنّا نستعمل هذا العمل أنّا اذا

[1] اللولاب ms. — [2] الذى ms.

فرضنا على سطح ما خطّين أحدهما قائما على الآخر على زاوية قائمة كان أحد الخطّين مساويا لضلع الاسطوانة والآخر مساويا لدائرة الاسطوانة أعنى دائرة قاعدتها ووصلنا طرفى الخطّين بالزاوية القائمة بخطّ يوتّر الزاوية القائمة ثمّ ركّبنا الخطّ المساوى لضلع الاسطوانة على ضلع الاسطوانة والخطّ للمساوى لدائرة قاعدة الاسطوانة على دائرة قاعدة الاسطوانة فإنّ الخطّ للموتّر الزاوية القائمة يلتفّ على بسيط الاسطوانة فيكون عليه دائرة لولبيّة وقد يمكنّا ان نقسم ضلع الاسطوانة فى الأجزاء المتساوية بكم أردنا ونرسم على كلّ جزء منها دائرة لولبيّة فيكون على الاسطوانة دوائر كثيرة لولبيّة ويكون الاسطوانة لولبا ويسمّى الاسطوانة التى قد التفّ عليه وتر زاوية لولبا ذا دورة واحدة أعنى اذا كان ضلع الاسطوانة لا يحيط الاّ بخطّ واحد يبتدى من احدى نهايتيه وينتهى الى الأخرى[1] فإذا أردنا استعمال اللولب حفرنا على هذا الخطّ للملتفّ على الاسطوانة حفرًا يصل الى قعر الاسطوانة حتّى يمكنّا ان نركّب فى ذلك الحفر الخشبة التى تسمّى طولس[2] ثم نستعمل اللولب على هذه الجهة ندير طرفيه[3] تدويرًا مملسًا[4] ونركّبها فى ثقب مستدير من أركان ثابتة ليكون تدويره فى تلك الثقب سلسًا

[1] الاخر ms. — [2] Ce mot transcrit le grec τύλος. — [3] طريفه ms. — [4] ململسا ms.

ونركّب الخشبة التى تسمّى قانون قائمة موازية لخشبة اللولب وليكن فى هذا القانون حفر ميزابىّ عمق ظاهر فى بسيط الخشبة فى الجهة التى تلى اللولب ثمّ نركّب طرف العود الذى يسمّى طولس فى حفر اللولب وطرفه الآخر فى حفر القانون فاذا أردنا ان نرفع[1] حملا ثقيلا بهذه الآلة نأخذ قلسا من القلوس التى تسمّى ساذج[2] ونشدّ أحد طرفيه فى الحمل الذى نريد ان نرفعه والآخر فى العود الذى يسمّى طولس ويكون قد ثقبنا فى طرف اللولب ثقبا مخالفة فنركّب فى هذه الثقب أوتادا وندير اللولب بهذه الأوتاد فيرتفع هذا الطولس بحركته فى الحفر الذى فى اللولب ويرتفع بارتفاعه الحبل فيقلّ الثقل المرتبط فيه وقد يمكننا ان نركّب فى طرف اللولب بدل الأوتاد مربّعة ذات مقابض فى طرف اللولب الخارج عن الركن الثابت فندير اللولب بهذه المربّعة ويرتفع الحمل فأمّا الحفر اللولبىّ الذى يكون على الاسطوانة فإنّه ربّما كان مربّعا وربّما كان عدسيّا فأمّا المربّع فهو القائم الحفر الذى ينتهى حفره الى خطّين وأمّا العدسىّ فهو الذى حفره مائل وينتهى الى خطّ واحد فيسمّى هذا عدسيّا والآخر يسمّى مربّعا ۞

[1] ندير ms.

[2] سلاح ms. Mot douteux; nous le remplaçons par le mot ساذج qu'on rencontre plus loin (l. II, 11) et qui transcrit peut-être le grec σύζυξ.

[٦] فاللولب اذا كان يستعمل مفردًا وحده فعلى هذه الجهة يستعمل وأمّا إن استعمل استعمالاً آخر بمشاركته قوّة أخرى وهي القوّة التي تفعل بالمحور الذي عليه فلكة مركّبة وهي تكون على هذه نتوهّم للفلكة التي على المحور اوتادًا ولولب ما يحاذي الفلكة أمّا قائم على الأرض وأمّا موازٍ لسطح الأرض ولتكن الأوتاد مركّبة في الحفر اللولبيّ وأطراف اللولب تكون في ثقبين مستديرين من ركنين ثابتين على ما وصفنا فيما تقدّم وليكن طرف اللولب فيه فضل خارج عن الركن الثابت المركّب فيه مربّعة ذات مقابض او تثقب في ذلك الفضل الخارج ثقبا لنركّب فيها أوتادا ندوّر اللولب بها فاذا أردنا ان نرفع ثقلا ما بهذه الآلة نشدّ القلوس المرتبطة بالحمل على المحور عن جنبي الفلكة وندير اللولب الذي قد ركّبنا فيه أوتاد الفلكة فتدور الفلكة والمحور ويستقلّ ذلك الثقل ۞

[٧] أمّا عمل صنعة الخمس قوى التي تقدّم وصفها والعمل بها فقد أتينا على ذكره وشرحه وأمّا العلّة التي بها صارت كلّ واحد من هذه الآلات تجرّ أثقالا عظاما بقوّة يسيرة فإنّا الآن نخبّر به هكذا ۞ نفرض دائرتين على مركز واحد وهو علامة آ وليكن قطراها خطّي بج دە ولتكن الدائرتان متحرّكتين على علامة آ التي هي مركزها [1] ولتكن الدائرتان قائمتين على

[1] مركزاها ms.

الأفق ولنعلّق على علامتى بج ثقلين متساويين وهما علامتى زح فيظهر لنا أنّ الدوائر لا تميل الى جهة من الجهات لأنّ ثقلى زح متساويان وبعدى با اج متساويان فيكون بج ميزانًا يتحرّك على علاقة هى علامة ا فإن نقلنا الثقل الذى على ج الى ه يميل الى أسفل منحطًا ثقل ز ويدير الدوائر فاذا زدنا فى ثقل ط سيعادل ثقل ز ويكون نسبة ثقل ط الى ثقل ز كنسبة بعد با الى بعد اه فيتوهّم خطّ به ميزانا يتحرّك على علاقة هى علامة ا وذلك قد بيّنه ارشميدس فى كتابه فى مساواة الميل فيظهر من هاهنا أنّه ممكن ان يحرّك عظم كبير بقوّة يسيرة لأنّه اذا كانت دائرتان على مركز واحد وكان الثقل الكبير على قوس ما من الدائرة العظيمة وكانت نسبة الخطّ الخارج من مركز الكبيرة الى الخطّ الخارج من مركز الصغيرة أعظم من نسبة الثقل الكبير الى القوّة اليسيرة التى تحرّكه فإنّ القوّة اليسيرة تقوى على الثقل الكبيرة ۞

[٨] فاذا كان قد صحّ لنا هذا فى تمثّلنا فى الدائرة فإنّا نريد ان نبيّن ذلك فى هذه الخمس قوى وتوضح برهانها بعد هذا العمل فقد كان القدماء الذين كانوا قبلنا يقدّمون هذه المقدّمة فلنبيّن الآن ذلك فى الآلة التى تسمّى المحل وهذا المحل يحرّك الثقلات على ضربتين أمّا بأن كان موضوعا وضعا يكون موازيا الأرض او بأن يكون متعاليا عن الأرض مائلا عنها

فيكون العمل به بأن يكبّس طرفه المتعالى عن الأرض الى ما يلى الأرض وليكن اوّلاً موازيا للأرض وليكن المحل خطّ اب وليكن الثقل الذى يتحرّك بالمحل على علامة ا وهو ثقل ج وليكن القوّة المحرّكة على علامة ب وليكن الحجر الذى تحت المحل الذى يتحرّك المحل عليه على علامة د وليكن بد أعظم من خطّ دا فإذا نحن رفعنا طرف المحل الذى علامة ب ونعالى المحل عن الحجر الذى يدور عليه فإنّ الثقل الذى هو ج يتحرّك الى الجهة الأخرى فترسم علامة ب دائرة على مركز د وترسم علامة ا ايضا دائرة على هذا المركز أصغر من الدائرة التى ترسمها علامة ب فإن كانت نسبة خطّ بد الى دا هى نسبة الثقل الذى هو ج الى القوّة التى عند ب فإنّ ثقل ج يعادل قوّة ب وإن كانت نسبة بد الى دا أعظم من نسبة الثقل الى القوّة فإنّ القوّة تقوى على الثقل لأنّهما دائرتان على مركز واحد والثقل هو على قوس من الدائرة الصغرى والقوّة المحرّكة على قوس من الدائرة العظمى فقد يظهر أنّه يعرض فى المحل العارض الذى عرض للدائرتين اللتين على مركز واحد فإذًا المحل المحرّك الثقلات العلّة فيه هى العلّة التى عرضت للدائرتين ۞

[٩] ولنفرض أيضا محلاً يكون خطّ اب يتحرّك على حجر تحت المحل وهو د وليكن أحد طرفى المحل الذى هو علامة ا يكون

تحت حمل ج والطرف الآخر يكون متعاليًا على الأرض وهو على علامة ب فإن نحن كبسنا طرف المحل الذى هو على علامة ب الى ما يلى الأرض كنّا قد حرّكنا ثقل ج فأقول أنّه لا يتحرّك بهذا العمل على مثل ما تحرّك فى العمل الآخر لأنّ فى هذا العمل بعض الثقل يتحرّك وبعضه يبقى ثابتًا على الأرض فلنتوهّم سطحا ما خارجا على علامة ه قائمًا على الأفق فليكن فاصل من الثقل الذى هو هزط فإن توهّمنا هذا الثقل الذى هو من جميع هحط مفصولا من الحمل موضوعا فى الموضع الذى هو فيه فإنّه لا يميل الى جهة من الجهات لا الى جهة ط ولا الى جهة ح لمعادلة ثقلى هطز هحز أحدهما للآخر فاذا جزء الحمل الذى هو هحط ليس يحتاج الى قوة بتّة فاذًا جزء الحمل الذى هو هحكل هو الذى يحرّكه المحل فلو كان محل اب يحرّك جميع ثقل هطكل[1] كانت نسبة بد الى دا كنسبة ثقل هطكل[2] الى القوّة التى عند ب ولكنه[3] ليس يتحرّك كلّه وذلك لأنّ جزءا منه يضبطه السطح المفروض وذلك الجزء هو نصفه لأنّ ذلك السطح لو لم نتوهّمه وزدنا فى القوّة المحرّكة قدرًا مساويا لذلك الفصل كانت القوّة تندفع الى أسفل ويرتفع[4] طرف المحل الذى عند ا لأنّ الأثقال[5] تنقسم على القوى المحرّكة لها قسمة

[1] هك ms. — [2] هحكل ms. — [3] ولكنه هو ليس ms. — [4] Nous ajoutons le mot يرتفع. — [5] الانتقال ms.

المساواة فاذًا السطح المفروض هو يأخذ نصف الثقل فإذًا إن كانت القوّة التى عند بَ معادلة لثقل هحكل يكون نسبة بد الى دا كنسبة ثقل هحكل الى قوّة بَ والقدر الذى يرتفع الحمل عن الأرض بذلك القدر يحتاج من القوّة الى الأقلّ فيكون موضوعا وضعا لا يحتاج الى قوّة اذا كان السطح المخرج على علامة هَ القائم على الأفق يقسم الحمل [1] بنصفين وهذا العمل بالحمل منسوب الى الدائرة ولكنه ليس على العمل الأوّل ۞ وامّا ان يكون الميزان أيضا منسوبا الى الدائرة فذلك ظاهر لأنّ الدائرة ميزان ما ۞

[١٠] وأمّا المحور المركّب فى الفلكة فإنّه ليس شىء آخر إلّا دائرتين على محور واحد احداهما [2] صغيرة وهى دائرة المحور والأخرى كبيرة وهى دائرة الفلكة فذلك باستحقاق صار تعليق الثقل على المحور وصارت القوّة المحرّكة على الفلكة [3] لأنّ بهذا العمل تقوى القوّة اليسيرة على ثقل عظيم وهذا القول قد قاله الذين كانوا قبلنا إلّا انّا وصفناها ليكون كتابنا متمّما وليكون له ترتيب مؤلّف ۞

[١١] فلنقل الآن فى علّة الآلة التى تدعى كبيرة الرفع نفرض فلكة متعالية على علامة آ وعليها قلس ساذج [4] وهو بج

[1] الحل ms. — [2] احدها ms. — [3] الفلك ms. — [4] Mot douteux qui correspond peut-être au grec [illegible].

ويشدّ فى طرفى الحبل الممدودين ثقل وهو دَ وليكن هذا الثقل متعاليا عن الأرض فيظهر أنّ الجزئين المتدّين من القلس امتدادهما متساو وكلّ واحد منهما ثقل نصف ثقل دَ لأنّ الجزئين المتدّين إن لم يكن الممدود منهما متساويا فإنّ الذى هو منهما أكثر امتدادا يشيله أكثرهما ارتفاعا ولكنّا ليس نرى شيئا من هذا لأنّ كلّ واحد من الجزئين الممتدين من القلس ساكن فإن نحن قسمنا ثقل دَ بنصفين أعنى بجزئين متساويين يظهر لنا أنّ الجزئين من القلس الممدودين يكونان ساكنين لأنّ الثقل الذى يمدّهما ثقل واحد وهو الذى كان يمدّهما أوّلاً فيكون نصف الثقل معادلا للثقل المساوى له ويكون أيضا الجزآن[1] الممدودان من القلس متساويين من جهة أخرى لأنّه قد علق اثقال متساوية فى خطوط متساوية وذلك أنّ القلس الممدود يماسّ من قوس الفلكة نقطتين هما نظائر بعضها بعضا وبعدهما من المركز متساوى الأثقال كأنّها معلّقة بهاتين النقطتين۞ فعلى هذا العمل وبهذه الجهة ليس يعادل حمل ثقيل او ثقل عظيم قوّة يسيرة ولذلك يسمّى هذا الباب من الآلة التى تسمّى كبيرة الرفع ذو رفع واحد وهو الذى يسمّى ذا الرفع الواحد هو القلس فيه ممدودتين۞

[١٢] فلنبيّن الآن الذى هو ذو رفعين وهو الذى فيه من

[1] الحردان ms.

القلس ثلثة أجزآء ممدودة وعلى هذه الجهة كلّما تكاثر امتداد القلس وتكرّر انبساطه بعد ذلك التكرير[1] يسمّى الآلة ذو رفع بعد نقصان واحد من عدد تكثّر انبساط القلس ليكون الاسم سميّا للعدد الذى هو أقلّ من ذلك العدد أعنى عدد تكرير القلس بواحد فليتوهّم طرف القلس الذى عند دَ داخلا فى بكرة نافذًا منها الى ركن ثابت يكون عند بكرة آ على علامة حَ فيكون امتداد القلوس متساويا للعلّة التى وصفنا لأنّ كلّ واحد منهما يمدّ ثلث الثقل فإن قسم زَ بثلثة أقسام متساوية حتّى يكون ما يلى منه جهة طب ضعف جَ فإنّ الثقل يسكن ولا يميل منه شىء الى جهة من الجهات فيكون الثقل المعلّق فى قلس جَ معادلا للثقل المعلّق فى قلس دَ[2] وهو ضعف الجهة الاخرى فإن نحن صيّرنا مكان جَ التى هى ثلث الثقل قوّة معادلة الثقل تمسك القلس فإنّ الثقل الباقى لا يقوى عليها وهى أقلّ منه وذلك أيضا ان نحن أدخلنا طرف القلس الذى عند حَ فى بكرة تكون مشدودة عند حَ ومددناه حتّى يشدّ طرفه فى ثقل زَ على علامة كَ فإنّ ينال[3] كلّ واحد من القلوس ثقل ربع الثقل فإن قسم الحمل أيضا الى قسمة أخرى حتّى يكون ما يلى منه علامات طبج[4] ثلثة أمثال ما يلى

[1] Ms. porte : بعده ذلك والتكرير. — [2] دل ms. — [3] ينال. Nous ajoutons ce mot. — [4] عامات طاب ms.

علامة كَ فإنّ الثقل الذى عند علامة كَ يعادل باقى الثقل؛ ويكون نسبة عدد القلوس الممدودة الى ثقل الثقل الى القلس الذى يجرّ كنسبة الثقل الى الثقل فينبغى فى كلّيّة هذه الأثقال ان يكون نسبة الثقل المعلوم الى القوّة التى تحرّكه كنسبة القلوس الممدودة الى ثقل الثقل الى القلوس التى تحرّكها القوّة المحرّكة فيكون ذلك مثلا[1] إن كان الثقل خمسين قنطارا وكانت القوّة المحرّكة خمسة قناطير يحتاج ان تكون القلوس الممدودة التى تحمل الثقل عشرة أمثال القلوس التى تمدّها قوّة خمسة قناطير لتكون القلوس الممدودة التى تحمل الثقل عشرة والقلس الذى عند القوّة المحرّكة واحد فإن كانت[2] القلوس التى تحمل الثقل عشرين قلسا كانت القوى التى عند القوّة المحرّكة قلسين فعلى هذا تعادل[3] القوّة الثقل فإن أردنا ان تقوى القوّة على الثقل أمّا ان نزيد فى القوّة وأمّا ان نزيد فى القلوس التى تحمل الثقل فقد بيّن برهان البكر التى تسمّى الكبيرة الرفع ومن هنالك ظهر لنا أنّه ممكن ان يحرّك الثقل المعلوم بالقوّة المعلومة؛

[١٣] وقد نفرض فى عمل ما ان يسمّى القلس المثنّى الممدود مدّتين[4] فقط مرّة ذو رفع واحد ومرّة ذو رفعين على قدر القوّة التى نستعملها فيه ومثال ذلك ان يفرض بكرة على علامة

[1] مثلما ms. — [2] فان نت ms. — [3] تعاد ms. — [4] مدتمى ms.

آ عليها حبل فلتكن جزوا الحبل الممدودان على علامتى بج
ولتكن بج مرتبطين بثقل ما وهو ثقل ة فإن قسمنا هذا
الثقل بنصفين تكون الجزوان اللذان فى الجهتين متعادلين
وتسمّى هذه البكرة ذا رفع واحد لأنّ القوّة فى هذا تكون
معادلة للثقل المساوى لها ولنتوهّم أيضا ثقلا آخر على علامة ز
ونربط عليه بكرة وهى بكرة ح وندخل فى هذه البكرة قلسا
ونشدّ طرفيه فى عارضة ثابتة حتّى يتعلّق ثقل ز فيكون
يحمل[1] كلّ واحد من جزوى الحبل الممدودين ثقل نصف
الثقل فان حلّ أحد طرفى القلس المشدود على علامة ك قام
هو هناك يمسك القلس فإنّه يكون يحمل نصف ذلك الثقل
فيكون جميع الثقل ضعف القوّة التى تضبطه فيظهر من هاهنا
أنّ قوّة أخرى من العارضة الثابتة فى طرف الحبل المشدود
معادلة للقوّة الماسكة للطرف الآخر يجتبذ الثقل أيضا فلذلك
باستحقاق سمّيت هذه البكرة ذا رفعين فاذا القلس المثنّى
المقسوم بقسمين ممدودين وقد يمكن ان يسمّى ذا رفع واحد
وذا رفعين ومن هاهنا ظهر لنا انّه ينبغى ان يكون طرف القلس
الآخر مرتبطا فى عارضة ثابتة لا فى الثقل الموضوع للرفع لأنّ
القوّة ما من ذلك الركن الثابت تعادل القوّة المحرّكة وتعينها
على حركة الثقل فقد ظهر أنّه اذا كان طرف القلس الواحد

[1] يحمل. Nous ajoutons ce mot.

مرتبطا فى الحمل فإنّ الحمل يعادل قوّة مساوية له واذا كان طرفه الآخر مرتبطا فى عارضة ثابتة فإنّ القوّة تعادل ضعفها من الثقل فيتحرّك الثقل بقوّة أقلّ من القوّة التى كانت تحرّكه أوّلا ۞

[١٤] أمّا الأسفين فإنّ الضربة تحرّكه فى زمان ما لأنّه لا يكون حركة بلا زمان وهذه الضربة إنّما يفعل بالمماسّة فقط التى لا تثبت على الأسفين ولا أقلّ زمان فيظهر لنا من ههنا أنّ بعد أن يفارق الضربة الأسفين يتحرّك وقد نعلم ذلك أيضا من جهة أخرى أنّه بعد الضربة بزمان ما تكون من الأسفين وحيات وقلع من قلعة على حدّته فأمّا ان تكون الضربة وإن كانت لا تقيم على الأسفين ولا أقلّ زمان يفعل فيه فانّ ذلك ظاهر لنا من الحجرة التى ترمى بها والسهام كان رميها من يد فقط او من آلة أخرى لأنّه بعد ان يفارق الحجر اليد نراه ينفذ الى موضع بعيد بقوّة بلا ان يكون اليد يدفعه فمن ههنا يظهر لنا أنّ الضربة لا تقيم على الأسفين ولا أقلّ زمان ولكن الأسفين بعد الضربة يأخذ بحركة ۞

[١٥] فاقول انّ كلّ ضربة وإن كانت يسيرة فانّها تحرّك كلّ أسفين فلنفرض أسفينا ما يكون زاويته على علامة آ ويكون رأسه خطّ دم ولتكن تحرّكه ضربة بج وليكن بعده اد وليكن يمكن ان يحرّك بضربة يسيرة ولنفصل من ضربة بج ضربة

تكون ضربة به وهى أقلّ من جميع الضربات المعلومة[1] فأقول أنّ ضربة به هى فى ذات نفسها تدفع جزءا ما من الأسفين برهان ذلك من أجل ان ضربة بج تحرّك بعد اد فإنّ هج يحرّك بعدا أقلّ من اد فليحرّك بعد از وأيضا اذا زيدت ضربة به فإنّ كلّ بعد اد يتحرّك الضربة بج فاذًا ضربة به فى ذات[2] نفسها تحرّك بعد دز فإن توهّمنا ضربة بج مقسومة بضربات مساوية به وهى به هح حط طج فانّ بعد اد ينقسم بأقسام متساوية دز وهى اك كل لز زد فيكون كلّ واحد من ضربات به هح حط طج يحرّك كلّ واحد من أبعاد دز زل لك كا فلنتوهّم خطوطا موازية لخطّ دم الذى هو رأس الأسفين وهى خطوط زن لس كع وخطوط أيضا موازية لخطّ لد وهى خطوط فن قس رع فتكون خطوط در رق قف فم متساوية فإن وصلنا علامات ف ق ر بعلامة ا تحصل اربعة مثلّثات تكون زواياها عند علامة ا ورؤوسها خطوط مف فق قر رد ويكون كلّ واحد منها يتحرّك بضربة مساوية لضربة به بعدًا مساويا لخطّ اد فسوا ان يقال أنّ ضربة به تنفذ من الأسفين كلّه بعد دز أعنى بعد كا وأنّ ضربة به تنفذ الأسفين الذى رأسه رد ببعد اد لأنّ بحركة كلّ الأسفين يتحرّك خطّ كع ببعد اك وبحركة الأسفين الذى رأسه در[3]

[1] للعلومة ms. — [2] كان ms. — [3] اد ms.

14.

يتحرّك البعد [1] المساوى لخطّ كع وهو بعد رد ببعد اد [2] فاذا رد يتحرّك بضربة به بعد اد ومن هاهنا ظهر لنا أنّ قدر ضربة به من بج هو قدر الأسفين الذى رأسه رد من جميع الأسفين وكذلك أيضا قدر الزمان الذى يتحرّك فيه الأسفين الذى رأسه خطّ رد وقدر حركة البعد الذى يحرّكه الأسفين كلّه بضربة بج ونسبة ذلك أيضا كنسبة ضربة به الى الضربة كلّها وعلى وجه آخر أيضا لا نصيب اختلافا بين حركة ضربة بج رأس دم أعنى الأسفين كلّه وبين حركة كلّ واحدة من ضربات به هح حط طج كلّ واحد من الأسفينات التى رؤسها مف فق قر رد لأنّ الضربات الجزويّة تساوى الضربة الكلّيّة فضربة به تنفذ من الأسفين الذى رأسه مف بقدر ما ينفذه كلّ الضربة من كلّ الأسفين وكلّ ضربة من الضربات الباقية كلّ واحد من الأسافين الباقية فإن كان المدفوع أسفينا واحدا من الأسافين الصغار اذا ضرب ضربا كثيرا ودفع فإنّه يدفع القدر الذى يدفعه كلّ الأسفين بكلّيّة الضربة الواحدة وذلك بحركة هذا القدر من الضربات أعنى بقدر ضربات به هح حط طج وعلى هذا يكون نسبة الزمان الى الزمان كنسبة الضربة الى الضربة ورأس الأسفين كلّه الى رأس أحد الأسافين الصغار فبالقدر الذى به يكون زاوية الأسفين

[1] لبعد ms. — [2] ك ms

أصغر بذلك القدر ينفذ الأسفين بقوّة أصغر من القوّة التى تنفذ[1] الأسفين كلّه ۞

[١٢] وقد بقى بعد هذا ان نشرح السبب فى اللولب فلنبدأ أوّلاً بوضع ما نفرض لدوائر اللولبيّة فنقول أنّا اذا أردنا ان نرسم لولبًا نأخذ عودًا صلبًا قويًّا يكون طوله على القدر الذى نريد وليكن ما نريد ان نلولبه[2] منه مخروطا وليكن غلظه متساوى الأجزآء ليكون بسيطه اسطوانة ونقسم هذا الضلع بأجزآء متساوية تكون على قدر عرض الدائرة اللولبيّة ونفرض على سطح خطّين مستقيمين أحدهما قائم على الآخر ولنصيّر أحد الخطّين مساويا لمحيط الأسطوانة والآخر على قدر عرض موضع الدائرة اللولبيّة ولنصل طرفى الخطّين بخطّ يوتر الزاوية القائمة ونعمل مثلّثا من صفر رقيق مساويا لهذا المثلّث وليكن فى دقّته على القدر الذى يمكننا تعويجه كيف أردنا فاذا فعلنا ذلك ركّبنا الضلع المساوى لعرض موضع الدائرة اللولبيّة على أوّل الأبعاد المتساوية التى قسمناها من ضلع الأسطوانة ثمّ نلفّ المثلّث الصفر الرقيق على الخشبة الأسطوانيّة فنصيّر الزاوية الحادّة الباقية من المثلّث الى الزاوية القائمة من الشكل الصفر لأنّ قاعدة المثلّث مساوية لمحيط

[1] تنفذه ms.

[2] لولب employé comme verbe transitif dans le sens de « tailler en forme de vis ».

الأسطوانة ثمّ نلزق كلتى الزاويتين ونرسم الدائرة اللولبيّة على وتر الزاوية القائمة ثمّ ندير المثلّث الى البعد الثانى ونركّب ضلع للمثلّث الرقيق على القسم الثانى ويمثل ذلك العمل الأوّل أيضا نرسم الدائرة اللولبيّة الثانية ملاصقة للدائرة الأولى وكذلك نفعل حتّى نرسم جميع أبعاد الخشبة الأسطوانيّة ومن أجل ان عند استعمالنا اللوالب احتجنا ان نضع فى الحفر الأوّل الذى للدائرة اللولبيّة الخشبة التى تسمّى طولس وهى التى تقلّ الثقل وإنّ عند تدوير اللولب يرتفع هذا العود ويرتفع بارتفاعه الثقل ؛

[١٢] فينبغى ان لا يتوهّم اللولب إلّا أسفينا ملتفّا لأنّ المثلّث الذى يرسم الدائرة اللولبيّة هو فى هيئة الأسفين ورأسه هو الضلع الذى هو بعد الدائرة اللولبيّة وزاوية الأسفين الحادّة هو زاوية المثلّث الباقية التى يكون عندها العود المسمّى طولس فلهذا صار اللولب أسفينا ملتويا ملتفّا لا[1] يفعل ضربةً لكن باستدارته وتدويره يقوم فيه مقام الضرب فيقلّ الثقل واقلاله للحمل هو بضدّ الفعل الذى يفعله الأسفين لانّ الاسفين انفعل بنفوذه الى داخل فهو يحرّك الثقل والثقل ثابت فى مكانه وأمّا اللولب فإنّه اسفين ملتو وهو ثابت فى مكانه نقل الثقل اليه وكما أنّه قد تبيّن فى الأسفين أنّ الذى

[1] لا. Nous ajoutons ce mot.

تكون زاويته أصغر تحرّك الثقل بقوّة أقلّ من القوّة التى تحرّك الثقل بالأسفين الذى زاويته أعظم كذلك يلزم ان نقول فى هذا اللولب الذى الأبعاد التى بين دوائره اللولبيّة أقلّ حركتها للثقل أكثر سهولة من حركة اللولب التى تكون الأبعاد التى بين دوائرها اللولبيّة أكثر لأنّ قلّة البعد تصيّر الزوايا اصغر فيكون اللولب[1] التى دوائرها أكثر انتصابا تحرّك الثقل بقوّة أعظم والتى تكون أكثر انخفاضا تحرّك الثقل بقوّة اقلّ ۞

[١٨] فأمّا أنّه اذا كانت فلكة ذات اوتاد مركّبة فى حفر اللولب فإنّ بدورة واحدة يدورها اللولب يحرّك من الفلكة وتدًا واحدًا فإنّا نبيّن ذلك بهذه الجهة ۞ نتوهّم لولبا يكون لولب اب وليكن الدوائر اللولبيّة التى فيه اج ده زح ولتكن هذه الدوائر اللولبيّة كلّ واحد منها دائرة واحدة ولنفرض فلكة موضوعة ذات أوتاد تكون حجهط ولتكن أوتادها حج جه هط ولتكن مركّبة فى الدوائر اللولبيّة وليكن وتد جه مركّبا فى دائرة لولبيّة تركيبا مستقصا فتكون الأوتاد الأخر غير مركّبة فى الدوائر اللولبيّة الأخر فان أدرنا اللولب حتّى يندفع علامة ه الى ما يلى ج بصير ه عند ج فإذا دار اللولب دورة

[1] Le mot لولب est indifféremment masculin ou féminin, comme on peut le voir par cette seule phrase.

واحدة وصار وتد جه فى موضع وتد جح ووتد دط أيضا فى موضع وتد جه فإن فى دورة واحدة يدورها اللولب يدور البعد الذى للوتد كلّه وكذلك ينبغى ان نتوهم فى الاوتاد الأخر فيكون على قدر ما فى الفلكة من الأوتاد بذلك القدر يدور اللولب من الدورات الى ان تدور الفلكة دورة واحدة ۞

[١٩] فاللولب اذا دار يحرّك الخشبة التى تسمّى طولس على ما تقدّم فى قولنا ويشيل الثقل على استقامه وقد يجب أن يكون هذا الطولس اذا لم يتحرّك اللولب هاديًا ثابتًا [1] فى موضعه بقوّة ما تكون له ولا تكون عند هدوء اللولب من التدوير يقوى الثقل عليه أعنى ان يكون اذا ركّب هذا العود فى الحفر اللولبىّ وكان شبيهًا بالسند له ان لا يزلق من الحفر اللولبىّ لأنّه ان زلق انحطّ جميع الثقل الى الموضع الذى منه شيل وهذا العود لا يزلق من الحفر اللولبىّ اذا كان طرف العود مهندما على الحفر وكان شبيهًا بالمسماة فلذلك نحتاج ان نصيّر دوائر اللولب متقاربة لتكون شبيهة بالموازية لقاعدة الأسطوانة التى اللولب مرسوم عليها فإنّ الدوائر اذا كانت على هذا كانت شبيهة بالمسماة للعود الذى يقلّ الثقل فأمّا ان كانت الدوائر اللولبيّة التى فى الحفر اللولبىّ شديدة الانتصاب حتّى تكون شبيهة بالموازية لضلع الأسطوانة فإنّ

[1] هادى ثابت ms.

العود الذى يقال له طولس اذا تعلّق عليه حمل ثقيل او أثقلته قوّة عظيمة فإنّه يردّ تدوير اللولب ويصيّره يدور تدويرا ضدّ ذلك الأوّل فمن هاهنا يظهر لنا أنّ اللولب قد يمكنه ان يحرّك العود الذى يقال له طولس وقد يمكنه ان يتحرّك بهذا العود ايضا فهو يحرّك العود اذا كان حفره اللولبيّ متقارب الدوائر واذا كان عند بطلان تدوير اللولب ثبت فى مكانه ويبقى الحمل معلّقا عليه وأمّا اذا كان الحفر اللولبيّ شديد الانتصاب وكان عند بطلان تدوير اللولب لا يثبت فإنّ العود هو[1] الذى يحرك اللولب لأنّه اذا كان فى الموضع المحفور[2] من اللولب حبل ما مشدود وشدّ فى طرف ذلك الحبل ثقل ما وكان الحفر اللولبيّ شديد الانتصاب قلنا اذا رفعنا العود الذى يقال له طولس يرفع أيضا الثقل فاذا بطلنا من رفع العود يسكن الثقل ويكون متعلّقا لأنّ هذا العود قد يضادّ حفر اللولب اذا كان حفره شبيها بالموازى لضلع الاسطوانة فإن لم يكن على الاسطوانة حفر لولبيّ وكان عليها حفر ميزابيّ على أحد أضلاع الاسطوانة فإنّ العود الذى يقال له طولس يكون شديد المضادّة لهذا الحفر الميزابيّ واذا كانت الدوائر اللولبيّة متقاربة ورفعنا الخشبة الذى يقال لها طولس فانّ[3] لا يحرّك الثقل الّا ان يكون قوّة

[1] ان ms. — [2] محفور ms. — [3] فانا ms.

عظيمة تقلّ الطولس فأمّا اذا كان الثقل معلّقا فى الطولس فإنّه
اذا كانت الدوائر اللولبيّة متقاربة وأدرنا اللولب يرتفع الثقل
واذا بطلنا من تدوير اللولب فسكن الثقل ويبقى متعلّقا
واذا كانت الدوائر اللولبيّة منتصبة فإنّا لا نحرّك الثقل إلّا ان
يكون قوّة عظيمة تقهر اللولب فقد قلنا فى طبيعة اللولب
وعلّه ما يكتفى به ۞

[٢٠] أمّا ان يكون الخمس القوى التى تحرّك الثقل مشاكلة
للدوائر التى على مركز واحد فقد تبيّن ذلك فيما تقدّم من
الأشكال التى رسمناها وإنّا نرى[1] أنّها الى مشاكلة الميزان أقرب
منها الى مشاكلة الدوائر لما تقدّم من ان اوائل برهان
الدوائر إنّما خرج لنا بالميزان وانّه يتبيّن[2] أنّ نسبة الثقل
المتعلّق فى الجهة الصغرى الى المعلّق فى الجهة الكبرى كنسبة
الأعظم من جزوى الميزان الى الأصغر۞ وهذه الخمس قوى كلّها
قد يلحقها امتناع ما من الفعل اذا أردنا ان نحرّك بها أثقالا
عظاما بقوّة يسيرة أمّا الثلاثة الأولى فإنّه يعرض لها ان نزاد فى
عظمها على قدر زيادة الثقل الذى نريد ان نرفعه أعنى
الفلكة التى على المحور والمحل والآلة التى تسمّى كبيرة الرفع
فأمّا الاثنتان الباقيتان أعنى التى تكون باللولب فإنّه يعرض
لها ان ننقص من عظمها على ذلك القدر ومثال ذلك ان

[1] ارى ms. — [2] يتبيّن conjecture. Le mot est rongé.

أردنا ان نحرّك ثقلا يكون ألف قنطار بقوّة تعادل خمسة قناطير واستعملنا هذه الحركة بالمحور الذى عليه فلكة يحتاج ان يكون الخطّ الخارج من مركز الفلكة الى محيطها مأيتى مرّة مثل الخارج من مركز المحور الى محيطه وأكثر من ذلك قليلا[1] فان استعملنا ذلك فى المحل احتجنا ان يكون جزؤه الأعظم الذى ممّا يلى القوّة المحرّكة للثقل على هذه النسبة او أكثر قليلا واستعمال ذلك فى مثل هذه الآلات يصعب او يكاد ان يكون غير ممكن لأنّا إن صيّرنا قطر المحور نصف ذراع لكى يقوى لن يتعلّق الحمل عليه احتجنا ان نصيّر قطر الفلكة مأية ذراع او أكثر من ذلك وعمل هذا صعب وكذلك يعرض فى المحل وفى الآلة الكبيرة الرفع لأنّه لا يمكننا ان نعمل قسمة المحل على هذا ولا نعمل كثرة البكر على هذا القدر فلنحتال الآن فى تسهيل الامتناع الذى يعرض لهذه الثلث قوى ۞

[٦١] ونقول أنّ الدائرة هى أكثر الأشكال القريبة منها أعنى الأكر والأساطين فإنّ حركتها استدارته كما قد بيّنّا فى المقالة التى قبل هذه ۞ فانّنا[2] نريد ان نحرّك اوّلاً ثقلا عظيما بالمحور الداخل فى الفلكة بقوّة يسيرة ولا يعرض فيه ذلك الامتناع وليكن الثقل الذى نريد تحريكه ألف قنطار مثلا والقوة التى نريد ان نحرّكه بها خمسة قناطير فيحتاج أوّلاً ان نصيّر القوّة

[1] قليا ms. — [2] فهمنا ms.

معادلة للثقل لأنّ ذلك اذا ظهر امكنّا ان نصيّر تلك القوّة تقوى على الثقل بزيادة ما يسيرة نزيدها فى الآلة فلنصيّر المحور الذى يلتفّ عليه القلس المشدود فى الثقل على علامة آ وليكن الفلكة المركّبة على علامة بَ وليسهل علينا صنعة الآلة نصيّر قطر الفلكة خمسة أمثال قطر المحور فيحتاج فى هذا ان يكون القوّة المحرّكة لفلكة بَ المعادلة لثقل ألف قنطار مأيتى قنطار والقوّة المفروضة التى لنا إنّما هى خمسة قناطير فليس يمكنّا ان نحرّك بفلكة بَ الثقل المفروض بهذه القوّة فلنصيّر محورًا ما مضرّسا وهو محور جَ مركّبا فى أضراس فلكة بَ ليكون اذا تحرّك محور جَ يتحرّك بحركته فلكة بَ مع المحور المفروض اوّلاً فيكون اذا حرّك محور جَ يتحرّك الثقل المفروض ويكون هذا المحور يتحرّك بالقوّة التى تحرّك فلكة بَ لأنّا قد برهنّا أنّ كلّ الدائرتين التى كانت [1] على مراكز خاصّة فانّها تتحرّك بقوّة يسيرة فلذلك لا يكون فصل بين حركة الثقل بفلكة بَ وبين حركته بمحور جَ فليكن أيضا محور فلكة ثابتة عليه وهى فلكة دَ وليكن قطرها مثلا خمسة أمثال قطر محور جَ فيحتاج ان يكون القوّة التى عند فلكة دَ المعادلة

[1] الدائرتين التى كانت conjecture. Le texte est mangé. Dans cette hypothèse, le premier mot الدائرتين aurait été omis. Le manuscrit ne porterait que les deux autres mots dont il reste l'extrémité des lettres.

للثقل أربعين قنطارًا وانّا [1] نفرض محورا آخر وهو محور ه مركّب فى هذه الفلكة فيكون القوة المحرّكة التى عند ه أيضا [2] أربعين قنطارا وليكن فلكة ما ثابتة على محور ه وهى فلكة ز وليكن قطرها ثمانية أمثال قطر محور ه لأنّ قوّة أربعين قنطارا ثمانية أمثال قوّة خمسة قناطير فيكون القوّة التى عند فلكة ز المعادلة لثقل ألف قنطار خمسة قناطير وهذا كان مفروضا فلان بقوى القوّة على الثقل نحتاج ان نصيّر فلكة ز أعظم قليلا او نصيّر محور ه أصغر قليلا فاذا فعلنا ذلك قويت القوّة على الثقل فان أردنا ان نستعمل محاورًا وفلكا كبيرة فى هذا العمل فايضا [3] يحتاج فيه الى هذه النسبة لانّا نحتاج إن نحن أردنا ان نصيّر القوّة معادلة للثقل أن يكون جميع النسب معادلة للثقل وإن أردنا ان تقوى على الثقل احتجنا ان نصيّر فى جملة النسب زيادة على معادلة الثقل أمّا المحور الذى فى داخل الفلكة فعلى هذه الجهة يحرّك به الثقل المعلوم فإن أردنا ان لا نصيّر الفلك ذات أوتاد نلفّ على المحاور والفلك قلوسا فيخرج لنا ذلك العمل لأنّ الفلكة التى تحرّك أخيرًا يتحرّك بها المحور الأوّل الذى يسلّ الثقل وهذه الصيغة التى للمحاور والفلك إنّما تكون فى أركان ثابتة تكون

[1] وانما ms.
[2] ايطا ms.
[3] فاطا ms.

فيها ثقب تنفذ فيها أطراف المحاور وهذه الأركان اذا كانت ترتفع ينبغى ان تكون فى موضع وثيق ثابت ۞

[٢٢] وقد يعرض لهذه الآلة وما أشبهها من الآلات ذوات القوّة الكبيرة [1] ابطآء لأنّ بقدر ضعف القوّة المحرّكة عند عظم الثقل المتحرّك بذلك القدر يزيد فى الزمان فيكون بنسبة واحدة القوّة الى القوّة والزمان الى الزمان مثال ذلك أنّه لمّا كانت القوة عند فلكة ب مأيتى قنطار وكانت تحرّك [2] الثقل ويحتاج ان يلتفّ القلس الذى لفّ على آ [3] ليتحرّك الثقل بقدر محيط آ بحركة فلكة د [4] يحتاج ان يتحرّك فلكة ج خمس مرّات ليتحرّك محور آ مرّة واحدة لأنّ قطر فلكة ب خمسة أمثال قطر محور ج فخمسة مثل ج مساوية لواحد مثل ب اذا نحن صيّرنا المحاور متساوية والفلك وإلّا فإنّا نجد تتناسب متشابهة نهذه [5] فلكة د تتحرّك عند ب والخمس محيطان التى لد لها خمسة أزمان محيط واحد والمأيتى قنطار خمسة أمثال أربعين قنطارا فاذًا نسبة القوّة المحرّكة الى القوّة المحرّكة بالمبادلة كذلك يعرض فى المحاور الكثيرة والفلك الكثيرة وبهذا يتبيّن ۞

[٢٣] ولزم ان نحرّك الثقل بهذه القوّة بالآلة التى تسمّى

[1] الكبيرة . Le mot est effacé. — [2] تتحرّك ms. — [3] ج ms. — [4] Ms. porte : بقدر قطر محور دج ليتحرّك بحركة فلكة ب. — [5] لهذه ms.

كبيرة الرفع وليكن الثقل الذى عليه علامة آ وليكن الموضع الذى نجبذ منه على علامة بَ والموضع الذى نحاذبه على علامة جَ وهو الركن الثابت الذى نريد ان ننقل الثقل اليه وليكن ذا خمس بكر وليكن البكرة التى يمدّ منها الثقل على علامة جَ فيحتاج ان تكون القوّة التى عند جَ المعادلة لألف قنطار مأيتى قنطار والقوّة المفروضة لنا إنّما هى قوّة خمس قناطير فلنخرج من بكرة جَ قلسا الى آلة كبيرة الرفع تكون عند هَ وليكن ركن ثابت محاذى لها عند زَ وليكن ذلك الركن الثابت وما يليه عند علامة هَ مثلاً ذا[1] خمس بكر وليكن الممدود منه عند حَ فيحتاج ان يكون القوّة التى عند حَ قوّة أربعين قنطارا ونخرج أيضا طرف القلس الذى عند حَ الى بكرة أخرى تكون عند طَ وليكن الركن الثابت عند كَ وليكن يمدّ من علامة كَ ومن أجل أنّ الأربعين قنطار هى ثمانية أمثال الخمسة قناطير يحتاج ان يكون الكبير الرفع ذا ثمان بكر يكون القوّة التى عند كَ المعادلة للألف قنطار خمسة قناطير فلان تقوى القوّة التى عند كَ على الثقل ينبغى ان تكون البكر أكثر من ثمانية فتقوى القوّة على الثقل ۞

[٢٤] فأمّا ان يكون الابطآء قد يعرض فى هذه الآلة أيضا فذلك ظاهر فإن هذا فى مثل تلك النسبة فانّ القوّة التى

[1] ذو ms.

عند ج [1] التى هى مأيتى قنطار اذا دفعت الثقل من عند ب الى ج فإنّها تريد ان تلفّ خمسة احبل ممدودة [2] التى للخمس بكر بقدر البعد الذى بين علامتى بج والقوّة التى عند ج تريد ان تلفّ الخمسة احبل خمس مرّات فإن نحن صيّرنا بعدى بج هز متساويين يكون بلفّ حبل واحد من الحبال التى فى بعد بج تلتفّ خمسة احبل من الحبال التى فى بعد هز لأنّ الثقل اذا تحرّك فى البعد الذى بين بج يحتاج الى ان تلتفّت له خمسة احبل بقدر بعد بج فتكون نسبة الزمان الى الزمان كنسبة القوّة المحرّكة الى القوّة المحرّكة لأن لا يكون ازداد الحبال كثيرة يحتاج الى ان يكون بعد هز خمسة امثال بعد بج وهك ثمانية امثال هز فعلى هذا العمل ترفع بكر [3] البكرة الكبيرة الرفع معًا ۞

[٦٥] فأمّا المحل فإنّ هذا الثقل يتحرّك بهذا العمل فليكن الثقل على علامة آ وليكن المحل بج وليكن الجر الذى تحت المحل على علامة د وليكن حركتنا للثقل بالمحل وهو مواز للأرض وليكن جد خمسة أمثال دب فتكون القوّة التى عند ج المعادلة للألف قنطار مأيتى قنطار وليكن محل آخر وهو هز وليكن علامة ة التى هى رأس المحل مركّبة على علامة ج ليكون بحركة ة يتحرّك ج وليكن الجر الذى تحت المحل على علامة

[1] ة ms. — [2] محدود ms. — [3] البكر ms.

ح وليكن متحرّكا الى د وليكن زح خمسة أمثال حه فتكون القوّة التى عند ز أربعين قنطارا وليكن محل آخر وهو طك ولنركّب علامة ط على علامة ز ولتكن متحرّكة حركة ضدّ حركة ه وليكن الجر الذى تحت المحل على علامة ل[1] وليكن كل ثمانية أمثال لط فيكون القوّة التى عند ك خمسة قناطير فتعادل الثقل فإن أردنا ان تقوى القوّة على الثقل يحتاج ان نصيّر كل أعظم من ثمانية أمثال لط فإن كان كل ثمانية أمثال لط وزح خمسة أمثال حه وجد أكثر من خمسة أمثال دب فإنّ القوّة تقوى على الثقل ۞

[۲۲] وقد يعرض فى هذا الابطآء على تلك النسبة لأنّه ليس بين هذه الأمحال وبين المحاور التى فى داخل الفلك المتحرّكة على مراكز فصل لأنّ هذه الأمحال هى المحاور تتحرّك على علامات دحل التى هى الجارة التى تدور عليها الأمحال فتكون دوائر المحاور الدوائر التى ترسمها علامات بهط والفلك الدوائر التى ترسمها علامات جزك فكما أنّا قد بيّنّا فى تلك المحاور أنّ نسبة القوّة الى القوّة كنسبة الزمان الى الزمان كذلك تبيّن فى هذا أيضا ۞

[۲۷] فأمّا فى الأسفين واللولب فإنّه لا يمكنّا ان نقول هذا لأنّه

[1] Ms. porte ensuite ces mots que nous supprimons : وليكن متحركا حركة فى الجهة التى ليس تتحرك اليها علامة ة.

كما بيّنّا فيما قبل هذا أنّه ليس يعرض لشىء منها امتناع لكن يعرض ضدّ ذلك وكلّما زادت القوّة التى فيهما صغر كلّ واحد منهما وإنّما كان غرضنا ان نحتال فيما يزداد عظمه كزيادة الثقل حتّى يمكنّا العمل فيه بآلات صغار فيسهل[1] ذلك فاذًا ليس يحتاج فى الأسفين واللولب ان نحتال فى تصغيرهما ليسهل العمل ۞

[٢٨] فأمّا ان يكون الأبطآء أيضًا قد يعرض لهذين فإنّ ذلك ظاهر لأنّ الضربات الكثيرة لها من الزمان أكثر ممّا[2] للضربة الواحدة وتدوير اللولب دوارات كثيرة له من الزمان أكثر ممّا للدورة الواحدة وقد بيّنّا أنّه نسبة زاوية الأسفين الى الزاوية كنسبة الضربة المحرّكة الى الضربة المحرّكة فاذا نسبة الزمان كنسبة القوّة الى القوّة ۞

[1] فسل ms. — [2] ما ms.

Livre II.

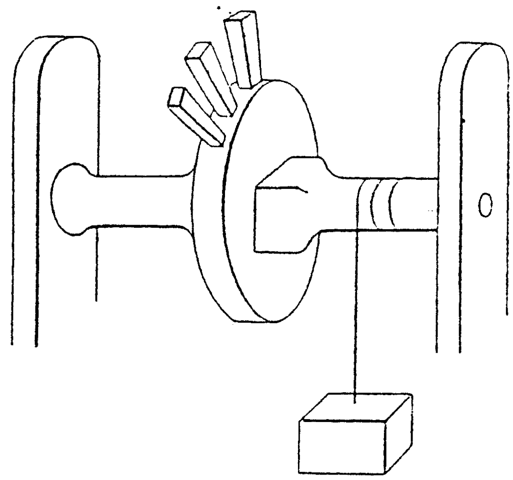
I. — 1. Les machines simples par lesquelles on meut un poids donné avec une puissance donnée sont au nombre de cinq; il faut indiquer quels sont leurs formes, leurs modes d'emploi et leurs noms. Ces machines sont fondées sur un principe naturel unique, bien qu'elles soient très différentes en apparence. Voici leurs noms: le treuil, le levier, la poulie, le coin et la vis sans fin.

Le treuil se construit de cette façon : on prend une pièce de bois dur équarrie en forme de poutre; on en rabote et on en arrondit les extrémités, et on les garnit d'anneaux de cuivre, faits avec soin, destinés à rendre insensibles les aspérités de l'arbre; de la sorte, chacune de ces extrémités étant introduite dans un trou arrondi et revêtu de cuivre ouvert dans une paroi solide et fixe, elle y tourne avec facilité. Le morceau de bois, ainsi travaillé, s'appelle axe. On monte ensuite dans le milieu de l'arbre un tambour percé d'un trou carré de même section que l'arbre; on l'y ajuste bien pour que le tambour et l'arbre montés l'un sur l'autre tournent ensemble. Ce tambour s'appelle *peritrochium* [1], dont le sens est : ce qui entoure. Cette construction achevée, nous séparons sur

[1] Grec περιτρόχιον.

l'axe, de chaque côté du tambour, une partie rabotée, autour de laquelle s'enroulera la corde. Puis nous perçons sur le pourtour extérieur du tambour des

Fig. 24.



trous, aussi nombreux que la commodité le demandera, et mesurés exactement de façon que, lorsqu'on y aura introduit des clous de bois, on puisse faire tourner avec ces clous le tambour et l'arbre.

Nous venons d'exposer comment on doit construire le treuil; nous allons expliquer maintenant la manière de s'en servir. Quand vous voulez mouvoir un grand poids avec une puissance moindre que lui, vous attachez la corde à laquelle est lié le poids à la partie de l'arbre qui a été séparée des deux côtés du tambour; vous introduisez ensuite dans les trous que nous avons forés sur le pourtour du tambour des clous de bois, et, en appuyant de haut en bas sur ces clous, vous faites tourner le tambour. Alors le poids est mû avec une faible puissance, et les cordes s'enroulent sur l'arbre, ou du moins leurs tours se superposent si elles ne s'enroulent pas tout du long sur l'arbre même. La dimension de cet instrument doit être proportionnée à la grandeur des corps lourds qu'il est destiné à transporter. Le rapport de ses parties doit être dans la mesure du rapport du poids à mouvoir à la puissance motrice; nous le démontrerons dans la suite.

2. *Deuxième machine simple.* — La deuxième machine simple est celle que l'on appelle le levier. Peut-être cette machine est-elle la première qui ait été inventée pour mouvoir les corps d'un poids excessif. En effet, lorsque des hommes voulurent mouvoir un corps d'un poids excessif, ce qu'ils eurent à faire tout d'abord pour le mettre en mouvement fut de le transporter au-dessus du sol; et comme ils n'avaient sur lui aucune prise, puisque toutes les parties de sa base reposaient sur la terre, ils durent avoir recours à un artifice; ils creusèrent donc un peu la terre au-dessous du corps lourd; puis, prenant un long morceau de bois, ils en introduisirent l'extrémité dans cette excavation, et ils appuyèrent sur l'autre extrémité; le poids leur sembla plus léger. Ils placèrent sous ce morceau de bois une pierre dont le nom est *hypomochlium* [1], ce qui signifie : placé

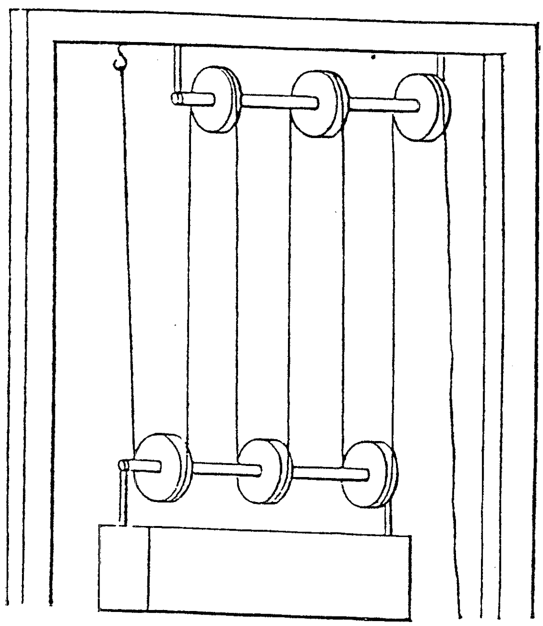
[1] Grec ὑπομόχλιον.

sous le levier; et appuyant de nouveau, ils trouvèrent le poids plus léger encore. Quand cette force fut mise en évidence, on connut qu'il était possible de mouvoir par ce moyen des poids considérables. Ce morceau de bois s'appelle levier, qu'il soit rond ou équarri; et plus on rapproche la pierre placée sous lui du poids à mouvoir, plus le mouvement est facile, comme nous le démontrerons dans la suite.

3. *Troisième machine simple.* — La troisième machine simple est celle que l'on appelle la moufle. Lorsque nous voulons élever un poids, quel qu'il soit, nous y attachons des cordes, et nous nous proposons de tendre les cordes jusqu'à le soulever; nous avons besoin pour cela d'une puissance égale au poids que nous voulons élever. Si, après avoir détaché les cordes du poids, nous lions l'une de leurs extrémités à une poutre fixe, puis que nous introduisions l'autre extrémité sous une poulie affermie sur le milieu du fardeau, et que nous tendions alors les cordes, nous mouvrons le poids plus aisément. Si nous accrochons une autre poulie à la poutre fixe, et que nous y fassions passer l'extrémité de la corde, en la tendant, nous mouvrons le poids avec plus de facilité encore. Si nous attachons encore une poulie au fardeau pour y glisser l'extrémité de la corde, cette aisance que nous avons à mouvoir le poids augmentera. En suivant ce procédé, nous multiplierons les poulies accrochées à la poutre fixe et au poids que nous voulons porter; nous introduirons successivement l'extrémité de la corde dans l'une des poulies

fixes et dans l'une de celles qui sont liées au fardeau, et, faisant revenir à nous ce bout de la corde pour la tendre, nous verrons s'accroître la facilité avec laquelle nous élèverons le poids. Plus nous multi-

Fig. 25.



plierons les poulies sur lesquelles les cordes passent, plus cette facilité sera grande. Mais il faut que la première extrémité de la corde soit fixe, attachée à la poutre fixe, et que la corde aille de là vers le poids.

Les poulies qui sont accrochées au support fixe doivent être affermies au moyen d'une autre pièce de bois, et elles doivent tourner autour d'un même axe qui est appelé *manganum* [1]; cette pièce de bois est attachée à la poutre fixe par d'autres cordes. Quant aux poulies liées au fardeau, elles sont rangées sur un autre axe égal au premier et attaché au fardeau. Il est nécessaire que les poulies soient montées sur l'axe de telle façon qu'elles ne puissent pas se rapprocher les unes des autres parce que, si elles se touchaient, leur rotation deviendrait difficile. Nous avons dit que plus les poulies étaient multipliées, plus était grande la facilité avec laquelle on élevait le poids, et que l'extrémité de la corde devait être attachée au support; c'est ce que nous prouverons dans la suite.

4. *Quatrième machine simple.* — La quatrième machine simple, qui suit les précédentes, est celle qui est appelée le coin. Elle sert dans quelques-unes des préparations des parfumeurs et pour produire l'adhésion des parties disjointes dans certains ouvrages de menuiserie. Ses emplois sont variés; mais, le plus souvent, on s'en sert pour fendre la partie inférieure des pierres que l'on veut détacher, après les avoir au préalable séparées, sur les côtés, de la masse dont on veut les détacher. On ne pourrait, pour cet usage, employer aucune des autres machines, même en les associant toutes; le coin seul peut agir dans ce cas. Il agit par le coup qui l'atteint, quel que soit ce coup, et il ne cesse pas d'agir après le coup donné. Cela est manifeste; souvent, en effet,

[1] Grec μάγγανον.

sans que le coin soit frappé, il fait du bruit et bouge, parce qu'il fend par sa propre force. Plus l'angle du coin est aigu, plus il agit avec facilité, comme nous le montrerons.

5. *Cinquième machine simple.* — C'est celle qui est appelée la vis. Les instruments dont nous avons parlé reposent sur des principes très clairs et ils sont complets en eux-mêmes; c'est ce qu'on constate en maintes circonstances où on les emploie. La vis, au contraire, présente quelque difficulté dans sa construction et dans son usage, qu'elle soit employée seule ou qu'une autre puissance lui soit associée. Elle n'est cependant pas autre chose qu'un coin courbe, qui ne reçoit pas de coups, mais qu'un levier met en mouvement. Ce que nous allons dire rendra cette proposition évidente.

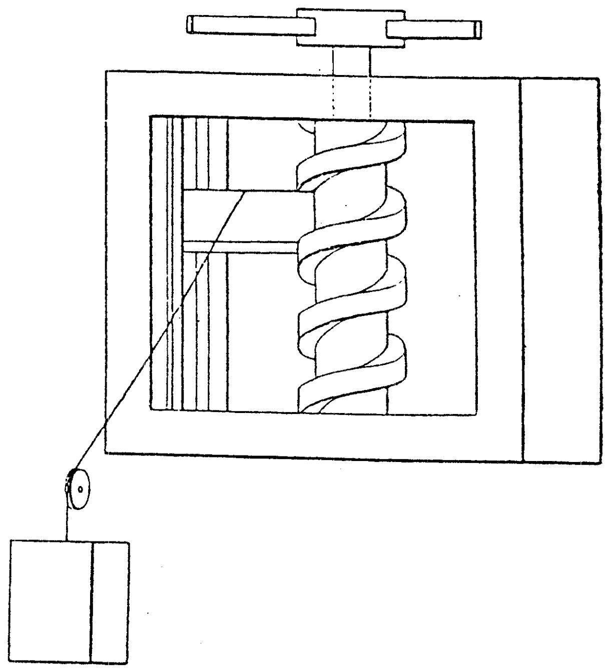
Nous définissons ainsi la nature de la ligne tracée sur la vis : supposons que l'une des arêtes d'une figure cylindrique se meuve sur la surface du cylindre, et qu'un point soit mobile sur cette arête à partir de son extrémité; ce point parcourt l'arête entière dans le temps que l'arête met à faire une fois tout le tour de la surface cylindrique et à revenir à la position de laquelle elle est partie. La courbe que décrit le point sur la surface du cylindre est un tour de vis; et c'est là ce qu'on appelle la vis. Lorsque nous voulons tracer cette ligne sur la surface du cylindre, nous opérons de cette manière : nous nous donnons sur un plan deux lignes perpendiculaires l'une à l'autre, l'une égale à l'arête du cylindre, l'autre égale à la circonférence du cylindre, c'est-à-dire à la circonférence de sa base; et nous joignons les deux extrémités de ces deux lignes qui comprennent l'angle droit, par une ligne qui soutend l'angle droit. Nous appliquons la ligne égale à l'arête du cylindre sur cette arête, et la ligne égale à la circonférence de la base du cylindre sur cette circonférence. La ligne qui soutend l'angle droit s'enroule sur la surface du cylindre et y décrit un tour de vis. Nous pouvons partager l'arête du cylindre en autant de parties égales qu'il nous plaît, et tracer dans chacune de ces portions un tour de vis. Il y aura ainsi sur le cylindre de nombreux tours de vis, et le cylindre sera une vis. Le cylindre autour duquel s'enroule une seule fois la corde de l'angle droit s'appelle vis à un tour; j'entends que l'arête du cylindre ne soutend qu'une seule ligne courbe qui part de l'une de ses extrémités et qui aboutit à l'autre.

Quand nous voulons nous servir de la vis, nous creusons suivant cette ligne enroulée sur le cylindre une rainure qui pénètre assez avant dans l'épaisseur du cylindre pour qu'il soit possible d'y introduire le doigt de bois appelé *tylos* [1]. La vis s'emploie ensuite de cette manière: on en arrondit et on en polit les extrémités, et on les fait passer dans deux ouvertures rondes pratiquées dans des supports fixes, de façon qu'elles tournent avec facilité. Puis on dresse verticalement et parallèlement au cylindre de la vis une règle de bois appelée *kânôn;* cette règle porte une

[1] Grec τύλος.

rainure à bords parallèles ouverte dans sa surface, du côté où elle regarde la vis. On introduit une extrémité du morceau de bois appelé tylos dans la rainure

Fig. 26.



de la vis et l'autre extrémité dans la rainure de la règle. Quand nous voulons mouvoir un lourd fardeau avec cet instrument, nous prenons l'une des cordes appelées *syzyx*[1], nous en attachons l'un des bouts au

[1] Mot douteux; voyez le texte.

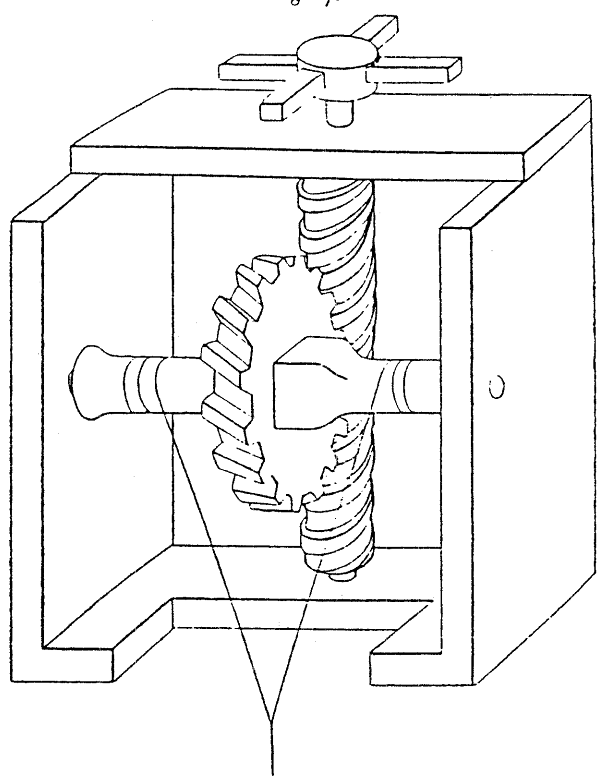
fardeau que nous voulons soulever, et l'autre à la pièce de bois appelée tylos. Nous avons percé à une extrémité de la vis des trous en différents sens; nous introduisons dans ces trous des clous de bois, à l'aide desquels nous tournons la vis. Le doigt de bois s'élève en se mouvant dans la rainure creusée dans la vis; en montant il tire la corde, qui entraîne le fardeau qui lui est attaché. Nous pouvons ajuster à l'extrémité de la vis, dans la partie qui est extérieure au support fixe au lieu des clous de bois, un bras équarri et muni d'une poignée; nous tournons alors la vis au moyen de ce bras, et le fardeau s'élève.

La rainure hélicoïdale qui se trouve sur le cylindre est tantôt carrée et tantôt lenticulaire. La rainure carrée est celle dont les parois sont perpendiculaires à la surface du cylindre et qui est limitée à deux lignes; la rainure lenticulaire est celle qui a des parois inclinées et qui est limitée à une seule ligne. Celle-ci s'appelle filet lenticulaire et l'autre s'appelle filet carré.

6. Quand la vis est employée seule, c'est de cette façon qu'elle s'emploie. Mais lorsqu'elle est employée autrement, associée à une autre machine simple, à savoir à celle qui consiste en un arbre portant un tambour, voici ce qu'elle devient. Imaginons que le tambour monté sur l'arbre porte des dents de bois; une vis est placée au contact du tambour, elle est perpendiculaire au sol ou parallèle au plan du sol. Les dents de bois engrènent avec la rainure hélicoïdale, et les extrémités de la vis sont dans deux trous

arrondis percés dans les supports fixes, comme nous l'avons décrit précédemment. Une portion de l'extrémité de la vis vient à l'extérieur du support fixe, et

Fig. 27.

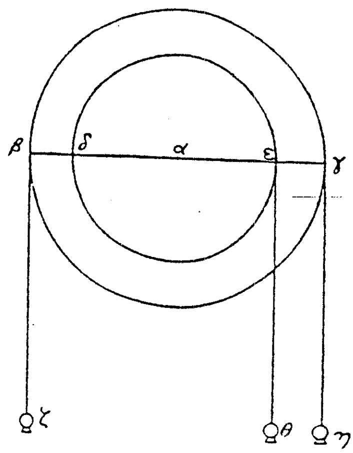


c'est sur elle que l'on fixe un bras de bois muni d'une poignée, à moins que l'on ne perce dans cette portion extérieure des trous pour y introduire des clous de bois qui serviront à faire tourner la vis. Quand nous voulons élever un fardeau avec cet instrument, nous attachons à l'arbre, des deux côtés du tambour, les cordes liées au fardeau; nous tournons la vis avec laquelle nous avons fait engrener les dents de bois du tambour; le tambour tourne ainsi que l'arbre et le poids s'élève.

II. — 7. Nous avons achevé d'exposer la construction des cinq machines simples dont la description précède, et d'expliquer leur mode d'emploi. Quant à la cause qui fait que chacun de ces instruments meut des poids considérables avec une très faible puissance, nous allons maintenant en parler comme il suit.

Supposons deux cercles ayant un même centre α; soient leurs diamètres les deux lignes $\beta\gamma$, $\delta\varepsilon$; ces deux cercles sont mobiles autour du point α, qui est leur centre commun, et perpendiculaires au plan de l'horizon. Suspendons aux deux points β, γ deux poids égaux, désignés par ζ et η. Il est évident que les cercles ne penchent ni d'un côté ni de l'autre, puisque les deux poids ζ et η sont égaux et les distances $\beta\alpha$, $\alpha\gamma$ égales. Faisons de $\beta\gamma$ un fléau de balance mobile autour d'un point de suspension qui est le point α. Si nous transportons en ε le poids qui est appliqué en γ, le poids ζ inclinera vers le bas, et il fera tourner les cercles. Mais si nous augmentons le poids θ, il fera de nouveau équilibre au poids ζ; et le rapport du poids θ au poids ζ sera égal au rapport de la distance $\beta\alpha$ à la distance $\alpha\varepsilon$. Ainsi la ligne $\beta\varepsilon$ joue le rôle d'un fléau de balance mobile autour d'un point de suspension qui est le point α.

Fig. 28.



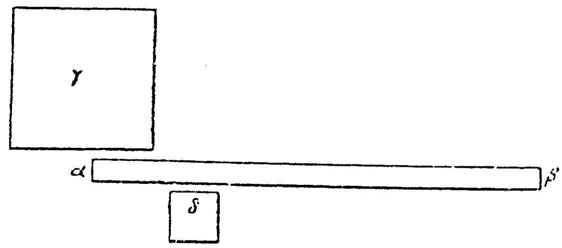
Archimède a déjà donné cette proposition dans son livre sur l'équilibre entre les poids. Il est évident, par là, que nous pouvons mouvoir un corps très lourd avec une faible puissance, lorsque, étant donnés deux cercles concentriques et un grand poids appliqué à un arc quelconque du grand cercle, le rapport de la ligne issue du centre du grand cercle à la ligne issue du centre du petit est plus grand que le rapport du grand poids à la faible puissance qui le meut. La faible puissance l'emporte alors sur le grand poids.

8. Nous allons maintenant appliquer aux cinq ma-

chines simples la démonstration que nous venons de faire sur l'exemple du cercle; après cette analyse, leur exposition aura acquis toute sa clarté. Les anciens la faisaient toujours précéder de ce lemme.

Donnons d'abord la démonstration pour l'instrument appelé levier. Le levier meut les poids de deux façons : soit qu'on le place dans une position parallèle au sol, soit que, incliné, il s'élève au-dessus du sol. On le met en action en appuyant et abaissant vers la terre l'extrémité qui se trouve élevée au-dessus d'elle. Supposons d'abord le levier parallèle au sol et

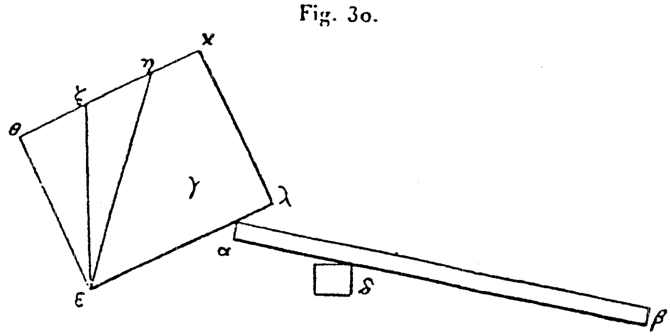
Fig. 29.



représenté par la ligne $\alpha\beta$; soit au point α le poids que le levier doit mouvoir : c'est le poids γ. La puissance motrice est appliquée au point β. La pierre placée sous le levier et sur laquelle il tourne est au point δ. La distance $\beta\delta$ est plus grande que $\delta\alpha$. Lorsque nous levons l'extrémité β du levier et que nous portons vers le haut ce bras du levier à partir de la pierre sur laquelle il tourne, le poids qui est en γ se meut dans l'autre sens. Le point β décrit un cercle autour du centre δ, et le point α décrit aussi, autour du même centre, un cercle plus petit que le cercle décrit par le point β. Si le rapport de $\beta\delta$ à $\delta\alpha$ était égal au rapport entre le poids γ et la puissance appliquée en β, le poids γ ferait équilibre à la puissance β. Si le rapport $\beta\delta$ à $\delta\alpha$ est plus grand que le rapport du poids à la puissance, il est clair que la puissance l'emporte sur le poids, parce que l'on a là deux cercles concentriques, que le poids est sur un arc du petit cercle, et la puissance motrice, sur un arc du grand. Il est donc évident que la même chose qui se passe pour deux cercles montés sur un même centre a lieu pour le levier. Et le levier qui meut les corps graves opère par la même cause qui agit dans les deux cercles.

9. Imaginons encore un levier représenté par la

Fig. 30.



ligne $\alpha\beta$ et mobile sur une pierre, qui est δ. L'un des bouts du levier, marqué α, est engagé sous un fardeau γ, tandis que l'autre bout, marqué β, est élevé au-dessus du sol. Si nous abaissons l'extrémité β du levier dans la direction du sol, nous mettons en mouvement le poids γ. Je dis que le poids n'est pas mû dans ce cas de la même manière qu'il l'était dans le premier, parce que, dans l'opération présente, une partie seulement du poids est mue et une autre partie demeure fixée à terre. Imaginons un plan passant par le point ε, et perpendiculaire sur l'horizon, et soit $\varepsilon\zeta\theta$ la portion du poids qu'il sépare; $\varepsilon\zeta\eta$ est une portion équivalente à celle-ci[1]. Si nous concevons que le poids total $\varepsilon\eta\theta$ soit séparé du fardeau et laissé dans la position dans laquelle il se trouve; il ne penchera ni d'un côté ni de l'autre, ni du côté θ ni du côté η, à cause de l'égalité des poids $\varepsilon\theta\zeta$ et $\varepsilon\eta\zeta$. Donc la portion $\varepsilon\eta\theta$ du fardeau n'utilise aucune partie de la puissance; et le levier meut seulement la section $\varepsilon\eta\varkappa\lambda$ du fardeau. Si le levier $\alpha\beta$ mouvait tout le poids $\varepsilon\theta\chi\lambda$, le rapport $\frac{\beta\delta}{\delta\alpha}$ serait égal au rapport du poids $\varepsilon\theta\varkappa\lambda$ à la puissance appliquée en β; mais il ne le meut pas tout entier, car une partie en est adhérente au plan supposé, et cette partie est la moitié du poids total[2]; si, en effet, nous n'imaginions pas ce plan et que nous ajoutions à la puissance motrice une quantité correspondant à la portion du poids qu'il tient en équilibre, l'extrémité du levier où agit la puissance serait repoussée vers le bas, et le bout α s'élèverait, parce

[1] $\varepsilon\zeta\eta$ *est... à celle-ci.* Nous ajoutons cette phrase.
[2] *La moitié.* C'est un rapport pris pour exemple.

que les puissances agissent sur les poids selon la loi de proportionnalité. Le plan supposé retient donc la moitié du poids; alors, si la puissance appliquée en β fait équilibre au poids $\varepsilon\eta\varkappa\lambda$, le rapport $\frac{\beta\delta}{\delta\alpha}$ sera égal au rapport du poids $\varepsilon\eta\varkappa\lambda$ à la force β; et la quantité de puissance nécessaire pour élever le poids à partir du sol sera moindre que précédemment [1].

Le poids sera dans une position d'équilibre, sans l'intervention d'aucune force, lorsque le plan passant par le point ε et perpendiculaire à l'horizon le divisera en deux parties égales. Ce mode d'emploi du levier revient au cercle, mais il est différent du premier.

La balance se ramène aussi au cercle, cela est évident, puisque le cercle est une sorte de balance.

10. Le treuil n'est pas autre chose que deux cercles concentriques, l'un petit, c'est le cercle de l'arbre, l'autre grand, c'est le cercle du tambour. Il est juste de suspendre le poids à l'axe et la force motrice au tambour, parce que, de cette façon, une faible puissance l'emporte sur un grand poids. Ceux qui nous ont précédé l'ont dit déjà; nous ne l'avons répété que pour que notre livre soit complet, et pour que la composition en soit bien ordonnée.

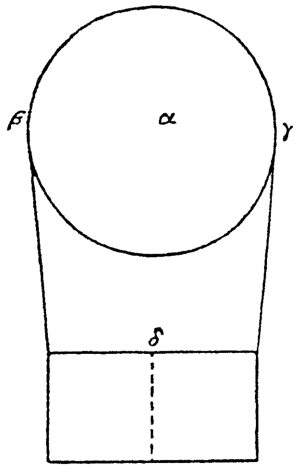
11. Expliquons maintenant la cause de l'action dans la moufle. Soit un tambour monté autour du point α, et garni d'une corde dite *syzyx* [2]; $\beta\gamma$ est cette

[1] *Que précédemment.* Nous ajoutons ces mots.

[2] Nous transcrivons l'arabe ساذج par le grec σύζυξ.

corde. Tendons ses deux extrémités en leur attachant un poids δ soulevé de terre. Il est évident que la tension des deux brins de corde sous l'effort du poids est la même, et qu'elle équivaut, pour chacun d'eux, à la moitié du poids δ. En effet, si la tension des deux brins n'était pas égale, celui dont la tension est la plus grande tirerait l'autre et l'élèverait[1]. Mais nous ne voyons rien de cela; chacun des deux brins tendus de la corde est en repos. Si donc nous partageons le poids δ en deux moitiés, c'est-à-dire en deux parties égales, il est évident que les deux brins tendus de la corde resteront en repos, puisque le poids qui les tend tous deux est le même, et précisément celui qui les tendait d'abord. La moitié du poids fait donc équilibre à un poids qui lui est égal. Les deux parties tendues de la corde sont encore égales en un autre sens, à savoir que des poids égaux sont suspendus à des bras de levier égaux; la corde tendue touche la circonférence du tambour en deux points opposés l'un à l'autre et dont les distances au centre

Fig. 3



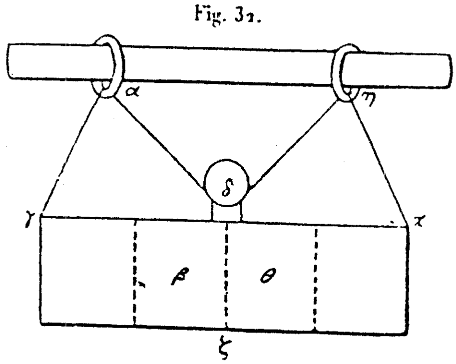
[1] Le sens de cette phrase est douteux.

sont égales; et les poids sont comme suspendus à ces deux points.

De la sorte et dans ce système, un fardeau de grand poids n'est pas équilibré par une faible puissance. C'est pourquoi, parmi les instruments élévateurs composés de poulies, ceux-ci sont dits à traction simple; et l'organe que l'on appelle *l'élévateur simple*, c'est la corde partagée en deux brins tendus.

12. Parlons maintenant de l'appareil à traction double. C'est celui dans lequel la corde est partagée en trois brins. De même, chaque fois que se répètent l'aller et le retour de la corde, l'instrument est désigné d'après le nombre de ces répétitions diminué d'une unité, afin que son nom rappelle le nombre qui est inférieur à celui-là d'une unité. Imaginons donc que l'extrémité de la corde qui est en δ passe

Fig. 32.

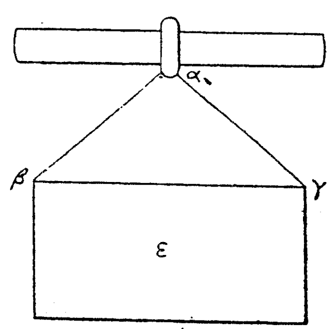


dans une poulie, et qu'elle aille de là s'attacher à un support fixe, voisin de la poulie α, au point η. La tension des brins de corde sera égale, pour la cause que nous avons dite; chacun des brins tend le tiers du poids. Si donc on divise le poids ζ en trois parties égales, en sorte que la somme des parties θ, β soit double de la portion γ, le poids restera en repos et il ne penchera ni dans un sens ni dans l'autre; et le poids suspendu au brin γ fera équilibre au poids double suspendu aux autres brins.

Si nous employons, au lieu du segment γ qui est le tiers du poids, une puissance équivalente pour tendre la corde, le poids du segment restant ne l'emportera pas sur elle, bien qu'elle soit moindre que lui. Les effets seront analogues si nous faisons entrer l'extrémité de la corde qui est en η dans une poulie fixée au point η, et que nous la tirions jusqu'à ce qu'elle vienne s'attacher au poids ζ, au point κ. Chaque brin de corde supportera alors un quart du poids. Et si l'on partage encore le poids suivant cette nouvelle division, de façon que la somme des portions marquées θ, β, γ soit égale à trois fois la portion κ, celle-ci fera équilibre au reste du poids. Le rapport du nombre des brins de cordes tendus par chaque partie du poids à la corde qui le tire est égal au rapport du poids au contrepoids. Il faut donc, pour l'ensemble du fardeau, que le rapport du poids donné à la puissance qui le meut soit comme le rapport du nombre des cordes tendues par chaque segment du poids aux cordes tirées par la puissance motrice. Par exemple, si le poids est de 50 talents et la force motrice de 5 talents, il faudra que les brins tendus qui portent le poids soient dix fois plus nombreux que les brins tendus par la puissance de 5 talents. Ainsi les brins tendus qui portent le poids étant au nombre de dix, le brin auquel s'applique la force motrice sera unique. Mais les brins qui portent le poids étant vingt, ceux auxquels s'applique la puissance motrice seront au nombre de deux. A cette condition la puissance fait équilibre au poids. Si nous voulons que la puissance l'emporte sur le poids, ou nous renforcerons la puissance, ou nous augmenterons le nombre des brins qui portent le poids. L'exposition de la machine élévatrice à poulies, appelée moufle, est achevée; nous voyons maintenant avec évidence que nous pouvons mouvoir un poids donné avec une puissance donnée.

13. On est conduit, selon la manière d'opére, à appeler l'appareil où la corde pliée est tendue deux

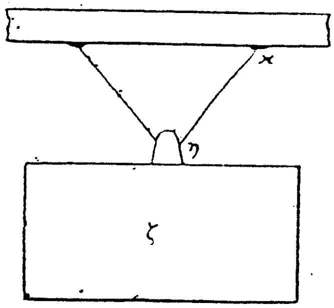
Fig. 33.



fois seulement, tantôt *à traction simple*; tantôt *à traction double*, selon la puissance qui y est appliquée. Imaginons par exemple une poulie au point α, une corde passe sur elle, les deux brins tendus de cette corde viennent aux points β et γ, où ils sont attachés à un poids qui est le poids ε. Si nous partageons ce poids en deux, les deux parties qui seront de chaque côté se feront équilibre, et cette poulie sera dite *à traction simple*, parce que la puissance, dans ce cas, fera équilibre à un poids égal à elle-même.

Imaginons au contraire un autre poids au point ζ, et fixons-y une poulie η; faisons entrer dans cette

Fig. 34.



poulie une corde, et attachons-en les deux extrémités à un support fixe, en sorte que le poids ζ demeure suspendu. Chacun des deux brins de la corde sera tendu par la moitié du poids; et si on delie l'un des deux bouts de la corde, celui qui est attaché au point x, et qu'on continue à maintenir la corde dans la même position, on aura à porter la moitié du poids. Le poids se trouve donc être double de la puissance qui le retient. Par là il est évident qu'il existe dans le support fixe, à une extrémité de la corde tendue, une puissance équivalente à celle qui est appliquée à l'autre extrémité et cette puissance retient aussi le poids.

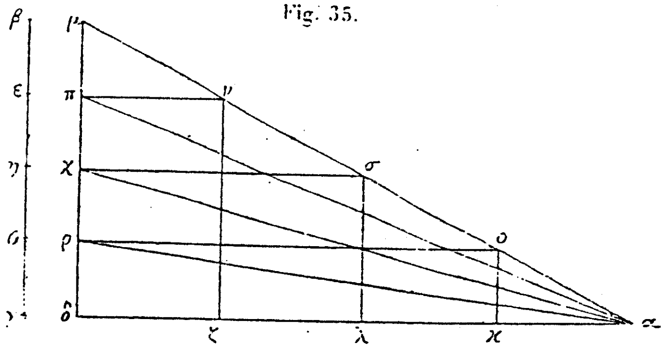
C'est pourquoi cette poulie a été justement appelée *à traction double*. Ainsi la corde, étant partagee en deux segments tendus, peut être appelée *élévatrice simple* ou *élévatrice double*. Il suit évidemment de là qu'il convient d'attacher l'extrémité de la corde à un support fixe et non au poids que l'on se propose d'élever, parce que la puissance inhérente à ce support s'ajoute à la puissance motrice et l'aide à mouvoir le poids. Il est donc clair que, lorsque l'extrémité de la corde unique est attachée au fardeau, le fardeau fait équilibre à une puissance qui lui est égale, au lieu que, l'autre extrémité étant attachée à un support fixe, la puissance fait équilibre à un poids double d'elle-même, et le poids est mû par une puissance moindre que celle qui le mouvait d'abord.

14. Le coin est mû par le coup dans un certain temps, car il n'y a pas de mouvement sans temps; et ce coup agit seulement par un contact qui ne se prolonge pas sur le coin, même pendant un temps très court. Il s'ensuit évidemment qu'après que le choc a cessé, le coin se meut encore; c'est ce que nous apprenons aussi, d'une autre manière, par les sons qui, après le coup, se font entendre pendant quelque temps dans le coin et par les mouvements qui accompagnent le mouvement de son angle. Donc la per-

cussion agit même pendant le temps très court qu'elle persiste sur le coin. Cela est manifeste dans le cas où on lance une pierre ou une flèche, qu'on la lance à la main ou avec un instrument : en effet, après que la pierre a quitté la main, nous la voyons traverser avec force un grand espace, sans que la main la pousse; d'où l'on comprend que le coup ne persiste pas sur le coin pendant un temps appréciable, et que pourtant le coin, après le coup, continue à se mouvoir.

15. Je dis que toute percussion même très faible peut mouvoir tout coin. Supposons un coin dont l'angle soit au point α, et dont le sommet soit la ligne $\delta\mu$. Il est mis en mouvement par une percussion $\beta\gamma$, et soit $\alpha\delta$ la quantité dont il pénètre.

Fig. 35.



Il est possible, disons-nous, qu'il soit mû par une très faible percussion. Otons de la percussion $\beta\gamma$ une percussion représentée par $\beta\varepsilon$, moindre que toute percussion donnée; je dis que la percussion $\beta\varepsilon$, prise isolément, enfonce une certaine partie du coin. En effet, puisque la percussion $\beta\gamma$ produit un enfoncement $\alpha\delta$, la percussion $\gamma\varepsilon$ produit un enfoncement moindre que $\alpha\delta$, soit $\alpha\zeta$. Lorsqu'on ajoute de nouveau la percussion $\beta\varepsilon$, tout l'enfoncement résulte du coup représenté par $\beta\gamma$; donc la percussion $\beta\varepsilon$, considérée en elle-même, produit l'enfoncement $\delta\zeta$. Si nous imaginons la percussion $\beta\gamma$ partagée en percussions égales à $\beta\varepsilon$, à savoir $\beta\varepsilon$, $\varepsilon\eta$, $\eta\theta$, $\theta\gamma$, l'enfoncement $\alpha\delta$ se divisera aussi en segments égaux à $\delta\zeta$, qui seront $\alpha\varkappa$, $\varkappa\lambda$, $\lambda\zeta$, $\zeta\delta$, chacune des percussions $\beta\varepsilon$, $\varepsilon\eta$, $\eta\theta$, $\theta\gamma$, produisant respectivement les enfoncements $\delta\zeta$, $\zeta\lambda$, $\lambda\varkappa$, $\varkappa\alpha$. Menons des lignes parallèles à la ligne $\delta\mu$ qui représente la tête du coin; ce sont les lignes $\zeta\nu$, $\lambda\sigma$, $\varkappa o$; puis des lignes parallèles à la ligne $\alpha\delta$, et qui sont $\pi\nu$, $\chi\sigma$, ρo; les lignes $\delta\rho$, $\rho\chi$, $\chi\pi$, $\pi\mu$, sont égales. Si nous joignons les points π, χ, ρ au point α, nous formons quatre triangles dont les sommets sont au point α et dont les bases sont les lignes $\mu\pi$, $\pi\chi$, $\chi\rho$, $\rho\delta$; et chacun d'eux est enfoncé par une percussion égale à la percussion $\beta\varepsilon$ d'une longueur égale à la ligne $\alpha\delta$. C'est donc la même chose de dire que la percussion $\beta\varepsilon$ enfonce le coin tout entier de la longueur $\delta\zeta$ ou $\alpha\varkappa$, ou de dire qu'elle enfonce le coin dont le sommet est $\delta\rho$ de la longueur $\alpha\delta$, parceque, dans le mouvement de tout le coin sous l'effet de cette percussion, la ligne $\varkappa o$ se déplace de la longueur $\alpha\varkappa$, au lieu que, dans le mouvement du coin dont le sommet est $\delta\rho$, cette ligne $\delta\rho$, égale à $\varkappa o$, se déplace de la longueur $\alpha\delta$. Donc $\delta\rho$ est enfoncé par la percussion $\beta\varepsilon$ de la longueur $\alpha\delta$[1]. Il en résulte évidemment que le rapport de la percussion $\beta\varepsilon$ à la percussion totale $\beta\gamma$ est le même que le rapport de la portion de coin ayant $\delta\rho$ pour sommet au coin entier.

De même si l'on compare le temps dans lequel se meut le coin dont le sommet est $\delta\rho$ avec le temps dans lequel se fait l'enfoncement de tout le coin par la percussion $\beta\gamma$, le rapport de ces quantités équivaut encore à celui de la percussion $\beta\varepsilon$ à la percussion totale[2]. A un autre point de vue nous ne trouvons pas de différence entre le mouvement produit par la percussion $\beta\gamma$ sur le sommet $\delta\mu$, c'est-à-dire sur tout le coin, et le mouvement produit par chacune des percussions $\beta\varepsilon$, $\varepsilon\eta$, $\eta\theta$, $\theta\gamma$ sur chacun des coins dont les sommets sont $\mu\pi$, $\pi\chi$, $\chi\rho$, $\rho\delta$, parce que les percussions partielles égalent ensemble la percussion totale. Donc la percussion $\beta\varepsilon$ enfonce le coin dont le sommet est $\mu\pi$ de la même quantité que la percussion totale enfonce tout le coin, et que chacune des autres percussions enfonce chacun des autres coins. Si le corps chassé est l'un seulement des petits coins, il est enfoncé par une seule percussion de la quantité dont tout le coin enfonce par l'effet d'une somme de percussions, et son mouvement est proportionnel aux percussions, j'en-

[1] Le raisonnement est obscur dans la rédaction arabe.
[2] La pensée est mal formulée dans le texte.

tends celles qui sont représentées par $\beta\varepsilon$, $\varepsilon\eta$, $\eta\theta$, $\theta\gamma$ [1]. C'est pourquoi le rapport entre les temps est comme le rapport entre les percussions, ou comme le rapport entre le sommet du coin total et le sommet d'un des petits coins. Et plus l'angle du petit coin est aigu, plus la quantité de puissance nécessaire pour l'enfoncer est faible par rapport à celle qui fait pénétrer le coin total.

16. Il nous reste à expliquer la cause de l'action dans la vis. Commençons d'abord par exposer la construction des tours de la vis. Lorsque nous voulons tracer une vis, nous prenons un morceau de bois dur et fort, de telle longueur que nous voulons; la partie dont nous nous proposons de former la vis doit être polie, son épaisseur égale partout, et sa surface cylindrique. Nous partageons ce cylindre en segments égaux, de la hauteur d'un tour de vis. Puis nous nous donnons sur un plan deux lignes droites perpendiculaires entre elles, l'une égale à la circonférence du cylindre, l'autre à la hauteur du tour de vis; et nous joignons les deux extrémités de ces lignes par une droite soutendant l'angle droit. Nous faisons un triangle d'une feuille de laiton, pareil à celui que nous venons de tracer et assez mince pour que nous puissions le courber comme nous voulons. Cela fait, posons l'arête égale à la hauteur du tour de vis sur le premier des segments égaux que nous avons délimités sur l'arête du cylindre, et enroulons

[1] La rédaction arabe est ici défectueuse.

le triangle de laiton mince sur la pièce de bois cylindrique. L'autre angle aigu du triangle viendra rejoindre l'angle droit de la figure de laiton, puisque la base du triangle est égale à la circonférence du cylindre. Nous collons alors les deux angles, et nous traçons le tour de vis le long du côté qui soutend l'angle droit. Puis, faisant glisser le triangle mince jusqu'au second segment, nous amenons son côté sur la seconde division de l'arête, et nous répétons la première opération pour tracer le second tour de vis qui doit continuer le premier. Nous faisons de même jusqu'à ce que nous ayons tracé l'hélice sur tous les segments de la pièce de bois cylindrique.

Lorsque nous emploierons la vis, nous serons obligés de placer à l'entrée de la rainure hélicoïdale le doigt de bois appelé *tylos;* c'est lui qui transporte le poids; lorsqu'on tourne la vis, cet organe monte et le poids s'élève avec lui.

17. Il ne faut pas se représenter la vis autrement que comme un coin enroulé. Le triangle dont l'hypoténuse décrit l'hélice de la vis est en effet une sorte de coin, qui a pour sommet l'arête égale à la hauteur du tour de vis, et pour angle l'angle aigu du triangle, celui auprès duquel on place la pièce appelée *tylos*. C'est ainsi que la vis se ramène à un coin tortu, enroulé, qui n'entre pas en action par l'effet d'une percussion, mais de sa rotation; on le fait tourner au lieu de le frapper; et le poids paraît plus léger. Mais, en rendant le fardeau plus aisément transportable, la vis agit au contraire du coin; car le

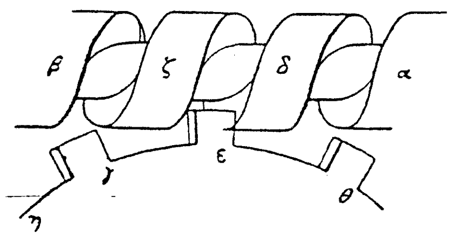
coin agit dans l'intérieur du corps, et le fend, le corps restant dans le même lieu, tandis que la vis, qui est un coin tortu, reste elle-même à sa place et tire le poids vers elle.

Comme nous avons démontré, pour le coin, que celui dont l'angle est moindre meut le poids avec une puissance plus faible que celle qui est nécessaire à un coin d'angle plus ouvert, de même il importe de dire, à propos de la vis, que celle où la distance entre les tours de vis est plus faible, meut le poids avec plus de facilité que celle où cette distance est plus grande; la réduction de cet intervalle correspond en effet à la réduction de l'angle. Donc la vis dans laquelle le pas de l'hélice est plus grand exige pour mouvoir le poids plus de puissance, et celle où ce pas est moindre exige une puissance moindre.

18. Lorsqu'un tambour à dents de bois engrène avec la rainure de la vis, la vis, à chaque tour qu'elle fait, meut une dent; c'est ce que nous allons démontrer de cette manière : imaginons une vis, soit $\alpha\beta$, sur laquelle est tracée une hélice dont les tours successifs sont désignés par α, δ, ζ. Supposons qu'un tambour muni de dents de bois soit monté près de la vis; $\eta\gamma\varepsilon\theta$ est ce tambour, et ses dents $\eta\gamma$, $\gamma\varepsilon$, $\varepsilon\theta$ engrènent avec les tours de la vis. Supposons que la dent $\gamma\varepsilon$ entre exactement dans l'un des tours de vis, et que les autres dents n'entrent pas dans les autres tours de vis; si nous tournons la vis en sorte que le point ε soit chassé du côté γ, ε vient en γ, et après un tour de la vis, la dent $\gamma\varepsilon$ vient à la place de la

dent $\gamma\eta$, et la dent $\varepsilon\theta$, à la place de la dent $\gamma\varepsilon$. Ainsi, dans une rotation complète de la vis, l'intervalle d'une dent est déplacé tout entier. Il faut imaginer

Fig. 36.



la même chose pour les autres dents. Autant donc il y a de dents sur le tambour, autant de rotations doit accomplir la vis pour que le tambour en accomplisse une seule.

19. Quand la vis tourne, l'organe en bois appelé *tylos* se meut, d'après ce que nous avons dit plus haut, et soulève le poids en s'élevant. Il est nécessaire, lorsque la vis ne se meut pas, que ce doigt de bois soit maintenu en repos à sa place, quelque force qu'on lui applique, afin que, au moment où l'on cesse de tourner, le poids ne vienne pas à l'emporter sur la vis; c'est-à-dire que ce doigt, ayant été introduit dans la rainure hélicoïdale et servant d'arrêt, ne doit pas glisser hors de cette rainure, car, s'il glissait, tout le poids redescendrait au lieu d'où il a été hissé. Cet organe ne sort pas de la rainure hélicoïdale, lorsque son extrémité est bien ajustée à la rainure et

qu'elle y entre comme dans une chaussure. Il faut pour cela que les tours de vis se rapprochent d'être parallèles à la base du cylindre sur lequel la vis est tracée. Quand les tours sont ainsi disposés, ils sont comme des chaussures enserrant l'organe en bois qui tire le poids. Si, au contraire, les tours de vis formés par la rainure hélicoïdale ont une inclinaison très forte, jusqu'à se rapprocher d'être parallèles à l'arête du cylindre, alors, lorsqu'un poids très lourd sera suspendu au doigt de bois, ou qu'une force considérable pèsera sur lui, cet organe réagira contre la rotation imprimée à la vis et il la fera tourner en sens contraire. Par là nous voyons que la vis peut mouvoir l'organe appelé *tylos*, comme elle-même peut être mue par cet organe. Elle le meut lorsque la rainure hélicoïdale est voisine d'un cercle; dans ce cas, la rotation de la vis venant à cesser, le doigt de bois demeure en repos à la même place, maintenant le poids suspendu; au contraire, lorsque la rainure hélicoïdale a une inclinaison très forte, quand cesse la rotation de la vis, l'organe ne demeure pas en repos; mais c'est lui qui meut la vis.

En effet, si au bout perforé de la vis on fixe une corde, et qu'à l'extrémité de cette corde on attache un poids, la rainure hélicoïdale ayant une forte inclinaison, nous disons que, lorsque nous élevons l'organe appelé *tylos*, le poids s'élève aussi; mais quand nous cessons d'élever l'organe, le poids s'arrête et reste suspendu, car cet organe s'oppose au mouvement de la vis, quand la rainure est près d'être parallèle à l'arête du cylindre. S'il n'y avait pas sur le cylindre de rainure hélicoïdale, mais qu'on y creusât, suivant l'une de ses arêtes, une rainure à bords parallèles, le doigt de bois opposerait une résistance absolue à la rotation de la vis. Quand au contraire les tours de vis se rapprochent les uns des autres, et qu'on élève le doigt de bois, le fardeau ne redescend pas, à moins que cet organe ne soit tiré par une très grande force; ainsi, le poids étant suspendu au doigt de bois, lorsque les tours de vis sont rapprochés et que nous tournons la vis, le poids s'élève; quand nous cessons de tourner la vis, le poids demeure en repos et reste suspendu. Mais quand les tours de vis sont fortement inclinés, nous ne pouvons mouvoir le poids à moins de faire agir sur la vis une puissance considérable [1]. Nous en avons dit assez sur la nature de la vis et sur son usage.

III. — 20. Les cinq machines simples qui meuvent le poids se ramènent à des cercles montés sur un seul centre; c'est ce que nous avons démontré sur les diverses figures que nous avons précédemment décrites. Je remarque pourtant qu'elles se réduisent encore plus directement à la balance qu'aux cercles; on a vu en effet que les principes de la démonstration des cercles ne nous sont venus que de

[1] La rédaction laisse à désirer dans la dernière partie de ce paragraphe. Le manuscrit donne ici une figure qui reproduit à peu de différence près la figure du paragraphe 5 de ce livre, et que nous nous abstenons de répéter.

la balance; on démontre que le rapport du poids suspendu au petit bras de la balance, au poids suspendu au grand bras, est égal au rapport du grand bras au petit [1].

Ces cinq machines simples sont parfois toutes impuissantes à agir, quand on veut, par leur moyen, mouvoir des poids très grands avec des forces légères. Pour les trois premières, nous sommes amenés à en augmenter les dimensions à mesure qu'augmente le poids que nous voulons élever; je parle du treuil, du levier et de la moufle. Pour les deux autres, c'est-à-dire celles qui sont fondées sur le principe de la vis, nous sommes conduits à en diminuer les dimensions à mesure que ce poids augmente. Si par exemple nous voulons mouvoir un poids de 1,000 talents avec une puissance équivalente à 5 talents, et que nous nous servions, pour cette opération, du treuil, il faut que la ligne allant du centre du tambour à sa circonférence soit deux cents fois la ligne allant du centre de l'arbre à sa surface, et même un peu plus que cela. Si nous nous servons du levier, il faut que son grand bras auquel est appliquée la puissance motrice ait avec le petit bras [2], qui porte le poids, ce rapport, et même un rapport un peu supérieur. Mais le travail, avec ces instruments-là, est difficile ou presque impossible. En effet, si nous donnons au diamètre de l'arbre une demi-coudée pour qu'il ait la force de supporter le fardeau, nous devons faire

[1] Ce préambule est évidemment hors de propos.
[2] Nous ajoutons le second terme du rapport, omis dans le texte.

le diamètre du tambour de 100 coudées et un peu plus, et cette construction sera difficile. Il en est de même pour le levier et pour la moufle, parce que nous ne pouvons pas partager le levier dans un tel rapport, ni employer un nombre de poulies aussi considérable. Il faut donc user d'artifices pour faire évanouir les difficultés que nous opposent ces trois machines.

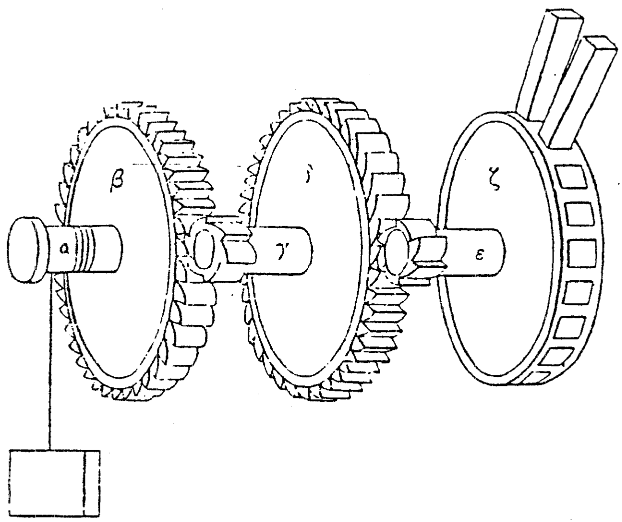
21. Nous disons que beaucoup de figures se ramènent au cercle, à savoir les sphères et les cylindres; leur mouvement est une rotation, comme on l'a démontré dans le livre précédent [1].

Nous nous proposons d'abord de mouvoir un grand poids avec une faible puissance, au moyen du treuil, et en levant l'obstacle indiqué. Supposons que le poids que nous voulons mouvoir soit de 1,000 talents, et la puissance motrice de 5 talents. Il faut d'abord amener la puissance à faire équilibre au poids, parce que, cet équilibre une fois réalisé, il nous sera possible d'obtenir que la puissance l'emporte sur le poids, en ajoutant un faible excès au rapport entre les organes de l'instrument. L'arbre autour duquel s'enroule la corde qui porte le poids est en α; le tambour monté sur l'arbre est au point β. Pour faciliter la construction de l'instrument, faisons le diamètre du tambour égal seulement à cinq fois le diamètre de l'arbre. Il faut alors que la puissance appliquée au tambour, et qui doit faire équi-

[1] Comme dans le paragraphe précédent, ce début est certainement déplacé.

libre à un poids de 1.000 talents, soit de 200 talents; mais la puissance qui nous est donnée n'est que de 5 talents. Il ne nous est donc pas possible de mouvoir, au moyen du tambour β et avec cette puis-

Fig. 37.



sance, le poids donné. Faisons alors un arbre muni de dents, soit l'arbre γ, qui engrène avec les dents du tambour β; de la sorte, quand l'arbre γ est mis en mouvement, son mouvement se transmet au tambour β et à l'arbre donné d'abord; donc quand l'arbre γ se meut, le poids donné est mû aussi. Or cet arbre γ est mû par la puissance qui meut le tambour β, car nous avons démontré que, lorsque deux cercles qui engrènent[1] sont sur des centres distincts, ils sont mus par une même[2] puissance. C'est pourquoi il n'y a pas de différence entre le mouvement du poids par le tambour β et son mouvement par l'arbre γ. Soit encore un tambour fixé sur cet arbre, le tambour δ, et faisons, par exemple, son diamètre égal à cinq fois le diamètre de l'arbre γ. Il faut que la force appliquée au tambour δ et qui doit faire équilibre au poids soit de 40 talents. Supposons qu'un autre arbre, l'arbre ε, engrène avec ce tambour; la force motrice en ε sera aussi de 40 talents. Montons un tambour sur l'arbre ε, soit le tambour ζ, et faisons son diamètre égal à huit fois le diamètre de l'arbre ε, puisque la puissance de 40 talents vaut huit fois une puissance de 5 talents. La puissance appliquée au tambour ζ et capable de faire équilibre au poids de 1,000 talents devra alors être de 5 talents. C'est celle qui est donnée. Pour que la puissance l'emporte sur le poids, nous devrons faire le tambour ζ un peu plus grand ou le pignon ε un peu plus petit. Et quand nous aurons fait ainsi, la puissance l'emportera sur le poids.

Si nous voulons employer des pignons et des roues de grande dimension dans cette construction, il n'en est pas moins nécessaire d'obtenir le même rapport, parce que, quand nous voulons par la puis-

[1] *Cercles qui engrènent.* Conjecture; le texte est mangé en cet endroit.

[2] *Même.* Le texte dit *faible*.

sance faire équilibre au poids, il faut que l'ensemble des rapports produise l'équilibre; quand nous voulons ensuite que la puissance l'emporte sur le poids, il faut ajouter à ce rapport d'ensemble un excès, au-dessus de la valeur pour laquelle l'équilibre a lieu.

Voilà donc la manière de mouvoir, au moyen du treuil, le poids donné. Si l'on préfère ne pas se servir de roues dentées, des cordes s'enrouleront sur les tambours et sur les arbres. Nous sommes conduits à la construction que nous avons exposée, par la nécessité que le mouvement du tambour placé en dernier lieu se transmette au premier arbre qui tire le poids. Cette disposition des arbres et des tambours exige des supports fixes, percés de trous dans lesquels passent les extrémités des arbres; et quand on dresse ces supports, on doit les établir sur un sol stable et ferme.

22. Cet instrument et toutes les machines de grande force qui lui ressemblent sont lents, parce que, plus est faible la puissance comparée au poids très lourd qu'elle meut, plus est long le temps que demande le travail. Il y a un même rapport entre les puissances et les temps [1]. Par exemple, lorsqu'une puissance de 200 talents a été appliquée au tambour β, et qu'elle a mis le poids en mouvement, il faut un tour entier de β pour que le poids se meuve de la longueur de la circonférence de l'arbre α. Si le mouvement est donné à l'aide du tambour δ, il faut

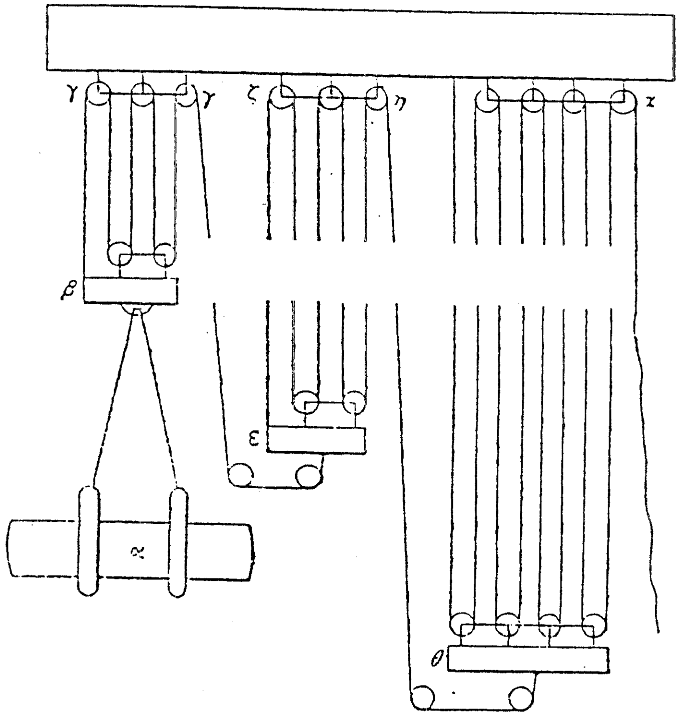
[1] Le texte de ce paragraphe a souffert. Nous sommes forcé de traduire un peu librement.

que l'arbre γ tourne cinq fois pour que l'arbre α fasse un seul tour, puisque le diamètre du tambour β est cinq fois celui de l'arbre γ et que cinq tours de γ valent un tour de β. Cette remarque se renouvelle pour la suite des organes du train, soit que nous fassions les arbres égaux entre eux ainsi que les tambours, soit que nous leur donnions des rapports variés comme ceux que nous avons choisis. Le tambour δ fait mouvoir le tambour β, et les cinq tours que doit effectuer le tambour δ prennent cinq fois le temps d'un seul tour; 200 talents, d'autre part, valent cinq fois 40 talents. Ainsi le rapport du poids à la force motrice est égal à l'inverse du rapport d'ensemble des arbres et des tambours, quelque nombreux qu'ils soient. Cela achève la démonstration.

23. Il nous faut maintenant mouvoir le poids avec la même puissance au moyen de l'instrument appelé moufle. Soit le poids au point α; marquons β le lieu à partir duquel nous le tirons, et γ ce qui fait face à β; c'est-à-dire le support fixe vers lequel nous voulons hisser le fardeau. Donnons à l'appareil cinq poulies; et soit encore γ le point où se trouve la première poulie par laquelle le poids est tiré. Il faut que la force appliquée en γ et qui doit faire équilibre à 1,000 talents soit de 200 talents. Mais la force donnée n'est que de 5 talents. Faisons partir de la poulie γ une corde allant à une autre moufle placée en ε, et soit ζ le support fixe qui lui est opposé. Que ce support fixe et l'organe ε

portent, par exemple, cinq poulies, dont la première tirée soit en η. La force appliquée en η devra être une force de 40 talents. Nous conduirons en-

Fig. 38.



core la corde qui passe en η vers d'autres poulies placées en θ et correspondant à un support fixe x; soit aussi x le point d'application de la puissance. Comme 40 talents valent huit fois 5 talents, cette moufle devra avoir huit poulies. La puissance appliquée en x et capable de faire équilibre à 1,000 talents sera alors de 5 talents; et pour amener cette puissance à l'emporter sur le poids, il suffira de donner à la moufle plus de huit poulies. La puissance sera alors plus forte que le poids.

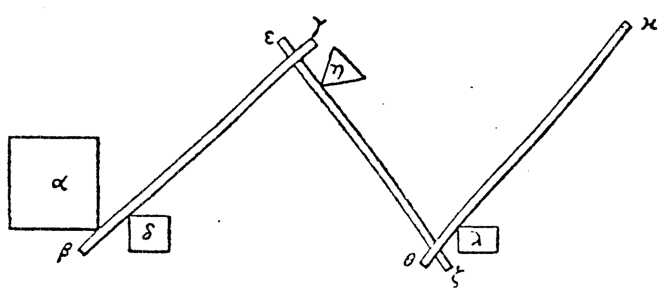
24. Le ralentissement de la vitesse a lieu aussi dans cette machine. Cela est évident. En effet, l'instrument présentant le rapport indiqué dans cet exemple, lorsque la puissance appliquée en γ et qui est de 200 talents tire le poids de β en γ, elle doit faire glisser les cinq cordes tendues qui passent sur les cinq poulies, de la longueur qui sépare β de γ; et à son tour la puissance appliquée en η doit faire glisser les cordes cinq fois. Si nous faisons égales les deux distances entre β et γ, entre ε et ζ, une seule des cordes qui occupent l'intervalle $\beta\gamma$ passera pendant que passeront les cinq cordes qui occupent l'intervalle $\varepsilon\zeta$, parce que, pour que le poids parcoure la distance qui sépare β de γ, il faut faire glisser cinq cordes de la longueur de l'intervalle $\beta\gamma$. Donc le rapport entre les temps est égal à l'inverse[1] du rapport entre les puissances motrices. Pour limiter le nombre des cordes, il faut rendre la distance $\varepsilon\zeta$ égale à cinq fois la distance $\beta\gamma$, et la distance θx égale à huit fois la distance $\varepsilon\zeta$. De cette façon les mouvements des moufles combinées, s'achèveront ensemble[2].

[1] *L'inverse.* Nous ajoutons ce mot.

[2] La figure du manuscrit occupe une demi-feuille; mais elle est presque insignifiante. Le nombre des poulies y est quelconque.

25. Le poids peut être mû avec le levier de la manière suivante : soit le poids au point α et soit $\beta\gamma$ le levier; la pierre placée sous le levier est au point δ. Nous voulons mouvoir le poids avec le levier en partant de sa position parallèle au sol. Soit $\gamma\delta$ égal à cinq fois $\delta\beta$. La force appliquée en γ et

Fig 39.



capable de faire équilibre à 1,000 talents sera de 200 talents. Soit un autre levier $\varepsilon\zeta$; le sommet ε de ce levier est articulé avec l'extrémité γ, de façon que le mouvement de ε se transmette à γ. La pierre servant d'appui au second levier est en η et l'extrémité ε se meut vers δ. $\zeta\eta$ est égal à cinq fois $\eta\varepsilon$; la force appliquée en ζ sera donc de 40 talents. Prenons encore un autre levier $\theta\kappa$; articulons le point θ sur le point ζ, et donnons-lui un mouvement de sens contraire à celui de ε. La pierre placée sous ce levier est au point λ. Soit $\kappa\lambda$ égal à huit fois $\lambda\theta$. La puissance appliquée en λ sera donc de 5 talents et elle fera équilibre au poids. Si nous voulons que la puissance l'emporte sur le poids, il nous suffira de faire $\varkappa\lambda$ plus grand que huit fois $\lambda\theta$. Ou bien si $\lambda\varkappa$ est égal à huit fois $\lambda\theta$, $\zeta\eta$ à cinq fois $\eta\varepsilon$, et si $\gamma\delta$ est plus grand que cinq fois $\delta\beta$, la puissance l'emportera encore sur le poids.

26. Le ralentissement de la vitesse a encore lieu cette fois selon le même rapport. Il n'y a pas en effet de différence entre ces leviers et les treuils; car ces leviers sont comme des cercles mobiles autour des centres δ, η, λ qui sont les pierres sur lesquelles ils tournent; les cercles des arbres dans les treuils sont représentés ici par ceux que décrivent les points β, ε, θ, et les tambours le sont par les cercles que décrivent les points γ, ζ, $\varkappa$. Comme nous avons déjà démontré, au sujet des treuils, que le rapport entre les puissances est égal à l'inverse[1] du rapport des temps, la même démonstration s'applique dans le cas présent.

27. Pour le coin et pour la vis, nous ne pouvons pas parler de la même manière, parce que, comme nous l'avons démontré plus haut, ils ne présentent pas les mêmes difficultés; c'est ici le contraire qui arrive : l'effet de la puissance augmente quand les dimensions de ces deux instruments diminuent. Nous avons dû user d'artifices à l'égard des appareils dont les dimensions augmentent avec le poids, afin de pouvoir toujours employer des instruments de petites dimensions pour la facilité du travail;

[1] *L'inverse.* Nous ajoutons ce mot.

mais, quant à la vis et au coin, il n'est besoin d'aucun artifice pour les rapetisser en vue de rendre le travail plus facile.

28. Le ralentissement de la vitesse a lieu aussi dans ces deux instruments. Cela est évident. Il faut plus de temps pour frapper de nombreux coups que pour en frapper un seul, et pour tourner de nombreux tours de vis que pour en tourner un seul. Nous avons démontré que le rapport entre les angles du coin est comme l'inverse du rapport entre les percussions motrices. Donc le rapport entre les temps est comme l'inverse[1] du rapport entre les puissances.

[1] *L'inverse*. Nous ajoutons ce mot dans cette phrase et dans la précédente.

(*La suite au prochain cahier.*)

LES MÉCANIQUES

OU

L'ÉLÉVATEUR DE HÉRON D'ALEXANDRIE,

PUBLIÉES POUR LA PREMIÈRE FOIS
SUR LA VERSION ARABE DE QOSTÂ IBN LÛQÂ,
ET TRADUITES EN FRANÇAIS

PAR

M. LE BARON CARRA DE VAUX.

(SUITE.)

[٢٩] أمّا فيما تقدّم فإنّا حركنا الثقل المعلوم بمحاور كثيرة فى فلك وبامحال كثيرة مركّبة وببكر كثيرة وقد يمكنّا ان نحرّك الثقل المعلوم باجتماع هذه وتراكب بعضها ببعض خلا الأسفين لأنّه وحده لا يحرّك إلّا بالضربة ولنبيّن الآن انّه قد يمكنّا انّ الأربع قوى يحرّك[1] باجتماعها الثقل المعلوم فليكن الثقل المعلوم على علامة ا وليكن محل على علامتى بج وليكن علامة ب التى هى طرف المحل تحت الحمل وعلامة ج متعالية وليكن الحجر الذى يتحرّك عليه المحل علامة د وليكن جد

[1] ويحرّك, ms.

خمسة أمثال دب فإذًا القوّة التى عند ج يكون مأيتى قنطار تعادل ثقل ا ولنشدّ فى طرف الحل الذى هو علامة ج آلة كبيرة الرفع تكون على علامة ة وليكن الآلة الأخرى موازية لها فى ركن ثابت وهو عند علامة ز وليكن الشىء الذ يجذب هذه الآلة على علامة ج وليكن ذا خمس بكر فيكون القوّة الجاذبة اربعين قنطارا وليكن محور على فلكة وهو طك فأمّا المحور فعلى علامة ط وأمّا الفلكة فعلى علامة ك وليكن الحبل الذى يجرى على البكرة ملفوفا على المحور وليكن الفلكة ذات أسنان قائمة على السطح الموضوع وليركّب فى أسنانها لولب وهو لولب ل وليكن له مقابض تدوّره على علامة م وليكن تركيب الأسنان فى الحفر اللولبيّ فاذا أردنا ان ندوّر اللولب ويدور بتدوير اللولب فلكة ك فيدور بهذا التدوير محور ط ويلتفّ عليه الحبل الذى للبكر فيكبّس طرف الحل الذى عند ج ويرتفع الثقل فليكن قطر فلكة ك أربعة أمثال قطر محور ط ليكون القوّة التى عند ك عشرة قناطير وليكن وتد م ضعف قطر اسطوانة اللولب فيكون القوّة التى عند م المعادلة [1] للألف قنطار خمسة قناطير فإن زدنا فى الوتد الذى هو علامة م زيادة ما [2] قويت القوّة التى هى خمسة قناطير وأمّا المحور

[1] Ms. porte : فيكون الوتد الذى عند م المعادل.

[2] Ms. زيادة قوّة ما.

الذى فى الفلكة واللولب فليركّبا فى ركن ثابت يكون فى هيئة التابوت لتكون أطراف المحور فى حائطى الركنين القائمين ويكون طرف اللولب السفلانىّ فى أسفل الركن الثابت يدور وطرفه الأعلى كالسطح الأعلى فى وسطه ولنربّع طرفه ونصيّر فيه فلكة يكون الوتد فيها وليكن هذا الركن الشبيه بالتابوت فى موضع ثابت فى موضع جيّد الأساس يحكم الوثاقة اذا دوّر الوتد ارتفع الثقل ۝

[٣٠] فأمّا فى الأسفين واللولب فإنّا نعمل هذا العمل يكون زاوية الأسفين الذى نريد ان نعمله ابج وهى حادّة فأقول أنّ الأسافين التى تكون زواياها أكثر حدّة تحرّك الثقل بأقلّ ضربة أعنى بأصغر قوّة وليبلغ من صغرها ان لا تستعمل لحدّتها وليخرج خطّ قائم على خطّ جب وهو خطّ بد [1] ليقوى الأسفين وليخرج خطّ مواز لخطّ بج وهو خطّ ده ولنخرج من علامة ه خطّاً على زوايا قائمة وهو خطّ هج [2] وليعمل أسفين كالمعيّن وهو ابده وليدخل ضلعه الذى هو بد ليكون منه شىء يسير تحت الحمل وليكن رأسه له فيظهر لنا أنّ أسفين ابج اذا ضرب ينفذ ابده برهان ذلك ان نخرج خطّى اب ده الى ز يكون زاوية مساوية لزاوية ابج فيكون ازه أسفيناً [3] أيضا

[1] وهو خط بد. Nous ajoutons ces mots. — [2] خط ه, ms. — [3] اسفين, ms.

يمكن ان يحرّك بتلك القوّة وليتوهّم ما يلى منه علامات ب ز د تحت الحمل فيكون قد يعدّ الأسفين فأمّا الأسفين فهذا بيانه وليس يجب باضطرار ان نستعمل للأسفين زاوية حادّة لأنّا قد برهنّا أنّ كلّ ضربة يسيرة يمكن ان يحرّك كلّ أسفين اذا ضرب ضربات كثيرة واستعمالنا الزوايا الصغار انّما هو الضربات الصغار فاذًا ليس يجب باضطرار ان يستعمل للأسفين الزوايا الصغار ۞

[٣٦] فامّا فى اللولب فإنّه يمكن[1] ان نستعمل مثل هذا العمل ولذلك يحتاج ان نركّب فى زاوية الدائرة اللولبيّة التى هى زاوية ا ب ج عمود ا ج قائما على ب ج مساويا لغلظ الطولس الذى نريد ان نركّبه فى الحفر اللولبىّ ونعمل اسطوانة يكون محيطها مساويا لخطّ ز ه[2] ونرسم دائرة لولبيّة من هذه الخطوط فى بعد ا ه[3] ونحفر الدائرة اللولبيّة ويكون بعدها مساويا لخطّ ا ج فبهذا العمل يمكنّا ان نركّب تلك الخشبة فى الحفر اللولبىّ ۞

[٣٣] ومن أجل أنّا قد بيّنّا فى كلّ واحد من هذه القوى أنّه يمكن بالقوّة المعلومة ان يحرّك الثقل المعلوم ينبغى ان نعلم هذا أيضا أنّه لو أمكن ان تكون المعمولات كلّها مخروطة بالشهد متساوية الثقل متشابهة الأجزاء ملسة كان يمكن فى كلّ واحد من هذه الآلات ان نستعمل الأعمال التى ذكرنا على

[1] ليس يمكن ms. — [2] ب ج, ms. — [3] ا ج, ms.

28.

تلك النسبة ولكن من أجل أنّه لا يمكن الناس يعملون[1] ذلك بالاستقصاء فى الملاسة والاستوآء ينبغى ان يزاد فى القوى لما يعرض من خشونة الآلات ونزيد فى ذلك بعلة كثر قدرًا من النسب التى قدّمنا لئلّا يعرض لنا من امتناع ذلك ونظرنا الى الاستعمال بالآلات ان يكذب بما قد صحّ برهانه۞

[٣٣] وقد يجب باضطرار للذين يريدون معرفة صناعة الحيل ان يعرفوا العلل التى تعرض فى استعمال كلّ حركة كما قد بيّنّا فى رفع الأشياء الثقيلة بالبراهين الطبيعيّة واخبرنا بكلّ ما يعرض لكلّ واحدة من القوى التى ذكرنا لئلا يقع لهم شىء بلا برهان او شىء يشكّون فيه لكن اذا فحصوا فى كلّ واحد ممّا يطلبونه يخرج لهم صدق ذلك فى كلّ واحد ممّا ذكرنا فلنذكر أشياء[2] قد ذكرها القدمآء تصلح فى هذا النوع وقد نتعجّب من هذا ما اذا بيّنّاه كان ضدّ ما تقدّم فى معرفتنا ويكون ابتداء ما نسأل عنه ممّا يظهر لنا وما لا يمكنّا ان نخبّر أسبابه إلّا بعد الأشياء الظاهرة فيكثر تعجّبنا لذلك اذا كنّا نرى الأشياء التى نستعمل ضدّ ما اعتدناه وما كان عندنا فظاهر لنا أنّه يجب باضطرار لمن أراد الاستقصاء فى وجود العلل ان يستعمل ابتدات طبيعيّة أمّا واحدة وأمّا كثيرة فيصف كلّ ما يسأل[3] عنه اليه ويخرج كلّ واحد من المسآئل

[1] يعلمون, ms. — [2] شيا, ms. — [3] كلها نسل, ms.

باستقصآء اذا ظهر علّته وكانت هى الشىء الذى قد عرفناه فليكن لنا موضوعا أنّ الخفيف سهل الحركة والثقيل عسر الحركة وأنّ الثقل الواحد حركته بالقوّة الأكبر أسهل منه بالقوّة الأقلّ فانّ هذا قد نراه على هذا وهو بيّن ظاهر لنا وقد يجب ان نعلم أنّ كلّ ما نسأل عنه قد يعرض فيه شىء خفىّ ليس بظاهر لأنّه لا يكاد يسأل[1] عن شىء العلّة فيه ظاهرة بيّنة ولكن يجب ان نعلم أنّ ابتداء كلّ المسآئل التى تعرض فى صناعة الحيل وخفيّة العلّة فى ذلك أنّه لا يمكننا ان نرى الأجسام الثقيلة منقسمة على القوى المحرّكة لها وهذه العلّة تكون ظاهرًا باشياء كثيرة وبخاصّة بحركات هذه الأجسام لأنّ الجسم الذى لا يحرّكه رجل واحد او الذى اذا حرّكه رجل واحد كان ذلك عليه عسرًا فإن جماعة من الرجال يحرّكونه ويكون حركته عليهم سهلة فلو كان يعرض ان يكون على كلّ واحد من المحرّكين ثقل المحرّك كلّه كان لا يوجد اختلاف حركة بين حركة الواحد وبين حركة الجماعة ولكنّا قد نرى الحركة على الجماعة أسهل ومن أجل أنّ الجماعة قد ينال كلّ واحد منهم ما من الحمل وقد يسهل عليهم حركته فظاهر لنا أنّ الحمل ينقسم على الذين يحرّكونه ۞

[٣٤] آ لماذا صارت العجل التى هى ذات فلكتين تحمل الأثقال

[1] نسل, ms.

أسهل من العجل اذا كانت ذات أربع فلك لأنّ الثقل فى العجل التى هى ذات فلكتين لعلّه ينقسم بقسمين متساويين عن جنبى المحور فأمّا فى العجل التى هى ذات أربع فلك فإنّ ذلك لا ينهيّأ ولا ينقسم الثقل فلا تكون جزواه[1] اللذان فى الجهتين متساويين لكن يكون الحمل كلّه أمام الفلكتين المؤخّرتين وخلف الفلكتين المقدّمتين فيذهب بسرعة حركة الفلك اختلاف وضع الثقل فإنّ الفلكة إنّما صارت سريعة الحركة لأنّ ثقلها فى أجزآءها كلّها متساو ٥

بَ لماذا صار جرّ العجل يصعب على الدوابّ فى الرمل لأنّ بعض هوكس[2] الفلك تكون فى قعر الرمل فإذا جرّت الفلكة يدعم الفلكة الرمل الذى هو أمامها وأيضا قد يصعب ذلك من أجل أرجل الدوابّ تنفذ فى الرمل فيكون قلعها صعبا فأمّا فى الأرض الصلبة فأنّ ذلك لا يعرض ٥

جَ لماذا صار الثقل الواحد فى الموازين المتعادلة يفعل ميلا مختلفا فيكون فعله الميل الأكثر فى الثقل الأصغر فإنّه اذا كانت كفّتان فى كلّ واحدة منهما ثلثة أمنآء وصيّرنا فى احدى الكفّتين نصف منا مالت تلك الكفّة ميلا كثيرا فإن كان فى كلّ كفّة عشرة أمنآء وزدنا فى احدى الكفّتين نصف منا كان

[1] فتكون جزاوه, ms.
[2] Mot douteux ayant le sens probable de « rayons ».

ميل العود فى ذلك يسيرا جدّا لأنّه يعرض فى ذلك ان يتحرّك الثقل بقوّة كثيرة فإنّ الثلثة الأمنآء يحرّكها مثل وسدس مثل فأمّا العشرة أمنآء فإنّه يحرّكها مثل ونصف عشر مثل لأنّ النصف منا هو نصف عشر العشرة أمنآء وهو سدس الثلثة الأمنآء والثقل الذى يحرّكه القوّة العظمى يكون حركته أسهل ۞

د لماذا صارت الأثقال العظام يهبط الى الأرض فى زمان أقلّ من زمان التى هى أخفّ لانّه كما يعرض فيها اذا كان القوّة المحرّكة لها من خارج أكثر فإنّها تتحرّك أسهل كذلك اذا كانت قوّتها فى نفسها[1] أكثر تحرّكت أسهل والقوّة والجذب فى الثقل الأعظم فى الحركات الطبيعيّة أكثر منه فى الثقل الأصغر ۞

ه لماذا صار الثقل الواحد اذا كان له عرض يكون هبوطه الى الأرض أبطاء منه اذا كان مستديرًا لأنّه ليس كما ظنّ قوم أنّه ينال المعترض بعرضه هوآء كثيرًا وأمّا المستدير فلأنّ اجزآؤه بعضها مداخل فى بعض لا ينال من الهوآء إلّا يسيرًا لكن الثقل الذى ينحطّ معترضا تكون له أجزآء كثيرة ولكلّ واحد منها من القوّة على قدر عرضه ففى حركة هذا الثقل يأخذ كلّ واحد من أجزآئه من القوّة التى تحرّكه على قدر ثقله ولا يناله كلّه قوّة واحدة ۞

[1] نفسها. Conjecture, le mot est mangé.

وَ لماذا صار الرمى مى وسط الوتر ينفذ السهم بعدًا [1] كثيرًا لأنّ التوتّر يكون فيه أكثر ويكون القوّة الباعية أعظم ولذلك صيّروا القسى من قرون ليمكن فيها الثنى فاذا ثنيت كثيرا توتّر الوتر بالسهم أكثر وصارت فيه قوّة أعظم فنفذ بعدًا أطول ولذلك صارت القسى الصلبة التى لا تجيب أطرافها الى الثنى تنفذ السهم بعدًا أقلّ ۞

زَ لماذا صار الخشب يندقّ أسرع اذا صيّرت الركبة منه على النصف لأنّه اذا صيّرت الركبة منه على أقلّ من النصف فكان أحد جزويه أطول من الآخر لأنّه يكون ميزانا منقسما بقسمين مختلفين فتقوى اليد [2] البعيدة من الركبة على اليد القريبة منها وليس ينال إحداهما قوّة على الأخرى إلّا ان تكون جميعهما فى طرف العود ۞

حَ لماذا صارت الخشبة كلّما زاد فى طولها أكثر ضعفت وكثر انثناؤها اذا أثقلت فى أحد طرفيها لأنّ الخشب الطويل فيه قوّة كثيرة متفرّقة فى أجزآئه فتكون كلّها تقوى على الثابت منها الذى به تقلّ فيعرض لها ما يعرض فى الخشب القصار اذا علّق فى أطرافها شىء يكبّسها فيكون الزيادة فى طول الخشبة بقدر ذلك الثقل الذى يجتذب الخشبة القصيرة فينال

[1] بعد ms.
[2] اليد. Nous ajoutons ce mot.

الخشبة الطويلة بذاتها من طولها مثل الذى ينال القصيرة
اذا شدّ فى طرفها شىء ثقيل ۞

ط لماذا صار قلع الأضراس يستعمل بالكلبتين دون اليد لأنّه لا يمكنّا ان نضبط الضرس باليد كلّها لكن بجزء منها وكما أنّه قد يصعب علينا ان نشيل ثقلاً بأصبعين فقط أكثر من صعوبته باليد كلّها كذلك أيضا يصعب علينا ضبط الشىء وكبسه بأصبعين أكثر منه باليد كلّها لأنّ فى جميع المعيّنين القوّة واحدة وقسمة الكلبتين على سمارها [1] هو أيضا يصيّر اليد تقوى على الضرس لأنّه يكون محل اليد منه على الجزء الأعظم وبعد الكلبتين هو يعين على حركة الضرس وذلك انّ اصل الضرس هو الشىء الذى يتحرّك عليه المحل فلان بعد الكلبتين يكون أكثر من أصل الضرس الذى يتحرّك عليه شيئًا كبيرًا [2] يقوى اليد [3] على القوّة التى فى أصل الضرس لأنّه لا يكون فصل بين حركة ثقل وحركة قوّة تعادل ذلك الثقل فإن رددنا [4] اليد اذا كانت ممدودة قد يكون صعب ليس لثقل اليد لكن القوّة ارتباط العصب بعضه ببعض ۞

ى لماذا صارت للموازين اذا دوّرت تدويرًا كانت مثقلة أو خفيفة تحرّكت أسرع من حركتها الى إحدى الجهات التى

[1] سمار. Les lexiques donnent plutôt مسمار. — [2] شىء كبير, ms. — [3] اليد. Nous ajoutons ce mot. — [4] ردنا, ms.

تميلها لأنّه اذا دوّرت كلّها [1] كان ثقلها متساويًا [2] من الجهات كلّها فيكون لذلك متحرّكا على مركز ومركزه [3] علاقته فأمّا اذا جذبنا الميزان الى احدى الجهتين فإنّا نرفع ثقلاً ما لأنّ ميل الكفّة الى أسفل يقلّ الأخرى فتكون حركة غير طبيعيّة أعنى حركة ثقل الى ما يلى العلو فأمّا الحركة الطبيعيّة فإنّها سهلة وهى جذب الثقل الى أسفل فلذلك صار جذب الأثقال الى أسفل أسهل من سلّها الى فوق ۞

يا لماذا صارت حركة الأثقال المتعلّقة سهلة لأنّ جمع قوّة الثقل قد قويت عليها القوّة التى هى متعلّقة بها فلانّه لم يبق لها كثير قوّة صار دفعها سهلاً وكذلك أيضا يعرض فى الميزان اذا كان متعلّقا وجذبناه يحرّك أسهل ۞

يب لماذا صارت الحجارة المتقدّرة العظم التى على شطّ البحر تكون أكثر ذلك مستديرة لأنّها تكون أوّلا ذات زوايا حادّة فبحركة البحر يضرب بعضها بعضا فتتكسّر زواياها لضعفها ۞

يج لماذا صار فى الأثقال المتعلّقة التى نريد ان نحرّكها كلّما بعدت اليد عنها حتّى تصير الى الركن الثابت الذى هى معلّقة عليه او قربت منه صعبت حركتها لأنّا إن التمسنا ان نحرّكها من الموضع الثابت الذى [4] هى معلّقة عليه صعب ذلك

[1] كلها, ms. — [2] متساويا. Le ms. porte : متساوية متساوى. — [3] مركد, ms. — [4] الذى. Ici et deux lignes plus haut le ms. a التى.

وكان غير ممكن بتّة فاذا تباعدت اليد عن الركن الثابت
حرّكت الثقل لكن بصعوبة وذلك المقرب من بطلان الحركة بتّة
وكلّما تباعدت اليد المحرّكة [1] الركن الثابت كانت الحركة
عليه أسهل مثال ذلك ان نفرض الركن الثابت الذى الثقل
معلّق عليه على علامة ا وليكن الحبل خطّ اب ولنخرج خطّ
اج قائمًا على خطّ اب ولنتعلّم على خطّ اب علامتين كيف ما
وقعنا وهما علامتا ده ولنجذب الحبل من علامة د فنكسره حتّى
يكون كهيئة ازح فيكون الثقل عند ح فأقول أنّ ح أكثر
ارتفاعا من ب برهان ذلك انّا نخرج خطّ حز الى ج ومن أجل
أنّ ازج أعظم من جزح [2] بان علامة ح أعلى من علامة ب وأيضا
فليكن الحبل الممتدّ من علامة له وضع قائم على جح فيكون
الثقل فى موضع واحد أعنى يكون مثل اب ولكن من أجل ان
اه أعظم من از يكون ه أكثر انحطاطا من ز كعلامة ط ونصل
اط فيكون اط قد كسر كسرة اطح فأقول أنّ الثقل المعلّق هو
أكثر انحطاطا من ح بيان ذلك من أجل ان از زط أعظم من اط
وخطّ حط مشترك فانّ ازح أعنى اب أعظم من اط طح فليكن
جميع اط طك مساويا اب فيكون الثقل عند ك وك أكثر
انحطاطًا من ح فيكون اذا جذبنا الثقل من عند علامة ه
يكون عند ك واذا جذبناه من علامة د يكون عند ح

[1] تباعد المحركة، ms. — [2] زح، ms.

فيكون الثقل يرتفع من علامة د أكثر من ارتفاعه من علامة ة والثقل الذى يرتفع الى مكان أكثر ارتفاعا يتعب القوّة أكثر من الذى رفع الى مكان أقلّ ارتفاعًا لأنّ الذى يرفع الى مكان كثير الارتفاع يحتاج الى زمان أطول ۞

يد لماذا صارت الأشياء التى تسير فى المآء اذا كانت على حآئط واحد يكثر سرعة حركتها لأنّ الذى يكون منها على المآء يكون يسيرًا جدًّا فيكون الذى يدعه من المآء أيضا يسيرًا والذى يناله من الريح يقوى على ذلك المآء الذى يضادّه عند حركته ۞

يه لماذا صار السكّان وهو صغير جدًّا تردّ سفنًا عظامًا لأنّه اذا كان إنسان هدوءًا فاجتذبه أحد الى أىّ جهة كانت فإنّه يميل الى تلك الجهة سريعًا والسكّان يدعه المآء فيقوى على السفينة ۞

يو لماذا صارت الأسهم تتغرّس فى الدروع والجواشن ولا تتغرّس فى الشراعات المنشورة [1] لأنّ الحمية اذا صارت الى الشىء الذى يجيبها ولا يمانعها لم يفعل فعلاً شديدًا لأنّ سرعة الحركة وعظم القوّة تتفرّق عند ملاقاة الشىء المجيب الغير مانع فأمّا الشىء الصلب اذا لاق الصلب مثله فضرب لم يجبه الشىء الصلب وقاومه فلم يتفرّق من قوّته شىء فيكون ضربته عليه

[1] المسورة, ms.

جدًّا ولهذه العلّة صار الذين يلقون أنفسهم من بعد طويل الى المآء لا ينالهم ضرر۞

يز لماذا صارت الرطوبات وهى فى طبآئعها ثقيلة تتحرّك سريعًا بسهولة فإنّا قد نرى الرجل الواحد يحرّك ألف قسط من مآء فى مرّة واحدة لأنّ المآء متّصل وأجزآؤه سريعة التفرّق فإنّه ليس كمثل الحجارة والخشب مكتنزًا[1] تصعب تجزئته لكنه سهل التفريق ولذلك صار ليس له ثبات فى نفسه بل هو سآئل[2] الى أسفل فيعرض من ذلك أنّا نحرّك منه الجزء اليسير فتميل سآئر أجزآئه الى ذلك الموضع الذى أسفل منه جزؤه اليسير۞

[٣٥] وقد يجب ان نبيّن أيضا أشياء يحتاج اليها فى الجذب والكبس ليس كالذى ذكرنا فى المقالة التى قبل هذه ولكن أشياء أخر أشدّ احكامًا من تلك قد أوضحها ارشميدس وغيره وأوّل ذلك نخبّر كيف نستخرج مركز ثقل مثلّث متساوى الثخن والثقل فليكن المثلّث المعلوم مثلّث ابج ونقسم خطّ بج بنصفين على علامة د ولنصل علامتى اد فإن أقمنا المثلّث على خطّ اد لم يمل الى جهة من الجهات لأنّ مثلّثى ابد ادج متساويان وأيضا قسمنا خطّ اج على علامة ه ووصلنا علامتى به فإن أقمنا المثلّث أيضا على خطّ به لم يمل الى جهة

[1] مكتنز, ms. — [2] سيال, ms.

من الجهات فاذ كان المثلّث اذا أقيم على كلّ واحد من خطّى اد به تعتدل أجزآؤه ولا يميل الى جهة من الجهات فإنّ علامة تقاطعهما المشتركة إنّما هى مركز ذلك الثقل وهى علامة ز وقد ينبغى ان يتوهّم علامة ز فى وسط ثخن مثلّث ابج فيظهر لنا أنّا اذا أوصلنا علامتى اد وقسمنا خطّ اد على علامة ز بقسمين يكون أحدهما الذى هو از ضعف زد فانّ علامة ز تكون مركز الثقل لأنّا ان وصلنا علامتى ده لإنّ[1] خطّى اج بج قد قسما على علامتى ده يكون خطّ اب موازيا لخطّ ده فاذا خطّ اج عند جه مثل اب عند هد وخطّ اج ضعف خطّ جه فاذًا خطّ اب ضعف هد وخطّ اب عند هد كخطّ از عند دز فاذًا خطّ از ضعف زد وذلك من[2] أجل ان شكلى ابز ودزه متساوية الزوايا ه

[٣٦] نريد ان نستخرج ذلك أيضا فى المربّع فليكن المربّع المعلوم مربّع ابجد ولنصل بد ونفصله بنصفين على علامة ه ولنصل علامتى اه هج ونقسمهما على علامتى ز ح قسمة يكون از ضعف زه وجح ضعف حه فيكون مركز ثقل ابد على علامة ز ومركز مثلّث بدج على علامة ح فليس نجد اختلافا فى توهّمنا أنّ ثقل مثلّث ابد كلّه عند علامة ز وأيضا ثقل مثلّث بجد عند علامة ح فقد صار خطّ زح ميزانا فى طرفيه هذان

[1] لا, ms. — [2] ومن, ms.

العظمان فإن فصلنا خطّ زح على علامة ط فصلاً يكون طح عند زط[1] كثقل ز الذى هو ثقل مثلّث ابد عند ثقل ح الذى هو ثقل مثلّث بدج يكون علامة ط الذى يتعادل عليها الثقلان مركز ذلك المربّع[2] ۞

[٣٧] نريد ان نبيّن ذلك فى مخمّس ابجده فلنصل به ونخرج مركز ثقل مثلّث ابه وليقع على علامة ز وليكن مركز ثقل مربّع بجده على علامة ح ولنصل علامتى زح ونقسم خطّ زح بقسمين يكون قسم حط عند طز كثقل مثلّث ابه عند ثقل مربّع بجده فيكون علامة ط مركز ثقل شكل ابجده وكذلك ينبغى ان يتوهّم فى كلّ شكل كثير الأضلاع ۞

[٣٨] نريد ان نبيّن اذا كان مثلّث ابج متساوى الثخن[3] والثقل وكانت قوائم تحت علامات ابج متساوية الوضع كيف نستخرج كمّيّة الثقل الذى يحتمل كلّ واحد منها من مثلّث ابج نفصل خطّ بج بنصفين على علامة د ونصل علامتى اد ونقسم خطّ اد بقسمين على علامة ه قسمة يكون قسم اه ضعف هد فيكون علامة ه مركز جميع ثقل المثلّث فينبغى ان نقسمه على القوائم ولكنّا ان توهّمنا خطّ اد معتدل الميل عند تعلّقه على علامة ه يكون الثقل الذى عند د ضعف الثقل الذى عند ا لانّ خطّ اه ضعف خطّ هد فإن

[1] زا عند تج , ms. — [2] الموضع , ms. — [3] فى الثخن , ms.

توهّمنا الثقل الذى عند د منقسمًا على علامتى ب ج وكان خطّ ب ج معتدلاً يكون عند كلّ واحد من علامتى ب ج نصف الثقل الذى عند د لأنّ خطّى ب د د ج متساويان وقد كان الثقل الذى عند د ضعف الثقل الذى عند ا [1] فاذًا الأثقال التى عند علامات ا ب ج متساوية فاذا القوائم تحمل أثقالاً متساوية ۞

[٣٩] وأيضا فليكن مثلّث ا ب ج متساوى الثقل والثخن على قوائم متساوية الوضع فليكن على علامة ثقل ما موضوع او معلّق وليكن علامة واقعة حيثما وقعت فنريد ان نستخرج كم يحتمل كلّ واحد من القوائم من ثقل ه فلنصل ه ا ونخرجه الى د ونقسم الثقل الذى عند ه بقسمين يكون اذا قوّم للمثلّث على خطّ ا د يعتدل فيكون الثقل الذى عند د عند الثقل الذى عند ا مثل خطّ ا ه عند خطّ ه د ولنقسم الثقل الذى عند د قسمة يكون اذا علّق ب ج يعتدل فيكون ثقل ج عند ثقل ب مثل خطّ ب د عند خطّ د ج والثقل الذى عند د ملفوظ فاذ الثقلان اللذان عند ب ج ملفوظان ولكن الثقل الذى عند ا ملفوظ فاذا الأثقال التى على القوائم ملفوظة ۞

[٤٠] نريد ان نستخرج اذا كان مثلّث ا ب ج وكانت أثقال ما معلومة على علامات ا ب ج علامة فى داخل المثلّث اذا علّق بها

[1] ضعف الثقل الذى عند ا. Nous ajoutons ces mots.

المثلث يعتدل نقسم خط اب على علامة د قسمة يكون خط بد عند دا كالثقل الذى عند ا الى الثقل الذى عند ب فيكون مركز الثقل المجتمع من الثقلين على علامة د فلنصل علامتى دج بخط دج ونقسمه على علامة ه قسمة يكون خط جه عند هد مثل ثقل د عند ثقل ج فيكون علامة ه مركز الثقل المجتمع من الجميع فإذًا هى علامة العلاقة ۞

[٤١] نريد ان نبيّن ذلك فى شكل كثير الأضلاع فليكن شكل ابجده كثير الأضلاع ولنعلّق على علامات ابجده أثقالاً معلومة ونقسم خط اب على علامة ز قسمة يكون خط بز عند زا مثل ثقل ا عند ثقل ب فيكون علامة ز مركز الثقلين اللذين عند اب ولنقسم أيضا خط ده على علامة ح قسمة يكون خط دح عند خط حه مثل ثقل ه عند ثقل د فيكون علامة ح مركز الثقل المجتمع من علامتى هد ونصل زح ونقسمه على علامة ط قسمة يكون جميع اب عند جميع ده مثل حط عند طز فيكون علامة ط مركز الثقل المجتمع من علامات ابده ولنصل علامتى جط بخط جط ونقسمه على علامة ك قسمة يكون خط جك عند كط كثقل ابده عند ثقل ج فإذًا علامة ك مركز الثقل المؤلّف من الجميع ۞

تمّت المقالة الثانية من كتاب ايرن

فى رفع الأشياء الثقيلة ۞

المقالة الثالثة من كتاب ايرن

فى رفع الأشيآء الثقيلة

[١] أمّا فى المقالة التى قبل هذه فقد قلنا فى الخمس قوى وبيّنّا العلل التى تحرّك بها الأثقال العظيمة بقوّة يسيرة واثبتنا [1] فى ذلك فيما يظنّ أكثر ممّن كان قبلنا وبيّنّا العلّة لم صار تتبع الآلات العظيمة القوّة الأبطآء وبيّنّا أشيآء أخر ينتفع بها المتعلّمون فى الحيل والكبس فيها كفاية للمتعلّمين فأمّا فى هذه المقالة فانّا نكتب حيلا ينتفع بها فى تسهيل ما تقدّم وجود [2] استعماله تعين ايضا على حركة الاجسام الثقيلة وايضا نعمل الآلات ينتفع بها فى العصر لأنّ هذه أيضا يحتاج الى قوّة عظيمة فى استعمالها ۞ أمّا الأشيآء التى تجرّ على الأرض فإنّها تجرّ على الخانات والجاة [3] وهى جسم ثابت معمول من خشب مربّع أطرافه مفروضة فهذه الخانات تصيّر عليها الأثقال وتشدّ فى أطرافها حبال او شىء آخر ممدود يجرّ

[1] واتسا, ms.

[2] وجوده, ms.

[3] الخانات, mot douteux. Le manuscrit porte deux fois لحابات et quatre fois الحابات. Nous écrivons الخانات dans l'hypothèse d'une transcription fautive du grec χελώνη. Cf. l. I, 21 : الاحابات, et l. III, 15. — Le second mot الجاة parait correct; il signifie une espèce de tortue.

المجانات به وهذه القلوس أمّا ان تمدّ بالأيدى وأمّا بأجسام
أخر واذا مدّت القلوس سارت المجانات على الأرض وقد يصيّر
تحت المجانات خشب مستدير دقيق او ألواح لتتحرّك المجانات
عليها فإن كان الحمل صغيرا فإنّه ينبغى ان يستعمل الخشب
المستدير وإن كان الثقل عظيما فينبغى ان تستعمل الألواح
لأنّها لا تتحرّك سريعًا وذلك ان الخشب المستدير اذا تدحرج
تحت الحمل يندقّ تحت الحمل لشدّة سرعة حركته وقوم لا
يستعملون ألواحًا ولا خشبًا مستديرًا ولكنهم صيّروا فى
أطراف المجانات فلكًا صلبة تتحرّك عليها ٥

[٢] وقد يحتاج فى رفع الأشياء الثقيلة الى العلو الى حيل ما
فمنها ما هو ذو قائمة واحدة ومنها ما هو ذو قائمتين ومنها
ما هو ذو ثلث قوائم ومنها ما هو ذو أربع قوائم أمّا التى هى
ذات قائمة واحدة فإنّها تكون على هذه الجهة تأخذ خشبة
طويلة لها ارتفاع أعظم من البعد الذى نريد ان نرفع الثقل
اليه فإن كان هذا العود فى نفسه صلبا نأخذ قلسًا فنشدّه
عليه ونلفّه على بعد متساو وليكن الحبل القائم الذى بين
كلّ لفّة قدر أربعة أشبار[1] فيزداد قوّة العود ويكون التفاف
القلس عليه كدرج لمن يريد يعمل شيئًا ما فى أعلى العود
ويكثر به سهولة العمل فإن لم يكن ذلك العود فى نفسه صلبا

[1] اشيا, ms.

فينبغى ان ننظر فى قدر الثقل الذى نريد ان نرفعه لأن لا يكون قوّة الثقل أعظم من قوّة تلك القائمة فنقيم تلك القائمة مستوية على خشبة تكون مضطربة فيها ونربط فى أعلى ذلك الركن ثلث حبال او أربعة ونشدّها الى أركان ثابتة شديدة الثبات فنشدّ الحبال عليها ثمّ نصيّر فى طرف هذا الركن بكر تشدّ اليه [1] بحبل ونربط القلوس التى فى البكر بالحمل الذى نريد ان نقلّه ثمّ نمدّ القلوس أمّا بالأيدى وأمّا بآلة أخرى فإذا تعالى الحمل وإن احتجت [2] ان تصيّر الحجر إعلى حائط او على أىّ موضع أردت تحلّ الحبل الذى فى أحد الأركان الثابتة التى تمدّ الركن الذى البكرة مشدودة فيه الى ضدّ الجهة التى تريد ان تضع الحجر فيها فيميل ذلك الركن الى تلك الجهة وترفع الحبل الذى فى البكرة قليلاً قليلاً الى الموضع الذى تريد ان تجلسه فيه فإن لم يبلغ من ميل الركن الذى البكرة عليه مشدودة ما يودى الثقل المرفوع الى الموضع الذى نريد صيّرنا تحته خشبًا مستديرًا نمشيه عليه او ندفعه بالمحل حتّى نصيّره فى الموضع الذى نريد فإذا فعلنا ذلك رددنا الركن الى موضعه من الجهة الأخرى التى تلى الينا ثمّ نشدّه أيضا ونستعمل فيه مثل العمل الأوّل ۞

[٣] فأمّا الحيلة التى هى ذات ركنين فإنّها تعمل بهذا العمل

[1] اليها, ms. — [2] واحتجت, ms.

ونستعمل الآلة التى تسمّى اودوس[1] ونركّب عليها الأركان ولتكن تميل الى الجهة العليا ميلاً يسيرًا يكون قدر خمس البعد من السفلانىّ ثمّ نشدّ الركنين على هذا الاودوس ليجمع طرفيهما بعضها الى بعض ونصيّر فى أطراف الأركان عارضة أخرى تشدّ عليها بكر أخر كبيرة الرفع وليكن بكر أخر مشدودة فى الحجر يمدّ ذلك الحبل مثل العمل الأوّل أمّا بالأيدى وأمّا بآلات[2] فيرتفع الثقل ولتعالى هذه الأركان ينبغى ان تكون مربطة بالحبل كالرباط الذى وصفنا أوّلاً ثم يضع الحجر وينقل ذلك الاودوس الى الجهة الأخرى من البنآء على قدر ما يدعو الحاجة اليه ۞

[٣] فأمّا الحيلة التى هى ذات ثلثة أركان فإنّها تعمل على هذه الجهة نعمل ثلثة أركان بعضها مائل الى بعض تجمع أطرافها على علامة واحدة ونشدّ على تلك العلامة التى اجتمعت الثلثة الأركان عليها[3] بكرة كبيرة الرفع ويكون بعضها مشدود على الحمل فاذا جذبت[4] قلوس البكر ارتفع الحمل وهذه الآلة قاعدتها أوثق وآمن من غيرها ولكن ليس يصلح ان يستعمل فى كلّ موضع نريد لكن فى الموضع الذى نريد ان نرفع الحمل فى وسط هذه الآلة فإذا احتجنا ان نقلّ حملاً الى موضع يمكن

[1] Ce mot semble transcrire le grec ὀδός. — [2] بذوات, ms. — [3] عليه, ms. — [4] احدث, ms.

ان نصيّر هذه الثلاثة تحيط بوسطه استعملنا بما فيه ۞

[٥] فأمّا الحيلة التى هى ذات أربع قوائم فإنّها تستعمل فى الأثقال المفرطة فى العظم وهى ان يقام اربعة أركان من خشب يكون خلفها كخلقة مربّع متوازى الأضلاع وليكن فى سعته على المقدار الذى يمكن الحجر ان يضطرب فيه ويتغالى بسهولة ثمّ نشدّ على أطراف هذه الأركان خشبًا يصل بعضها ببعض وليكن ذلك باحكام ووثاقة ثمّ نصيّر ايضا على هذا الخشب خشبا آخر يشدّ بعضها ببعض شدًّا مخالف ترتيب جميع الأركان بعضها ببعض ثمّ نشدّ البكر فى وسط هذا الخشب على العلامة التى تلاقى الأعواد بعضها بعضًا عليها ثمّ نشدّ الحجر فى تلك الحبال التى فى البكر ونجبذها فيرتفع الحمل ۞ فقد ينبغى ان يتوقّى فى جميع آلات الحيل من ان يستعمل مسامير وأوتادًا وبالجملة كلّما يكون فى ثقب ولا سيّما فى الأثقال العظام لكنّا نستعمل الحبال[1] والقلوس فنشدّ بها ما نريد مكان الشىء الذى نريد ان نسمّره ۞

[٦] ومن أجل أنّه قد يعرض للآلة التى كهيئة المقلاع التى بها يرفع الحجر ان تمنع من تركيب الحجر فى الموضع الذى يحتاج اليه ان يركّب فيه فانّا نستعمل هذه الحيلة وهى التى تسمّى علق نرسم على قاعدة الحجر التى هى سطح ابجد شكلاً مشابهًا[2]

[1] نستعمل فى الحيل, ms. — [2] مشابه, ms.

الشكل المرسوم وهو ان يكون كلّ واحد من سطحى ەزحط كلمن متوازى الأضلاع وليكن ەزحط أعظم عرضًا من كلمن قلمّا فى الطول فليكونا متساويين أعنى ان يكون خطّ كم مساويا خطّ ەح[1] ثمّ نحفر هذا الشكل فى عمق الحجر وليكن عمق الحفر على قدر ثقل الحجر وليكن حفر سطح ەزحط قائم الزوايا مستقصى قيامها وأمّا سطح كلمن مورّب الحفر اعنى ان يكون أسفله أوسع من أعلاه فيكون حفر كهيئة القفل الخشب يكون الضيق منه مساويا لكلمن والعريض منه مساويا ەزحط ونعمل جسمها كهيئة القفل الخشب أيضًا من حديد يتراكب على هذا الحفر يكون فى أعلاه حلقة متّصلة به فيصيّر فى حفر ەزحط حتّى يعتبر فيه ثمّ يدفع ويدار حتّى يصيّر فى الحفر الأنثى حتّى لا ينقلع ثمّ يركّب على حفر ەزحط خشب لئلّا[2] يندفع من الحديدة ثمّ نصيّر فى الحلقة المتّصلة بالوتد الحديد الحبال التى كانت تحمل المقلاع الذى كان يكون الحجر فيه فيقلّ بهذا العمل حتّى يصيّر فى الموضع الذى نريد بلا ان يكون يمنعه شىء فإذا يركّب الحجر فى موضعه خلعت تلك الأوتاد ونزعت الحديدة ثمّ ركّبت فى حجر آخر ۞

[٧] وقد تتعالى الحجارة أيضًا بالآلات التى تسمّى السراطين اذا كانت ذات ثلث قوائم او أربع وعوّجت أطرافها حتّى تصير

[1] مساويا خطّ ەح. Nous ajoutons ces mots. — [2] لالا, ms.

كهيئة السلس وركّبت هذه السلس فى جانب الحمل وصيّر فى أطرافها عوارض أعنى فى أطراف القوائم وشدّت بحبال ورفعت فانّها تقلّ الحمل وقد ينبغى ان يصيّر فى أطراف هذه القوآئم عوارض يجمع بعضها الى بعض خارج الحجر فى أطرافها لكى لا تكون اذا تعلّق الحجر عليها فثقلت فيقع الحجر لكن تكون هذه العارضة تشدّ بعضها الى بعض وتكون الحبال مشدودة عليها خارجة منها الى البكر فاذا مدّت رفعت الحجر۵

[٨] وقد نستعمل فى هذا عمل آخر أسهل من ذلك وأكثر وثاقة منه فلتكن قاعدة الحجر التى عليها ابجد ولنحفر فيها حفرًا شبيهًا بالمتوازى الأضلاع وهو هزحط وليكن معتدل العمق وليكن حفره مورّب الجوانب أعنى ان يكون له فى أسفله من الجانبين غور مقتدر ويكون على ذلك الغور صلبا ليجرّ الحجر الذى عليه ونستعمل وتدين[2] من حديد تكون أطرافها معوّجة كهيئة حرف علاقة[3] وليكن فى أعلاها حلق او ثقب ثمّ نركّب كلّ واحد منهما فى جانب من الحفر وندخل المعوّج منه فى الحفر المورّب ونعمل الى وتد آخر ثالث حديد نركّبه بين هذين الوتدين ليمنع هذين الوتدين ان تضطرب وليكن الوتد الثالث أيضا مثقوبا فى أعلاه ثقبا موازيا ثقبى

[1] Mot douteux ayant le sens de crochet. Cf. le mot شنكل.
[2] وتد, ms.
[3] عاق ou عاب, ms.

الوتدين الآخرين ونركّب فى الثلث ثقب محورًا يكون أحد
طرفيه غليظا فيكون الثلثة الأوتاد قد ملأت حفر ءزحط
ويكون المعوّج من الوتدين قد دخل فى الحفر الذى عن
جنبتى سطح الحفر ويكون الوتد الثالث قد ملأ ما بين
الوتدين فصارت الثلثة الأوتاد كهيئة جسم واحد ثمّ يشدّ
على ذلك المحور النافذ فى الثلثة الأوتاد قلوس يكون فيها بكر
ويكون فى أعلى الآلة التى بها نرفع الثقل بكر أخر محاذية
للتى فى الحجر فننفذ القلوس فيها ونجبذ فإنّ الحجر يرتفع لأنّ
الوتد الأوسط لا يدع الوتدين اللذين أطرافهما المعوّجة فى
داخل الحجر توكّد ثمّ يرفع الى ان يحاذى الموضع الذى نريد
ان يركّب فيه فيجلس على ذلك الموضع فإذا جلس الحجر فى
موضعه أخرج المحور وقلع الوتد الأوسط وأخرج كلّ واحد
من الوتدين المعوّجة الأطراف ثمّ نركّب حجرًا آخر ونعمل به
العمل الأوّل ۞ وقد ينبغى ان يتوقّى فى هذا العمل استعمال ما
صلب من الحديد لئلّا ينقصف ويتوقّى أيضا اللين منه لئلّا
يتعوّج وينقلب لثقل الحجر بل يستعمل منه ما كان متوسّطا
ليس شديد الصلابة ولا شديد اللين وينبغى أيضا ان يتوقّى
عطف شىء من الحديد وتثنيه او شقّ يناله فى صنعته فانّ
الخطاء فيه يعظم جدًّا ليس لوقوع الحجر فقط لكن لأنّه ينال
الصنّاع أيضا اذا وقع ۞

[٩] أمّا الأنواع التى نرفع بها او نعلى الشىء[1] الثقيل فإنّها هذه التى ذكرنا وقد ينبغى ان نحتال فى المكان والزمان وما يحتاج اليه من غير هذا أيضا ونبيّن كيف ينبغى ان نستعمل فى كلّ واحد من هذه ۞ فقد استعمل قوم فى احدار الحجارة الكبار من رؤس جبال شاهقة حيلة لئلّا يكون لانصباب[2] الجبل يتحدّر الحجر لحيدة نفسه فيقع على الدوابّ التى تجرّه والعجل فيتلفها فاستعملوا طريقين فى الجبل فى الموضع الذى أرادوا ان يحدروا الحجر فيه من أعلاه الى أسفله وسهّلوها بغاية ما يمكنهم واتّخذوا عجيلتين ذوات أربع فلك وصيّروا إحداهما[3] فى أعلى الطريق الذى أرادوا لحدار الحجر فيها والأخرى فى أسفل الطريق الآخر ثمّ شدّوا على ركن ثابت بين الطريقتين بكر وأجازوا من[4] العجلة التى تجرّ[5] الحجر الى البكر حبلا وأنفذوها الى العجلة الأخرى التى أسفل وصيّروا على تلك العجلة التى أسفل حجارة صغارا بما وقع لهم من نجارة الحجر الأعظم حتّى ثقّلوها ثقلاً ما أقلّ من الحجر الذى أرادوا احداره ثمّ شدّوا الى تلك العجلة دوابّ تجرّها مصعدًا فكان بصعود تلك العجلة قليلاً قليلاً ينحدر الحجر الأعظم الى أسفل انحدارًا سهلاً قليلاً قليلاً أيضا ۞

[1] نعلا للشئ, ms. — [2] الانصباب, ms. — [3] احدهما, ms. — [4] من. Nous ajoutons ce mot. — [5] لم تجرّ, ms.

[١٠] وقد رام قوم ان يرفعوا بهذا العمل أيضا أساطين عظامًا فيجلسوها على قواعدها فى الموضع الذى يريدون وبهذه الحيلة ربطوا فى رأس الأسطوانة التى أرادوا رفعها حبالا[1] وأجروها الى بكر مشدودة فى برج ثابت وأنفذوها اذا خرجت الى الجهة الأخرى عن البكر ثمّ شدّوا فى أطرافها التى انفذت فى البكر أوعية تحتمل ان توضع فيها الحجارة وأشياء ثقيلة أعنى كالصناديق او غير ذلك ممّا يشبّهه ثمّ صيّروا فى تلك الأوعية حجارة متندرة وأثقالاً حتّى توازى ثقل العمود وتقوى عليه فانّها عند ذلك ترفعه فيقوم قائمًا على قاعدته وقد ينبغى أن يشدّ أسفل الأسطوانة الى قاعدتها لئلّا تخرج عنها اذا رفعت او يزول عنها او يلقّى على قاعدة الأسطوانة قلوس تصير لها مثل الاكليل ليكون اذا رفعت الأسطوانة ثبت أسفلها فى تلك القلوس التى قد أديرت عليها ۞

[١١] وقد رام قوم ان يحدروا[2] أحمالاً عظامًا فى البحر بهذه الحيلة فإنّهم عملوا طوقًا من خشب مرتفعا يشدّ بعضها الى بعض بمسامير أوتاد وصيّروا له حيطانًا وثيقة وألقوه فى البناء حيث أرادوا ان يحملوا الثقل وصيّروا تحت الطوق بلاليس[3] مملوّة رملاً مشدودة الأفواه[4] فركّبوا الطوق على البلاليس ثمّ

[1] حوالا, ms. — [2] تحدوا, ms. — [3] بلاليس ou, moins probablement بلاكيس, mot douteux ayant le sens de sac. Cf. le persan بلاس. — [4] Conjecture pour الاكوام, ms.

أخذوا سفينتين[1] فشدّوها بالقلوس عن جنبتى الطوق فى حائطيه ثمّ صيّروا الحمل على الطوق وحلّوا البلاليس وسيّلوا الرمل ثمّ سيّروا السفينتين فى البحر فنفذت تحمل الطوق۞

[١٢] وقوم احتالوا أيضا بان يحدروا[2] الحجارة العظام فى البحر بهذه الجهة وقوم احتالوا فى رفع الحيطان التى قد مالت فى الزلازل بهذه الجهة حفروا فى الأرض فى الجهة التى مال اليها الحائط حفرًا بطول الحائط ثمّ وضعوا فيه خشبا مربّعا بعيدًا[3] عن الحائط بعدًا يسيرًا وأقاموا خشبا آخر قائمًا بين الحائط والخشب المربّع الذى صيّروا فى الحفر ثمّ صيّروا فى أطراف الخشب القائم بكرا وأجازوا عليها الحبال الى آلة تسمّى ملفّة ثمّ أداروا تلك الآلة حتّى انجبذت الحبال وجذب الخشبة المعترضة وانجذب بانجذابها الخشب القائم فميّل الحائط فى ردّه الى موضعه فلمّا ردّوه الى موضعه تركوه مشدودًا بذلك الخشب زمانًا لتستقرّ الحجارة بعضها على بعض ثمّ حلّوا الخشب فيثبت الحائط على حالته المنصوبة[4]۞

[١٣] أمّا ما يحتاج اليه فى حركة الأثقال وما ينفع فى ذلك فقد أتينا من بيانه بما فيه كفاية والآن آلات الفلاحة أعنى التى تعصر بها الاندية[5] والأدهان ليس ببعيدة ممّا ذكرنا من

[1] Le ms. porte ici اسفين et deux lignes plus bas السفين. — [2] يحوا, ms. — [3] بعيدة, ms. — [4] المنسوبة, ms. — [5] الاندة, ms.

استعمال الأثقال فإنّه قد يجب ان نبيّن ذلك ونشرح منه قدر ما يكتفى بمعرفته ۞ أمّا الخشبة التى تسمّى خيل[1] الذى يسمّيه قوم آخرون عصار[2] ليس شىء آخر غير محل ما وحجرة الذى تحت المحل وهو حائط المعصرة الذى طرف الخشبة فيه والثقل هو الحبل الملفوف على العنب المرصّص والقوّة المحرّكة وهى الحجر المعلّق فى طرف الخشبة التى تسمّى لين[3] وقد يعترض فى الخشب العظام ان يكون ثقل الخشب عظيمًا أيضا ليقوى على العصر أمّا الخشبة العظيمة فإنّه قد يكون طولها خمسة وعشرين ذراعًا والحجر المعلّق عليه الذى يسمّى لياس[4] يكون ثقله عشرين قنطارا ۞

[١٤] فنريد ان نحتال فى طريق الحجر فنستعمل هذا العمل نتّخذ آلة كبيرة الرفع ونشدّ على طرف الخيل بكرة وعلى الحجر بكرة أخرى ونشدّ على الحجر فوق البكرة خشبة معترضة نعلّقها على الخشبة التى تسمّى الخيل ولنخرج ذلك الحبل الى محور عليه فلكة وندير الفلكة فيلتفّ الحبل على المحور ويرتفع الحجر ۞

[١٥] وقد يجد حيلة أخرى يحطّ بها الخشبة التى تسمّى

[1] Le ms. porte presque partout حبل. Nous lisons خيل en rapportant ce mot au grec χυλόω. — [2] Les lexiques donnent plutôt معصار. — [3] لبن, ms. La lecture لين correspond au grec ληνός. — [4] Le ms. porte ليا et, quelques lignes plus loin, ليس. Nous lisons لياس comme transcription du grec λᾶας.

اورس ويرفع بها الحجر الذى يسمّى ليلس فإنّ صلابة الجبل تفعل امتناعًا ما من انحطاط الخشبة وارتفاع الحجر لأنّ الجبل اذا كان صلبا فإنّه لا يجرى على البكر فى رفع الخشبة فى الجهة العليا وفى انحطاط الخشبة الى أسفل ورفع الحجر يحتاج ان نستعمل أوتادا طوالا ندير المحور بها ولا تأمّنّا اذا كان العنب المرصوص الذى تحت الخشبة كبيرًا وكان الذين يديرون هذا المحور الذى للجبل عليه جماعة ان تنكسر الأوتاد فتقع فينالهم ضرر او تنقلب من الثقب فتقع أيضا فينالهم مثل ذلك فاستخرجوا حيلة أخرى لا يحتاج فيها الى حبل أسهل[1] من هذه وأوثق منها وهذه صفتها ۞ نستعمل جسمًا من خشب مربّع كهيئة اللبنة[2] فنركّبها تحت الخشبة التى تدعى الجبل فى الموضع الذى كان يصيّر فيه الجمل وليصير أحد أجزآئه التى تلى ما فوق مستديرة وتصيّر من كلّ جهة من ناحيتى الركن الثابت لخانات ثابتة على الخشب التى يقال لها الجبل لئلّا تجرى هذه اللبنة أكثر ممّا يحتاج اليه ويمكنها ان تميل الى الجهتين جميعًا ثمّ نرفع الخشبة أعظم رفعها الذى نرفعه لوضع الجبل ونقدر البعد الذى بين اللبنة وبين الحجر ونأخذ نصفه أو أكثر من ذلك قليلًا ونعمل بهذا الطول لولبًا عدسيًّا معتدل الثخن وليكن الحفر اللولبىّ لا يخرج إلى نهاية خشبة

[1] مهل, ms. — [2] Le ms. porte plus souvent لبنة.

اللولب من الجهة الواحدة فأمّا من الجهة الأُخرى فإنّه ينبغى أن يكون الحفر اللولبيّ يبلغ نهاية الخشبة اللولبيّة ويصير من الفاضل الخشبة مربّعا ونفرض فى هذا المربّع حفرا يسمّى طرمس وهو دآئرة تحفر فى طرف العود حتّى يتراكب العود بالخشبة التى يحتاج أن يوصل بها ثمّ نركّب هذا الطرمس فى احدى جهات اللينة التى تلى ما تحت الخشبة ثمّ نستعمل مسامير حديد معترضة فنركّب اطرافها فى هذا الحفر ونسمّره[1] بها[1] على اللينة ونستعمل ايضا محور حديد نجيزه فى هذا الطرمس ونخرجه إلى اللينة فنشدّ فيها ليزيده وثاقة واتّصالًا باللينة الخشبة ثمّ نستعمل خشبة أُخرى مربّعة من عود صلب قوىّ يكون طولها مساويا لطول اللولب وعرضها الذى يحيط به ضلع من أضلاع مربّع قاعدتها أطول من قطر الأسطوانة اللولبيّة بالقدر الذى يمكن به أن يركّب تلك الاسطوانة فى داخل هذه الخشبة المربّعة ثمّ نشقّها بنصفين طولًا ونحفر فى كلّ واحد من جزويها حفرًا ميزابيًّا مستديرًا نصيّره أنثى اللولب ونحفره حفرا لولبيّا نمكن أن تتراكب فيه اللولب الذكر ثمّ نلصق الجزوين حتّى تصيرا شيئًا واحدًا ينبغى أن يكون الحفر اللولبيّ أيضا فى الخشبة الأنثى نافذًا[2] فى الجهة الواحدة إلى غاية الخشبة فأمّا فى الجهة الأُخرى فإنّه يدع

[1] نسمّرها, ms. [2] نافذة, ms.

غير محفور صلب فإذا ركّبنا طرف اللولب فى طرف الخشبة القويّة التى قد بلغ حفرها اللولبىّ إلى أقصاها ودون ذلك ينفذ اللولب كلّه فى الخشبة المحفورة حتّى يستتر كلّه فإذا فعلنا ذلك حفرنا فى طرف هذه الخشبة المحفورة الداخل دآئرة فى عنقها دون طرفها فيها ببعد يسير وركّبنا عليه خواتم حديد كما يفعل فى محاور العجل ثمّ نحفر فى الحجر حفرًا يسع طرف هذه الخشبة ان يتراكب فيه وليكن يمكن فيه أن يدور الخشبة تدويرًا سهلاً ثمّ نركّب طرف الخشبة فى ذلك الحفر ونصيّر له ضباب حديد تمنع الخشبة من أن تخرج من الحفر الذى فى الحجر ونصيّر على الدائرة المفروضة فى طرف الخشبة أيضا خاتم حديد ليكون تدويرها سهلاً ونصيّر فوق هذا الحفر المركّب فى الحجر ثقبا متخالفة يخرج منها أربعة أطران وتدين فإذا فعلنا ذلك وأردنا استعمال الخشبة التى تسمّى الخيل أوصلنا طرفى اللولب والخشبة المحفورة الداخل ثمّ تدار الأربعة أوتاد حتّى ينفذ اللولب فى الحفر فيكبّس الخشبة ويرفع الحجر فيعصر كل شىء تحت الخشبة فإذا انحطّ الخشبة[1] إلى أن يقعد على الأرض أدرناه تدويرًا ضدّ ذلك حتّى يرتفع الخشبة ويثبت الحجر وهذا العمل قوىّ وثيق مأمون العاقبة ليس فيه كثير تعب ❊

[1] الخشبة conjecture pour الحجر, ms.

[١٦] وقد احتال قوم فى استخراج أجناس أخر العصر فعلوا مكان الحبل الذى يلفّ على العنب المرصوص ومكان القفاف التى تصيّر فيها الزيتون بعد أن نرّض ويدخل تحت الخيل آلة من خشب سمّوها غالاغرا يملؤونها ما ارادوا ويضعونها تحت الخشبة التى تسمّى الخيل ويحطّون الخشبة عليها فإنّه يجتمع لهم بذلك وسع لما يريدون أن يعصرونه وسهولة فى العمل وهذه الغالاغرا صفتها على ضربتين أحداهما تكون مركّبة وهى على هذا العمل يؤخذ خشبة صلبة فى طبيعتها ومكتنزة فنعمل منها مساطر يكون طولها بقدر الآلة التى نريد أن نعملها ويكون عرضها قدر شبرين وثخنها قدر ستّت أصابع ثمّ نفرض فى طرفى كلّ سطرة من الجهتين جميعًا بعد أن يدع منه ستّت أصابع فرضها فى أعلاه وننفذ فى ثخن المساطر قدر ربع ثخنها وكذلك أيضا نفعل فى أسفلها حتّى يكون الذى يبقى من ثخن الخشب قدر نصفه وقد ينبغى أن يكون الفرض الذى فى للمساطر متساويًا ليتراكب بعضها على بعض ثمّ نركّب المساطر حتّى يكون بتركّب جميعها شكل مربّع متساوى الأضلاع شبيه بالتابوت وقد ينبغى أن تكون فرج المساطر الداخلة واسعة لتسيل الرطوبات منها سريعًا امّا[1] فى هذه الآلة فليس يحتاج الخشب الذى على العنب

[1] ما. ms.

والألواح[1] المركّبة فوقه تجنّه[2] جدًّا لأنّ[3] إذا انعصر العنب فيقدر ما انعصر يرفع من المساطر لئلّا يعرض منها امتناع ۞

[١٧] فأمّا الغالاغرا الأخرى فإنّ أربع حيطانها تعمل متّصل بعضها ببعض بثلث عوارض فى كلّ واحد منها وقد ينبغى أن يصيّر فى هذه الأربع عوارض تصل فى جوانبها مفروتة[4] فرضا يبلغ إلى نصف ثخنها لأن يكون إذا ركّب بعضها إلى بعض يثبت الأربع حيطان مهندمة وقد ينبغى فى هذه الآلة أيضا أن تكون فرجها واسعة[5] ونضع[6] على لوحها الأعلى قرمية يكون لها ارتفاع على ما ذكرنا أوّلاً لئلّا يبالى[7] بعض العنب ويزول القرمية إلى أسفل الغالاغرا ۞

[١٨] والآن نخبّر بصناعة المعاصير التى تعصر بشدّة وقوّة ونذكر الفصل الذى تقدّم من ذكرنا فيها اللبين وهى من أقوى ما يكون وابقى[8] واوّلاً نخبر[9] الفصل الذى بينهما ثمّ نصف صفتها فنقول أنّ الخشبة التى تسمّى لخيل ليس هى إلّا محل ما يكبّسه ثقل والثقل الذى يكبّسه هو فى طرف متعال عن الأرض فإذا كبّس لا تزال الرطوبات تسيل[10] إلى أن يقعد الثقيل على الأرض فامّا هذه الآلات[11] التى يزيل صفتها فانّها قويّة

[1] والوح, ms. — [2] تجنّه, lecture douteuse pour محسه, ms. — [3] لانّا, ms. — [4] مفروض, ms. — [5] واسه, ms. — [6] ونوضع, ms. — [7] يقال, ms. — [8] وأبقى, conjecture pour واسعه ou واصه, ms. — [9] واولى نحر, ms. — [10] ليس, ms. — [11] الآلات, conjecture pour الالسن, ms.

جدًّا ولكن كبسها ليس بمتّصل أيضا شديد فلذلك يجب أن يتعاهد وقتًا بعد وقت بالتدوير والشدّ فأمّا فى الخشبة التى تسمّيها خيلُ فإنّك إذا علّقت الحجر وتركته كان هو وحده ينكبس ولم يحتج أن يتعاهد بالكبس مرّة بعد مرّة فهذا الاختلاف الذى يعرض بين الآلات ۞

[١٩] وقد تنفع هذه الآلات التى نخبّر الآن بصنعتها فى عصر الزيت وهى سهلة العمل يمكن أن تنقل أو تصيّر فى أىّ المواضع أردنا وليس يحتاج فيها إلى خشبة طويلة مستوية صلبة فى طبيعتها ولا إلى حجر ثقيل عظيم ولا حبال قوية ولا ينالنا فيها[1] امتناع لصلابة الحبال ولكنها سليمة من هذا كلّه تكبّس كبسًا شديدًا وتخرج الرطوبات باستقصاء وصنعتها هى هذه التى[2] نحن ذاكروها ۞ نستعمل خشبة مربّعة طولها ستّة أشبار وعرضها ليس بأقلّ من قدمين وثخنها ليس بأقلّ من قدم واحد ولتكن هذه الخشبة صلبة فى جنسها لا تكون شديدة اللين ولا هشيمة[3] لكنها تكون متوسّطة ولنسمّيها مائدة فيضع المائدة معترضة ونحفر فى طرفيها على بعد متقارب ثقبين[4] عميقين فى داخلها مستديرين ونصيّر لكلّ ثقب ضبّتين من خشب نافذتين فى عمق المائدة ولتكن لطرفيها[5]

[1] فيه, ms. — [2] الذى, ms. — [3] هشية, ms. — [4] بقسمين, ms. — [5] طرفيها, ms.

قسىّ تلتقى فيكون منها دائرة صغيرة أصغر من الدوائر المحفورة ولتكن هذه الضباب مورّبة للحفر لتكون إذا ركّبت ثبتت فلا تنقطع بتّة ثمّ نأخذ عودين صلبين مستويين مربّعين على مسطرة يكون ثخنهما وعرضهما متساويين ولندع من أحد رأسها بعدًا مقتدرًا مربّعًا ونأخذ باقى[1] العودين ونديره بالنهى ونرسم عليه لولبًا متساوى الثخن ونصيّر فى طرف خشب اللولب الذى تركناه مربّعا فلكة مثقوبة أربع ثقب ونصيّر فى هذه الثقب أربعة أوتاد وباقى التربيع يحيط به دائرة بعود غليظة تكون داخلة عن طرفه قدر عمق الحفر المستدير الذى حفرناه فى المائدة وليكن قطر[2] هذه الدائرة نصف قطر دائرة قاعدة اللولب فإذا فعلنا هذا ركّبنا طرف اللولب الذى فيه هذه الدائرة المفروضة فى الحفر المستدير الذى فى المائدة ثمّ رفعنا الضباب التى عملناها حتّى يداخل الدائرة المفروضة فثبتت عليها فلا يدع للولب مخرج وكذلك أيضا نفعل للولب الذى فى الرأس الآخر من المائدة ثمّ نأخذ خشبة مربّعة طويلة يكون طولها قدر الخشبة السفلانيّة التى اللولب مركّبة فيها وليكن فى هذه الخشبة دائرتان نافذتان فى عمق الخشبة تخرجان إلى الجهة الأخرى

[1] Après ونأخذ le ms. ajoute le mot زوايا.
[2] قطرة, ms.

مناسبتان[1] بحفرى الدائرتين اللتين طرفا[2] اللولبين فيهما وليكن فى هاتين الدائرتين حفر لولبىّ فى داخلها ليكون الدائرتان[3] أنثاوين اللولبين حتّى يكون إذا دوّر اللولبان ينحطّ الخشبة وكذا أيضا اذا دوّر فى الجهة الأخرى يرتفع الخشبة فامّا كيف نعمل حفر اللولب الأنثى فإنّا سنخبّر به فيما بعد وقد ينبغى أن يكون طول هذه الخشبة وثخنها كما قلنا على قدر المائدة وثخنها فأمّا عرضها فينبغى أن يكون أقلّ من عرض تلك بربع عرضها ثمّ نصيّر لهذه المائدة رجلا مربّعة على زوايا قائمة يكون أسفلها كهيئة الدرج ويكون طولها أكثر من عرض المائدة بشىء يسير ليقوم عليها جميع الآلة قياما جيّدا وينبغى أن يفرض نصف القائمة فرضًا مقتدرًا ويفرض نصف المائدة بقدر ذلك الفرض الذى[4] فى القائمة ويركّب أحد الفرضين على الآخر حتّى يثبت ثباتًا جيّدًا ثمّ نصيّر على المائدة بين اللولبين أربعة حيطان متّصلة من ألواح رقاق يكون ثخنها أقلّ من أصبع ويكون طول المربّعة وعرضها التى تكون بين هذه الألواح بالقدر الذى إذا صيّرت فى وسطها الغالاغرا يكون بينهما وسع يحيط[5] بالغالاغر فتسيل فيه الرطوبات وينبغى أن تحفر فى وسط هذه المائدة حفرًا يسع

[1] مسامسان, ms. — [2] طرفها, ms. — [3] الدايرتين, ms. — [4] التى, ms. — [5] يحوط, ms.

سطح الغالاغرا الذى يماسّ المائدة أى تدخل فيه ونركّب الغالاغرا فى هذا الحفر ثمّ نصيّر فى اعلاها لوحًا ثخينًا يملأها ونركّب عليه قرمية أصغر من اللوح طولاً وعرضًا يكون ثخنها يملأ الغالاغرا ثمّ ندير اللولبين بالأوتاد التى فى الفلك حتّى ينحطّ الخشبة التى فيها الحفر اللولبىّ الأنثى على القرمية فيكبّس القرمية ويكبّس اللوح الذى فى داخل الغالاغرا فيعصر[1] الجسم الذى فى[2] الغالاغرا وتسيل الرطوبات ثمّ يدار اللولب أيضًا فى الجهة الأخرى فيرتفع الخشبة ويقلع القرمية ويبدل الجسم المعصور حتّى يخرج كلّ شىء فيه من الرطوبات ۞ [٢٠] وقد يكون آلة أخرى بلولب واحد وذلك بأن نعمل على المائدة قائمتين تحمل الخشبة المعترضة التى فيها الحفر اللولبىّ الأنثى وليكن الحفر اللولبىّ فى وسط هذه الخشبة ثمّ يدخل اللولب فى هذا الحفر ويدوّر بالأوتاد التى فى الفلكة حتّى ينحطّ اللولب على اللوح المركّب على الغالاغرا فيكبّسه فتسيل الرطوبات وقد ينبغى أن يتعاهد بالشدّ مرّة بعد مرّة حتّى لا يبقى فى الجسم المعصور من الرطوبات شىء ۞ وقد يكون من المعاصر أجناس غير هذه كثيرة لم نر أن نكتبها لأنّها قد كثر استعمالها عند العامّة وخلقت عندهم وهى دون هذه التى ذكرنا فى الفعل ۞

[1] فيعرص, ms. — [2] فى, le ms. omet ce mot.

[٢١] فأمّا اللولب الأنثى فانّه يعمل على هذه الجهة يؤخذ خشبة صلبة يكون طولها أكثر من مثلى اللولب الأنثى وثخنه متساو للولب الأنثى ونعمل فى الجهة الواحدة فى نصف طول الخشبة لولبًا على قدر مناصفته وليكن عمق الدوائر اللولبيّة فيه كعمق دوائر اللولب الذى نريد أن نديره فى هذا اللولب الأنثى ونخرط من الجهة الأخرى قدر ثخن الدوائر اللولبيّة حتّى نصيّره كوتد متساوى الثخن ونخرج قطرى قاعدتى الخشبة ونقسم كلّ واحد منهما ثلثة أقسام متساوية ونخرج على علامة واحدة من علامتى القسمة خطّا قائمًا على القطر ثمّ نخرج من طرفى الخطّ القائم على ذلك القطر فى طول الوتد كلّه خطّين قائمين وذلك يتهيّأ لنا إذا وضعنا هذا الوتد على لوح قآئم وخطّطناه بالكلبتين[1] إلى أن ينال الحفر اللولبىّ ثمّ نلطف[2] بمنشار دقيق حتّى ننشر ما يلى الحفر اللولبىّ ثمّ نفصل هذا الثلث المرسوم من الوتد ونفرض فى الجزوين الباقيين فى وسطهما حفرًا ميزابيًّا فى كلّ الطول يكون قدر نصف الثخن الباقى ثمّ نأخذ قضيبًا من حديد فنديره على الدوائر اللولبيّة ثمّ نركّبه على الوتد الذى الحفر فيه ثمّ نصيّر طرفه فى الدوائر اللولبيّة بعد أن نشدّ القطعتين شدًّا جيّدًا حتّى يلزم احداهما[3] إلى الأخرى ولا يكون بينهما خلل بتّة ثمّ نتّخذ

[1] بالكابس, ms. — [2] دملطف, ms. — [3] يلسام احدهما, ms.

أسفينا صغيرا فندخله فى الحفر الميزابىّ ونضربه إلى أنّ يخرج القضيب الحديد فيقع بين القطعتين[1] فإذا فعلنا ذلك ركّبنا اللولب فى خشبة محفورة فيها ثقب مستقصى الاستوآء بقدر ثخن اللولب ثمّ نثقب فى جوانب هذا الحفر الميزابىّ ثقبًا صغارًا تنفذ إليه ونركّب فيها أوتادًا صغارًا مآئلة مستديرة، وننفذها إلى ان تقع فى دوائر اللولب ثمّ نأخذ الخشبة التى نريد ان نحفر فيها اللولب الأنثى فنثقب فيها ثقبًا بقدر وتد اللولب ونصل بين هذه الخشبة التى ركّبنا فيها اللولب بقائمتين نشدّهما شدًّا مستقصًا ثمّ نركّب الوتد الذى فيه الأسفين فى الحفر الذى فى الخشبة التى[2] نريد أن نحفر فيها اللولب الأنثى ونثقب[3] فى طرف اللولب الأعلى ثقبًا نصيّر فيه أوتادًا فنديرها إلى أن تنفذ فى الخشبة فلا نزال نديرها[4] صاعدًا ونازلاً ونتعاهد هذا الأسفين بالضرب مرّة بعد مرّة حتّى يحفر اللولب الأنثى الحفر الذى نريد فنكون قد حفرنا اللولب الأنثى ۞

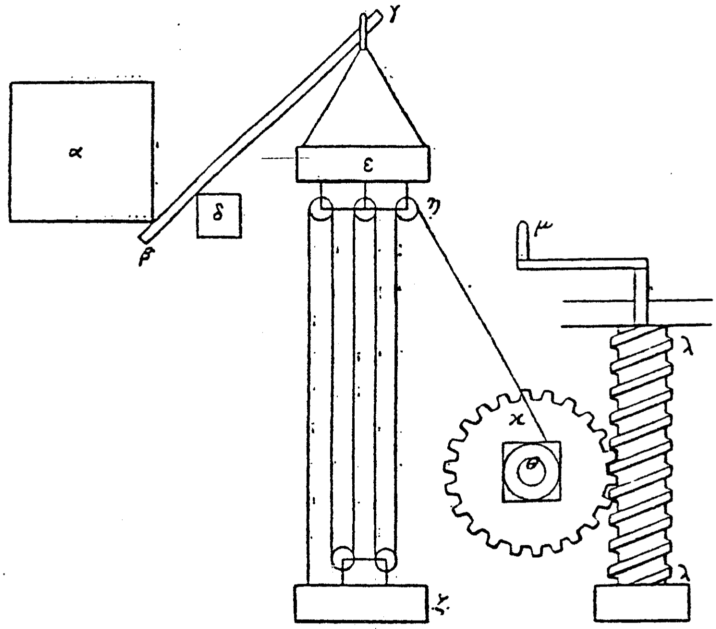
[1] التقطعتين au lieu de قضيبتين, ms. — [2] الذى, ms. — [3] نعمب, ms. — [4] Le manuscrit porte فلا نابرال نريدها.

Livre II (*suite*).

29. Dans ce qui précède, nous avons mû le poids donné à l'aide de plusieurs treuils, de plusieurs leviers composés, de plusieurs poulies. Mais nous pouvons aussi mouvoir le poids donné par une combinaison de ces diverses machines, en les montant les unes à la suite des autres, excepté le coin, qui, seul, est mû par des percussions. Démontrons maintenant que les quatre machines simples, combinées entre elles, peuvent aussi mouvoir le poids donné. Soit le poids donné au point α; un levier se trouve en $\beta\gamma$; le point β marque l'extrémité du levier engagée sous le poids; l'extrémité γ est relevée. La pierre sur laquelle se meut le levier est au point δ. Soit $\gamma\delta$ égal à cinq fois $\delta\beta$. La force appliquée en γ devra être de 200 talents pour faire équilibre au poids α. Lions à l'extrémité γ du levier une moufle que nous désignons par ε; l'autre partie de la moufle, parallèle à la première et établie sur un support fixe, se trouve en ζ. La traction sur cette machine s'exerce au point η; si nous donnons 5 poulies à cette moufle, la force de traction devra être de 40 talents. Établissons encore un treuil $\theta\varkappa$, dont l'arbre est en θ et le tambour en $\varkappa$. La corde qui glisse sur les poulies de la moufle vient s'enrouler autour de l'arbre du treuil, et le tambour porte des dents perpendiculaires à son

plan de rotation; avec ces dents nous faisons engrener une vis λ munie d'une manivelle marquée μ, par laquelle on la tourne. Les dents du tambour entrent dans la rainure de la vis. Alors, quand nous

Fig. 40.

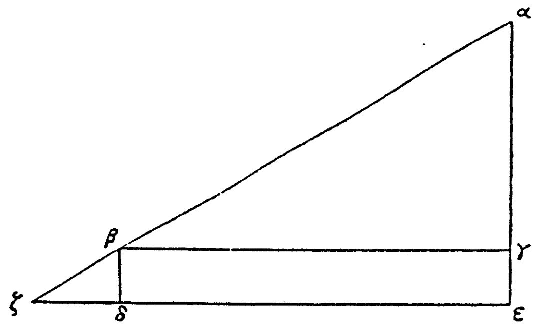


tournons la vis, son mouvement de rotation se transmet au tambour x; il se transmet en même temps à l'arbre θ; la corde de la moufle s'enroule sur cet arbre; l'extrémité γ du levier est abaissée, et le poids s'élève. Soit le diamètre du tambour x égal à quatre fois le diamètre de l'arbre θ; la puissance appliquée en x sera de 10 talents. Enfin donnons à la manivelle μ une longueur double du diamètre du cylindre de la vis. La puissance appliquée en μ, qui fera équilibre à 1,000 talents, sera de 5 talents. Si donc nous augmentons d'un excès quelconque la longueur de ce bras de manivelle, la puissance qui est de 5 talents l'emportera sur le poids. Le treuil et la vis sont montés tous deux dans un châssis solide en forme de coffre; les extrémités de l'arbre reposent dans les deux parois verticales de ce support, et l'extrémité inférieure de la vis tourne dans le bas du support fixe, tandis que son extrémité supérieure traverse le couvercle du coffre; cette extrémité est équarrie, et l'on y fixe un tambour dans lequel s'adapte le bras de bois. Ce châssis en forme de coffre doit être installé sur un sol stable, sur de bons fondements d'une solidité parfaite. Alors, lorsqu'on tourne la manivelle, le poids s'élève.

30. Pour le coin et la vis opérons comme il suit. L'angle du coin que nous voulons construire est l'angle $\alpha\beta\gamma$, qui est aigu. Je dis que les coins dont l'angle est plus aigu meuvent le poids avec une percussion plus faible, c'est-à-dire avec une moindre puissance. Mais il arrive, s'ils atteignent une acuité excessive, qu'on ne peut plus les employer. Menons la ligne $\beta\delta$ perpendiculaire sur $\beta\gamma$, en vue de renforcer le coin, puis une ligne $\delta\varepsilon$ parallèle à $\beta\gamma$, et du point ε élevons perpendiculairement la ligne $\varepsilon\gamma$. Construisons un coin d'après le tracé ainsi déterminé;

$\alpha\beta\delta\varepsilon$ est ce coin. Nous l'introduisons un peu sous le fardeau par son arête $\beta\delta$, son sommet étant $\alpha\varepsilon$. Il est évident qu'en frappant le coin $\alpha\beta\gamma$, nous enfonçons $\alpha\beta\delta\varepsilon$. Pour le prouver, prolongeons les deux lignes

Fig. 41.



$\alpha\beta$, $\delta\varepsilon$ jusqu'à ζ; elles forment un angle égal à l'angle $\alpha\beta\gamma$; $\alpha\zeta\varepsilon$ est donc aussi un coin que la même puissance peut mouvoir. Imaginons que son extrémité comprise entre les points $\beta\zeta\delta$ soit engagée sous le fardeau : ce coin se trouvera préparé.

Telle est l'explication du coin. Il n'est pas d'ailleurs absolument nécessaire que nous donnions aux coins des angles aigus; nous avons en effet démontré que toute percussion, si faible soit-elle, est capable de mouvoir tout coin, quand elle est fréquemment répétée, et que l'emploi des angles aigus revient à celui des faibles percussions. On n'est donc jamais obligé de faire usage de coins à angles très aigus.

31. Il est possible d'appliquer à la vis la même

construction. Il faut, pour cela, que nous menions dans l'angle de l'hélice figuré par $\alpha\beta\gamma$ une perpendiculaire $\alpha\gamma$ sur $\beta\gamma$, égale à l'épaisseur du doigt de bois que nous nous proposons d'introduire dans la rainure hélicoïdale; nous construirons ensuite un cylindre dont la circonférence aura la longueur de la ligne $\varepsilon\zeta$; nous tracerons l'hélice à l'aide de ces lignes, avec un pas égal à $\alpha\varepsilon$; enfin nous creuserons la rainure hélicoïdale en lui donnant la hauteur $\alpha\gamma$. Cette construction nous permettra d'introduire le doigt de bois dans la rainure hélicoïdale.

32. Après avoir démontré, pour chacune de ces machines, que nous pouvons mouvoir un poids donné avec une force donnée, nous devons ajouter que, s'il était possible que tous les organes fussent parfaitement rabotés et lisses, taillés dans une matière homogène et avec des dimensions parfaitement exactes, il serait aussi possible d'employer ces machines aux travaux dont nous avons parlé, en conservant les rapports indiqués. Mais comme les hommes ne peuvent pas polir et égaliser une pièce avec une absolue perfection, on est forcé d'ajouter un excès de puissance destiné à vaincre les frottements des organes; on produit cet excès en prenant des rapports un peu supérieurs à ceux que nous avons indiqués; on évite ainsi que ces imperfections ne fassent obstacle au mouvement et que l'expérience ne démente ce qui a été démontré.

IV. — 33. Il faut nécessairement que ceux qui veulent avoir la connaissance de l'art mécanique sachent quelles causes agissent dans chaque mouvement: c'est ce que nous avons déjà exposé, en traitant de l'élévation des corps lourds, par les méthodes des sciences physiques. Nous avons rendu compte de tout ce qui survient dans le fonctionnement des machines que nous avons citées; car il importe que rien ne soit présenté sans preuve à ceux qui étudient, et que rien ne soit pour eux l'objet d'un doute; mais que, au contraire, tout problème qui se posera à eux trouve dans ce que nous disons sa solution exacte. Nous rappellerons donc divers principes déjà enseignés par les anciens et qui rentrent dans notre sujet. Tout d'abord nous posons que nulle proposition ne peut contredire une autre proposition antérieurement connue. Nos recherches partiront de ce qui est évident et de ce qui ne peut avoir que des causes évidentes. C'est pourquoi notre étonnement serait grand si nous voyions nos résultats contredire nos premices et les résultats déjà acquis par nous. Il est manifeste que celui qui veut avancer profondément dans la découverte des causes doit partir d'un ou de plusieurs principes physiques, et rapporter à ces principes toute question qui se présente à lui; les questions, en effet, sont complètement élucidées lorsque leur cause est mise au jour et qu'elle est justement l'une des vérités connues auparavant. Prenons pour principes que le léger est facilement mû et que le lourd l'est difficilement; et qu'un même poids est mû plus aisément par une plus grande que par une moindre puissance, c'est en effet ce que nous voyons constamment; aussi ces deux propositions sont-elles évidentes. Il faut d'ailleurs savoir que tout ce que nous recherchons contient quelque chose d'obscur et de caché, parce qu'on ne pose pas de problème où la cause soit claire et manifeste. On doit savoir aussi que le principe de toutes les questions qui se soulèvent en mécanique et de l'obscurité qui enveloppe la recherche des causes dans cette science, c'est que nous ne pouvons pas voir les corps graves partagés entre les forces qui les meuvent. Cette répartition devient pourtant sensible dans beaucoup de circonstances, et en particulier lorsqu'on cherche à mouvoir ces corps; ainsi le corps qu'un homme seul ne meut pas ou ne meut qu'avec difficulté, est aisément mû par un groupe d'hommes. Si le poids de l'objet mû pesait tout entier sur chaque homme, il n'y aurait pas de différence à ce qu'il fût mû par un seul homme ou par un groupe. Mais nous voyons que le mouvement est plus aisé pour le groupe; donc puisque, dans un groupe, chacun supporte quelque chose de la totalité du fardeau et que le mouvement est rendu plus facile pour tous, il est évident que le poids se partage entre ceux qui le meuvent.

Question 1: Pourquoi le chariot à deux roues porte-t-il les fardeaux plus aisément que le chariot à quatre roues? — Parce que, dans le chariot à deux roues, le poids peut se partager en deux portions égales des deux côtés de l'axe, au lieu que, dans le chariot à quatre roues, il ne le peut pas; le poids ne se partage pas des deux côtés en deux parties égales; il porte tout entier devant les deux roues de derrière, et derrière les deux roues de devant; mais cette inégalité dans la répartition du poids fait perdre à la roue sa vitesse; car une roue ne tourne d'un mouvement rapide que parce que le poids se répartit également entre toutes ses portions.

Question 2: Pourquoi les bêtes de somme ont-elles de la peine à tirer les chariots dans le sable? — Parce que plusieurs des rayons des roues sont enfoncés dans le sable, et que, quand on tire les roues, le sable qui est devant elles les cale. Une autre difficulté vient de ce que les pieds des bêtes pénètrent dans le sable, et qu'elles ont peine à les lever. En terrain ferme, cela n'arrive pas.

Question 3: Pourquoi un même poids ajouté sur une balance en équilibre ne produit-il pas toujours la même inclinaison, et pourquoi produit-il une inclinaison plus grande quand la balance est moins chargée? Si, par exemple, il y a dans les deux plateaux 3 mines et que nous ajoutions dans l'un d'eux une demi-mine, ce plateau penche fortement. Si, dans chaque plateau, il y a 10 mines, et que nous placions dans l'un deux une demi-mine en plus, l'inclinaison du fléau est dans ce cas très légère. — Parce que, dans ces divers cas, le poids est mû par des puissances différentes; les 3 mines sont mues par un poids qui leur est égal, plus $\frac{1}{6}$ de ce poids, tandis que les 10 mines sont mues par un poids égal à elles-mêmes, plus la moitié d'un dixième de ce poids;

car la demi-mine est le $\frac{1}{20}$ de 10 mines et le $\frac{1}{6}$ de 3; or le poids que meut la plus grande puissance a un mouvement plus facile.

Question 4 : Pourquoi les grands poids tombent-ils à terre dans un temps moindre que les poids plus légers? — Parce que, de même que le mouvement de ces corps est plus facile quand ils sont mus extérieurement par une puissance plus grande, de même, s'ils sont sollicités intérieurement par une plus grande puissance, ils se meuvent plus aisément. Or la puissance et l'attraction, dans les mouvements physiques, se communiquent en plus grande quantité aux poids lourds qu'aux poids légers.

Question 5 : Pourquoi un même poids, lorsqu'il est plat, tombe-t-il à terre plus lentement que lorsqu'il est sphérique? — Ce n'est pas, comme plusieurs le pensent, parce que le corps étendu oppose par sa surface une grande résistance à l'air, au lieu que le corps sphérique, ayant toutes ses parties rentrées les unes dans les autres, n'oppose à l'air qu'une faible résistance; c'est parce que le poids qui tombe à plat est composé de parties nombreuses dont chacune reçoit de la puissance en proportion de son étendue; donc, dans le mouvement de ce corps, chacune de ses parties possède une part de la puissance qui le meut, correspondant à son propre poids, et la puissance n'agit pas sur lui d'une manière homogène.

Question 6 : Pourquoi la flèche lancée du milieu de la corde parcourt-elle une longue distance? — Parce que la tension est alors plus grande : d'où la force d'impulsion plus grande aussi. C'est pourquoi on fait les arcs de corne, pour qu'il soit possible de les ployer; quand ils sont fortement ployés, la corde portant la flèche est très tendue, et elle acquiert une puissance considérable qui jette la flèche à une grande distance. Au contraire, les arcs durs, dont les extrémités ne se prêtent pas à la flexion, envoient la flèche à une distance moindre.

Question 7 : Pourquoi rompt-on plus vite un bâton quand on l'appuie sur le genou en son milieu? — Parce que, lorsqu'on place le genou en deçà de la moitié, l'une des deux portions du bâton étant plus longue que l'autre, il constitue une sorte de fléau partagé en deux segments inégaux, et la main la plus éloignée du genou l'emporte sur la plus rapprochée; les mains ne peuvent résister l'une à l'autre que si elles se trouvent ensemble aux extrémités du bâton à des distances égales du point d'appui.

Question 8 : Pourquoi un bâton est-il d'autant plus faible qu'il est plus long et d'autant plus flexible qu'il s'amincit davantage à l'une de ses extrémités? — Parce que le bâton long subit l'action de forces multiples réparties entre ses différents segments, et dont la somme l'emporte sur la résistance de la partie fixe par laquelle il est soutenu. Il se produit ici la même chose que dans le cas d'un bâton court au bout duquel on suspend quelque chose qui tend à l'abaisser. L'accroissement de longueur du bâton joue le même rôle que ce poids qui appuie sur le bâton court. Le bâton long supporte de lui-même, du fait de sa longueur, la même action que le bâton court au bout duquel on pend un corps lourd.

Question 9 : Pourquoi arrache-t-on les dents avec des pinces et non avec la main ? — Parce que nous ne pouvons pas saisir la dent avec la main tout entière, mais seulement avec deux doigts; et de même qu'il nous est plus difficile de soulever un poids avec deux doigts qu'avec toute la main, de même aussi il est plus difficile de saisir et d'extraire quelque chose avec deux doigts qu'avec toute la main; dans les deux cas, la puissançe est la même; mais la division des bras de la pince autour du clou qui les relie fait que la main peut vaincre la résistance de la dent, car la main s'appuie sur le plus grand segment du levier que forment ces bras; l'écartement des pinces facilite le mouvement de la dent; en effet, la racine de la dent est l'objet sur lequel s'exerce l'action du levier, et si l'écartement des pinces est plus grand que la racine de la dent sur laquelle le levier se meut, d'une quantité suffisante, la main l'emporte sur la résistance de la racine. Il n'y a pas de différence entre mouvoir un poids et vaincre une force équivalente à ce poids; quand nous contractons la main après l'avoir ouverte , il en résulte un sentiment d'effort qui n'est pas dû au poids de la main, mais à la force avec laquelle les muscles sont liés les uns aux autres.

Question 10 : Pourquoi, quand on fait tourner des fléaux de balance horizontaux, qu'ils soient lourds ou légers, se meuvent-ils plus vite que lorsqu'on les incline? — Parce que, lorsqu'on les fait tourner, leur poids étant égal de tous les côtés, ils se meuvent autour d'un centre qui est leur point de suspension. Au contraire, quand nous les inclinons, nous élevons un poids, parce que l'inclinaison de l'un des plateaux élève l'autre; il y a donc là un mouvement qui n'est pas naturel, je veux dire le mouvement ascendant du poids. Le mouvement naturel est aisé: c'est celui qui tire en bas le poids. Il est plus aisé d'abaisser un poids que de le tirer en haut.

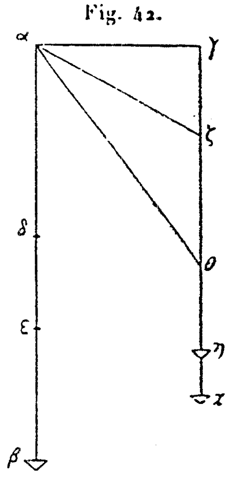
Question 11 : Pourquoi le mouvement des poids suspendus est-il facile? — Parce que la force du poids est déjà presque toute occupée par la force qui le maintient suspendu, et comme il ne lui reste plus une grande puissance, il devient facile de le pousser. C'est ce qui arrive aussi dans la balance; son fléau étant suspendu, quand nous le tirons, il se meut facilement.

Question 12 : Pourquoi les grosses pierres qui sont sur le bord de la mer sont-elles pour la plupar trondes? — Parce qu'elles avaient d'abord des angles aigus, et que le mouvement de la mer les ayant heurtées les unes contre les autres, leurs angles se sont brisés à cause de leur faiblesse.

Question 13 : Pourquoi, lorsque nous voulons mouvoir un poids suspendu en écartant de lui la main et la plaçant sur le support fixe auquel il est suspendu ou près de ce support, trouvons-nous le mouvement difficile? — En effet, si nous cherchons à mouvoir le poids à partir du point fixe auquel il est suspendu, nous trouvons que c'est difficile et même tout à fait impossible. Si la main s'éloigne du point fixe, elle meut le poids, mais avec peine, le mouvement étant toujours près de s'arrêter complètement. Mais plus la main qui donne le mouvement s'écarte du point fixe, plus le mouvement devient facile.

Supposons, par exemple, que le support stable auquel le poids est suspendu soit au point α. La corde est la ligne $\alpha\beta$. Menons la ligne $\alpha\gamma$, perpendiculaire sur la ligne $\alpha\beta$, et marquons sur la ligne $\alpha\beta$ deux points quelconques que nous désignons par les lettres δ, ε. Tirons alors la corde à partir du point δ, et brisons-la en sorte qu'elle figure la ligne $\alpha\zeta\eta$, le poids venant en η. Je dis que η est plus élevé que β. Pour le démontrer, prolongeons la ligne $\eta\zeta$ jusqu'en γ; puisque $\alpha\zeta\eta$ est plus grand que $\gamma\zeta\eta$, il est clair que le point η est plus haut que le point β. Supposons encore que la corde soit tendue à partir d'un point ε que l'on amène sur la ligne $\gamma\eta$, le poids étant dans la même situation, c'est-à-dire se trouvant au bout de la longueur $\alpha\beta$. Comme $\alpha\varepsilon$ est plus grand que $\alpha\zeta$, ε viendra plus bas que ζ, en θ par exemple. Joi-

Fig. 42.



gnons $\alpha\theta$; $\alpha\theta$ sera un segment de $\alpha\theta\eta$. Je dis que le poids suspendu vient plus bas que η. En effet, puisque la somme de $\alpha\zeta$ et de $\zeta\theta$ est plus grande que $\alpha\theta$ et que la ligne $\eta\theta$ est commune, $\alpha\zeta+\zeta\eta$, c'est-à-dire $\alpha\beta$, est plus grand que $\alpha\theta+\theta\eta$; soit la somme $\alpha\theta+\theta\varkappa$ égale à $\alpha\beta$; le poids viendra en $\varkappa$. Or $\varkappa$ est plus bas que η; donc, quand nous tirons le poids à partir du point ε, il vient en $\varkappa$, et quand nous le tirons à partir du point δ, il vient en η. Ainsi on élève davantage le poids en partant du point δ qu'en partant du point ε; et pour porter le poids plus haut, il faut une plus grande force que pour le porter moins haut, parce que, pour le porter dans un lieu plus élevé, il faut un temps plus long.

Question 14 : Pourquoi les radeaux formés d'un seul plancher vont-ils vite sur l'eau? — Parce qu'ils n'appuient sur l'eau que par une très petite portion d'eux-mêmes; donc l'eau qui fait obstacle à leur mouvement est aussi en très petite quantité, et le vent vainc facilement la résistance que l'eau oppose à leur mouvement.

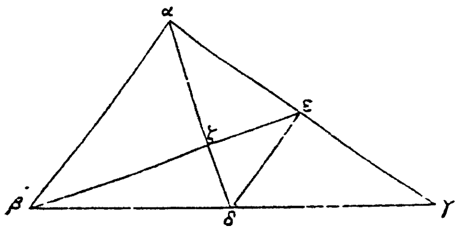
Question 15 : Pourquoi le gouvernail qui est très petit peut-il guider de grandes barques? — Parce que, lorsqu'un homme étendu à terre est tiré par un autre dans quelque direction que ce soit, son corps se place dans cette direction; ainsi le gouvernail, prenant son point d'appui sur l'eau, fait tourner toute la barque.

Question 16 : Pourquoi les flèches se plantent-elles dans les cottes de maille et les cuirasses, et ne se plantent-elles pas dans des voiles flottantes? — Parce que, quand l'objet qui porte le coup atteint un corps qui lui cède et qui ne fait pas obstacle à sa marche, il ne produit pas d'effet intense; sa vitesse et sa puissance, si grandes soient-elles, se dispersent au contact d'une substance qui s'écarte devant lui et qui ne lui résiste point. Au contraire, lorsqu'un corps dur en rencontre un autre dur comme lui et le heurte, celui-ci ne lui cède point, mais il lui résiste; alors le corps choquant ne perd aucune portion de sa force, et le coup qu'il donne est très rude. C'est pour la même cause que ceux qui se jettent de très haut dans l'eau ne se font pas de mal.

Question 17 : Pourquoi les liquides, naturellement pesants, peuvent-ils être déplacés vite et avec facilité? Nous voyons, par exemple, un homme seul mouvoir en une fois 1,000 *qist* d'eau. — Parce que l'eau est composée de particules qui se séparent sans peine; elle n'est pas, comme la pierre et le bois, compacte et difficile à diviser; au contraire, ses parties se séparent aisément; c'est pourquoi elle n'a pas de consistance par elle-même, mais elle coule vers le bas; il en résulte que si nous en déplaçons une faible quantité, toute la masse s'écoule par l'endroit d'où cette portion est tombée.

V. — 35. Nous devons encore démontrer des propositions qui sont utiles pour l'étude de la traction et de la pression exercées sur les corps, et qui sont différentes de celles que nous avons rappelées dans le livre précédent; ce sont d'autres résultats postérieurs à ceux-là; Archimède et d'autres auteurs les ont exposées déjà. Tout d'abord nous dirons comment on trouve le centre de gravité d'un triangle qui a partout même poids et même épaisseur. Soit le triangle $\alpha\beta\gamma$ le triangle donné. Divisons la ligne $\beta\gamma$ par moitié au point δ, et joignons les points $\alpha\delta$. Si nous faisons tenir le triangle sur la ligne $\alpha\delta$, il ne penchera ni d'un côté ni de l'autre, parce que les deux triangles $\alpha\beta\delta$, $\alpha\delta\gamma$ sont égaux.

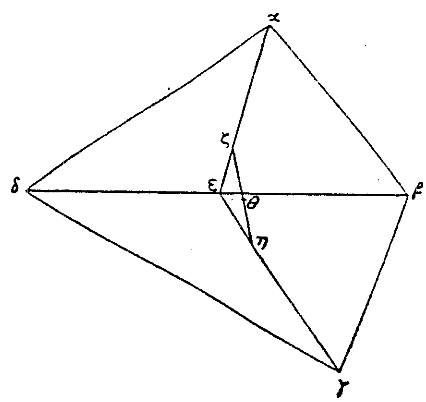
Fig. 43.



Divisons aussi par moitié la ligne $\alpha\gamma$ au point ε et joignons les points $\beta\varepsilon$. Si nous faisons tenir le triangle sur la ligne $\beta\varepsilon$, il ne penchera non plus ni d'un côté ni de l'autre. Ainsi, le triangle étant posé sur chacune des lignes $\alpha\delta$, $\beta\varepsilon$, ses parties se font équilibre, et il n'incline ni d'un côté ni de l'autre. Le point où se coupent ces lignes n'est autre que le centre de gravité de ce triangle. C'est le point ζ. Il faut imaginer que le point ζ est au milieu de l'épaisseur du triangle. Il est évident que, si nous joignons les deux points $\alpha\delta$ et que nous divisions la ligne $\alpha\delta$ au point ζ en deux segments dont l'un $\alpha\zeta$ soit le double de l'autre $\zeta\delta$, le point ζ est le centre de gravité; en effet, si nous joignons les points δ, ε, les deux lignes $\alpha\gamma$, $\beta\gamma$ ayant été divisées à ces deux points, la ligne $\alpha\beta$ sera parallèle à la ligne $\delta\varepsilon$. On aura alors : $\frac{\alpha\gamma}{\gamma\varepsilon}=\frac{\alpha\beta}{\delta\varepsilon}$. Or $\alpha\gamma$ est le double de $\gamma\varepsilon$; donc la ligne $\alpha\beta$ est double de $\delta\varepsilon$. On a aussi $\frac{\alpha\beta}{\varepsilon\delta}=\frac{\alpha\zeta}{\delta\zeta}$; donc $\alpha\zeta$ est le double de $\zeta\delta$; cela à cause de l'égalité des angles des triangles $\alpha\beta\zeta$, $\delta\zeta\varepsilon$.

36. Nous nous proposons de faire la même recherche pour le quadrilatère. Soit $\alpha\beta\gamma\delta$ le quadrilatère donné. Joignons $\beta\delta$ et partageons-le en deux

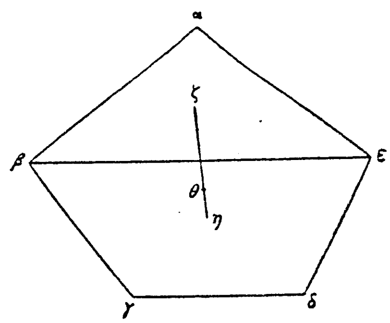
Fig. 44.



moitiés au point ε; puis tirons les lignes $\alpha\varepsilon$, $\varepsilon\gamma$ et divisons-les aux points ζ et η de telle façon que $\alpha\zeta$ soit double de $\zeta\varepsilon$ et $\gamma\eta$ double de $\eta\varepsilon$. Le centre de gravité du triangle $\alpha\beta\delta$ sera au point ζ, et le centre de gravité du triange $\beta\delta\gamma$, au point η. Nous ne trouvons pas de difficulté à nous représenter que tout le poids du triangle $\alpha\beta\delta$ est concentré au point ζ, et que tout le poids du triangle $\beta\gamma\delta$ l'est au point η. La ligne $\zeta\eta$ devient une sorte de fléau de balance, aux extrémités duquel sont appliqués ces deux poids; et si nous divisons la ligne $\zeta\eta$ au point θ de telle sorte que $\theta\eta$ soit à $\zeta\theta$ comme le poids ζ, qui est celui du triangle $\alpha\beta\delta$, est au poids η, qui est celui du triangle $\beta\delta\gamma$, le point θ autour duquel ces poids se trouveront en équilibre sera le centre de gravité de ce quadrilatère.

37. Nous nous proposons de faire la même opération pour le pentagone $\alpha\beta\gamma\delta\varepsilon$. Joignons $\beta\varepsilon$, et con-

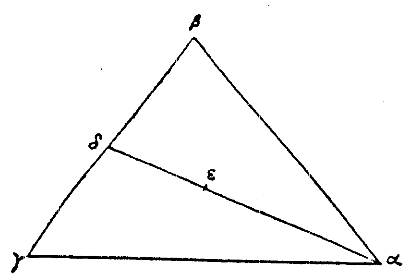
Fig. 45.



struisons le centre de gravité du triangle $\alpha\beta\varepsilon$: il tombe au point ζ; soit le centre de gravité du quadrilatère $\beta\gamma\delta\varepsilon$ au point η. Joignons les points $\zeta\eta$; et partageons la ligne $\zeta\eta$ en deux segments tels que $\eta\theta$ soit à $\theta\zeta$ comme le poids du triangle $\alpha\beta\varepsilon$ est au poids du quadrilatère $\beta\gamma\delta\varepsilon$: le point θ sera le centre de gravité de la figure $\alpha\beta\gamma\delta\varepsilon$. On doit imaginer qu'on ferait de même pour tout polygone.

38. Nous nous proposons, étant donnés un triangle $\alpha\beta\gamma$ ayant partout même poids et même épaisseur et des supports dans des situations identiques sous les points α, β, γ, de montrer comment on peut trouver la portion du poids du triangle $\alpha\beta\gamma$

Fig. 46.



qui pèse sur chaque support. Divisons la ligne $\beta\gamma$ par moitiés au point δ, et joignons les deux points α, δ, puis partageons la ligne $\alpha\delta$ en deux segments, au point ε, de telle sorte que le segment $\alpha\varepsilon$ soit double de $\varepsilon\delta$; le point ε sera le centre de gravité du triangle dont il faut que nous répartissions le poids total entre les supports. Si nous imaginons que la ligne $\alpha\delta$ se tienne horizontalement en équilibre lorsqu'elle est suspendue au point ε, le poids appliqué en δ sera double du poids appliqué en α, puisque la ligne $\alpha\varepsilon$ est double de $\varepsilon\delta$. Si, ensuite, nous imaginons que le poids appliqué en δ soit réparti entre les deux points β, γ, la ligne $\beta\gamma$ se tenant horizontalement en équilibre, en chacun des deux points β, γ sera appliquée la moitié du poids qui est en δ, puisque les deux lignes $\beta\delta$, $\delta\gamma$ sont égales. Or le poids qui est en δ est double de celui qui est en α[1]. Donc les poids appliqués aux points α, β, γ sont égaux, et les pieds supportent des poids égaux.

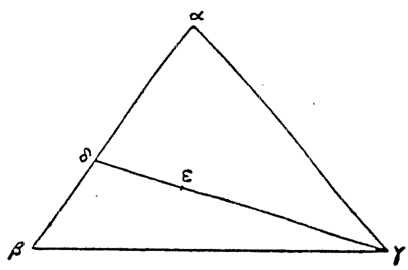
39. Soit encore un triangle $\alpha\beta\gamma$ ayant partout même poids et même épaisseur, et reposant sur des supports placés dans des situations identiques. Un poids est posé ou suspendu en un point quelconque de ce triangle, et nous nous proposons de chercher quelle portion de ce poids ε supporte chacun des pieds. Joignons $\varepsilon\alpha$ et prolongeons cette ligne jusqu'en δ; partageons le poids appliqué en ε en deux parties telles que si l'on suspend le triangle sur la ligne $\alpha\delta$, il se tienne horizontalement en équilibre. Le poids appliqué en δ sera au poids appliqué en α comme la ligne $\alpha\varepsilon$ est à $\varepsilon\delta$. Divisons alors le poids appliqué en δ, en telle proportion que si l'on suspend à ce point la ligne $\beta\gamma$, elle reste horizontalement en équilibre. Le poids γ sera au poids β comme $\beta\delta$ est à $\delta\gamma$. Or le poids qui est en δ est connu; on connaîtra donc les deux poids qui s'appliquent en β et en γ: le poids qui porte sur α

[1] *Double de celui qui est en α.* Nous ajoutons ces mots.

est d'ailleurs connu. Donc les poids qui pèsent sur les trois supports sont connus.

40. Nous nous proposons, étant donnés un triangle $\alpha\beta\gamma$ et des poids appliqués en ses sommets, de trouver dans l'intérieur du triangle un point tel que, lorsqu'on y suspend le triangle, il reste horizontalement en équilibre. Partageons la ligne $\alpha\beta$ au

Fig. 47.

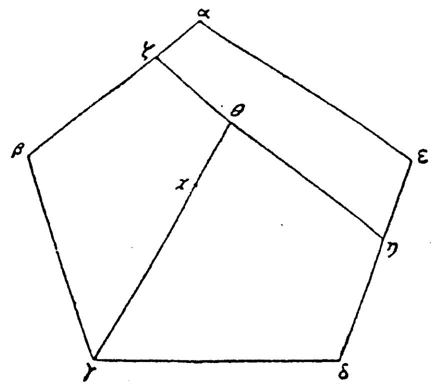


point δ de telle sorte que $\beta\delta$ soit à $\delta\alpha$ comme le poids appliqué en α est au poids appliqué en β. Le centre de gravité de l'ensemble des deux poids est au point δ. Menons la ligne $\delta\gamma$ et partageons-la au point ε de façon que le rapport de $\gamma\varepsilon$ à $\varepsilon\delta$ soit égal à celui du poids qui est en δ au poids qui est en γ. Le point ε sera le centre de gravité pour l'ensemble des poids, et ce sera le point de suspension cherché.

41. Répétons cette démonstration sur un polygone. Soit le polygone $\alpha\beta\gamma\delta\varepsilon$; supendons aux points α, β, γ, δ, ε des poids connus. Partageons la ligne $\alpha\beta$ au point ζ de façon que $\beta\zeta$ soit à $\zeta\alpha$ comme le poids α est au poids β. Le point ζ est le centre de

gravité des deux poids appliqués en α et en β. Partageons aussi la ligne $\delta\varepsilon$ au point η de façon que

Fig. 48.



$\delta\eta$ soit à $\eta\varepsilon$ comme le poids ε est au poids δ. Le point η est le centre de gravité pour l'ensemble des deux poids appliqués en ε et en δ. Joignons alors $\zeta\eta$, et divisons cette ligne au point θ en telle proportion que la somme de α et de β soit à la somme de δ et de ε comme $\eta\theta$ est à $\theta\zeta$. Le point θ sera donc le centre de gravité pour l'ensemble des quatre points $\alpha\beta\delta\varepsilon$. Joignons enfin les points $\gamma\theta$ et divisons la ligne $\gamma\theta$ au point x dans une proportion telle que γx soit à $x\theta$ comme la somme des poids $\alpha\beta\delta\varepsilon$ est au poids γ. Le point x sera le centre de gravité pour l'ensemble de tous les poids.

FIN DU SECOND LIVRE.

Livre III.

I. — 1. Dans le livre qui précède, nous avons parlé des cinq machines simples, et nous avons montré les causes qui font que les grands poids sont mus par de faibles puissances. Nous nous en sommes tenus, là-dessus, à ce qu'ont pensé la plupart de ceux qui nous ont précédé. Nous avons expliqué pourquoi l'action de la puissance est plus lente dans les plus grands appareils; et nous avons exposé diverses propositions dont font usage ceux qui enseignent la mécanique et les lois de la gravité, en donnant les développements qui suffisent aux commençants. Dans ce livre, nous décrirons des instruments qui servent à faciliter les opérations précédentes et qui aident à mouvoir les corps lourds. Nous décrirons encore les appareils dont on se sert pour presser, car leur maniement nécessite aussi l'emploi de grandes puissances.

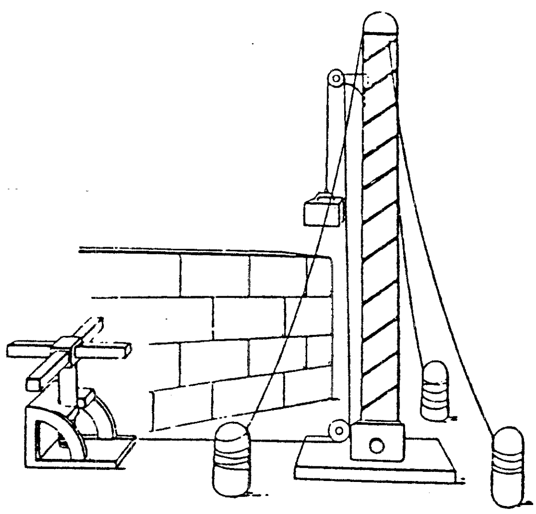
Les fardeaux qui sont traînés à terre le sont sur la *tortue*. C'est un corps solide formé d'une pièce de bois équarrie et arrondie aux deux bouts. Sur cette pièce sont placés les poids; à ses extrémités on attache des câbles ou quelque autre chose que l'on tend et par quoi on tire la tortue. On tend les câbles à la main ou à l'aide de différents instruments. Lorsqu'on les tire, la tortue avance sur le sol.

On place sous la tortue des pieux de bois arrondis et minces ou des chevrons, pour qu'elle glisse dessus; si le fardeau est léger, il convient d'employer les pieux arrondis; mais si le poids est considérable, il vaut mieux employer les chevrons, parce que le mouvement est alors moins rapide; les pieux arrondis, en tournant sous le fardeau, risqueraient d'être brisés par l'effet d'un mouvement trop rapide. Plusieurs n'emploient ni chevrons ni pieux arrondis, mais ils placent, aux extrémités de la tortue, des roues robustes sur lesquelles elle se meut.

2. On a besoin, pour élever les corps lourds, de diverses machines. Parmi elles, les unes n'ont qu'un seul montant, d'autres en ont deux, d'autres trois, d'autres quatre.

Les machines à un seul montant sont construites comme il suit. Nous prenons un mât de bois long, ayant une hauteur plus grande que celle à laquelle nous voulons élever le poids. Ce mât étant déjà assez robuste par lui-même, nous prenons une corde que nous attachons au mât et que nous enroulons régulièrement en hélice autour de lui; la distance verticale entre deux tours de corde est de quatre palmes. La solidité du mât est ainsi augmentée, et la corde enroulée sert d'escalier à l'ouvrier qui a quelque travail à faire en haut du mât; cela rend l'opération plus facile. Si le mât n'est pas très robuste par lui-même, on doit prendre garde que le poids qu'on se propose d'élever ne soit trop lourd eu égard à la résistance de ce support. Nous dressons donc le mât dans une position verticale, sur un socle de bois, par rapport auquel il puisse s'incliner, et nous attachons à son sommet trois ou quatre cordes dont

Fig. 49.



nous lions l'autre extrémité à des piliers fixes et très solides. Nous plaçons ensuite en haut du mât des poulies qui y sont retenues à l'aide de cordes; puis, attachant les cordes qui passent sur les poulies au fardeau que nous voulons hisser, nous tendons ces cordes à la main ou au moyen de quelque instrument, et le fardeau s'élève.

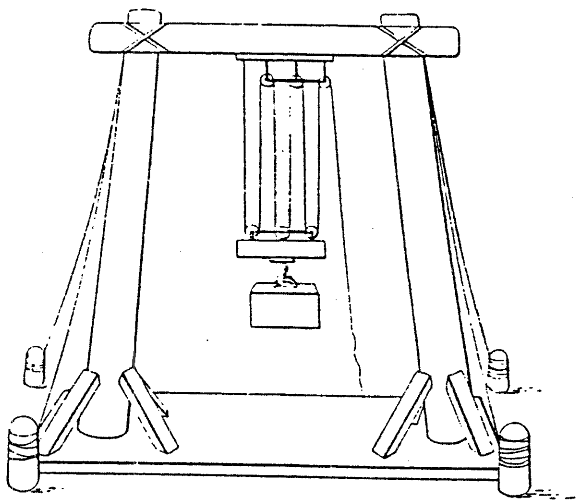
Si vous voulez porter une pierre sur un mur ou dans tout autre endroit, vous déliez la corde qui s'attache à l'un des piliers fixes servant à maintenir le mât auquel est fixée la poulie, en choisissant le pilier situé du côté opposé à celui où vous voulez porter la pierre; le mât s'incline dans ce dernier sens; vous tirez alors lentement la corde de la poulie, jusqu'à ce que vous atteigniez l'endroit où vous voulez asseoir la pierre. Si l'on n'arrive pas, en inclinant le mât auquel est attachée la poulie, à approcher le poids hissé de l'endroit voulu, on place sous l'appareil des pieux arrondis sur lesquels on le fait glisser, ou bien on le pousse à l'aide de leviers, jusqu'à ce qu'il ait pris une situation commode. L'opération achevée, on ramène le mât dans sa position première, en le tirant à soi; on rattache la corde, puis on recommence à opérer comme précédemment.

3. L'appareil à deux montants se construit de la façon suivante. On fabrique un socle appelé *odos* [1], sur lequel on dresse les deux montants; ceux-ci sont légèrement inclinés vers le haut, en sorte qu'ils se rapprochent de $\frac{1}{5}$ de la distance qui les sépare en bas. Ensuite on affermit les deux montants sur ce socle, afin d'établir une liaison entre leurs extrémités inférieures; on relie leurs extrémités supérieures par une autre traverse à laquelle on fixe l'un des châssis d'une moufle, tandis que l'autre châssis est attaché à la pierre. On tire les cordes de la moufle comme dans la première opération, soit à la main, soit à l'aide d'instruments, et le poids s'élève. Pour que les mon-

[1] Probablement le grec ὀδός.

tants se maintiennent droits, il faut les affermir avec des cordes, comme nous l'avons expliqué plus haut.

Fig. 50.



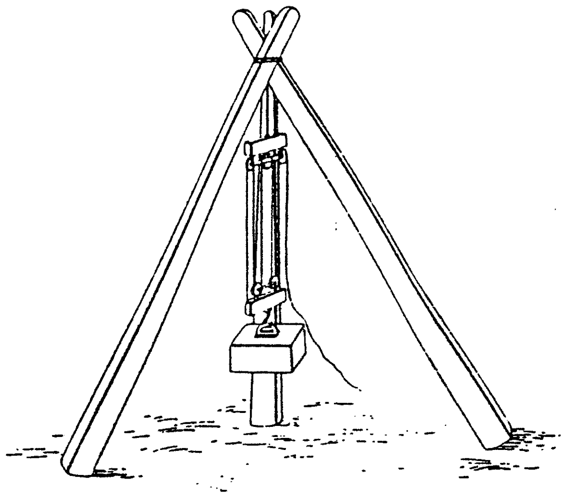
On pose donc la pierre; après quoi l'on transporte l'appareil d'un autre côté de la bâtisse, où le besoin l'exige.

4. L'appareil à trois montants se construit de la façon suivante. Nous établissons trois montants qui penchent les uns vers les autres et qui se réunissent à leur sommet. A ce point de réunion des trois montants nous fixons l'un des châssis d'une moufle, dont l'autre châssis est lié au fardeau. Quand on tire les cordes des poulies, le fardeau s'élève. Cet appareil a

32.

une base plus ferme et plus sûre que tout autre. Cependant il ne convient pas de l'employer dans n'importe quel cas, mais seulement dans le cas où

Fig. 51.

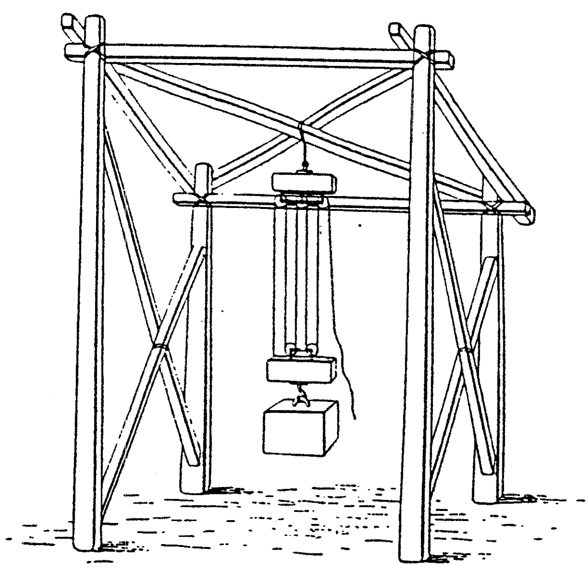


l'on veut élever le fardeau dans le milieu de l'instrument. Lorsqu'on a besoin de hisser un fardeau en un point autour duquel on puisse dresser ces trois supports, on emploie ce système.

5. L'appareil à quatre supports s'emploie pour élever des poids considérables. On dresse quatre poutres de bois disposées en forme de carré, assez espacées pour que la pierre puisse y osciller et y être élevée aisément; au sommet de ces poutres on fixe des pièces de bois qui les relient entre elles, et on

les ajuste avec une parfaite solidité, puis sur ces traverses de bois on en place d'autres qui sont attachées l'une à l'autre et qui relient diagonalement

Fig. 52.

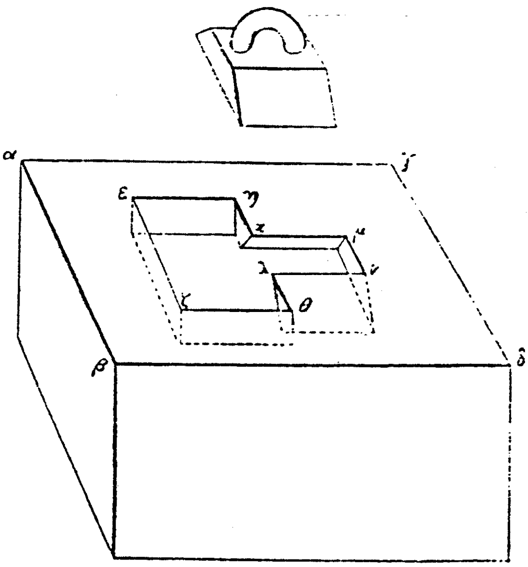


les supports entre eux. Nous plaçons alors la moufle au milieu de cet échafaudage, au point où les traverses se croisent; nous lions à la pierre les cordes des poulies; nous tirons ces cordes et le fardeau s'élève.

Il faut éviter, dans toutes ces machines, de se servir de clous de fer ou de bois, et en général de tout ce qui exige un trou, surtout quand on manie de grands poids. Il est préférable d'employer des câbles et des cordes, avec lesquels on attache ce que l'on veut, à l'endroit où l'on aurait placé le clou.

6. En raison de l'inconvénient qu'ont les machines en forme de collier avec lesquelles on élève les pierres d'empêcher de poser la pierre à l'endroit même où on a besoin de l'asseoir, nous employons le système suivant de suspension qui est appelé *ʿalaq*. Nous tra-

Fig. 53.

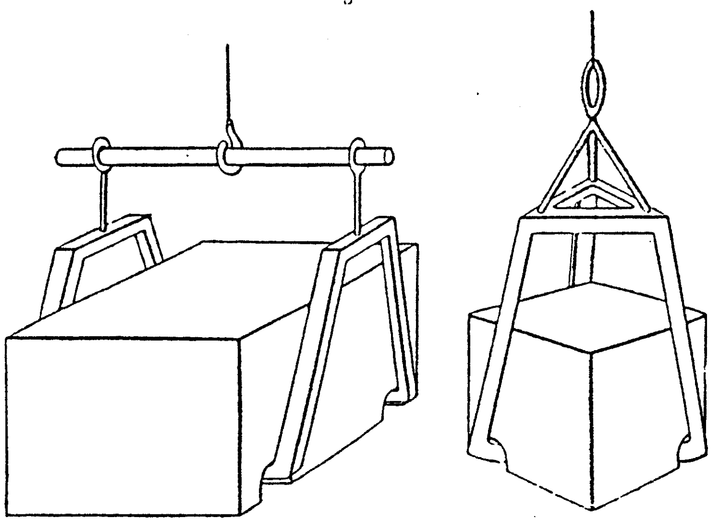


çons sur la face $\alpha\beta\gamma\delta$ de la pierre une figure semblable à la figure tracée ci-contre, où les deux rectangles $\varepsilon\zeta\eta\theta$, $\varkappa\lambda\mu\nu$ ont les côtés parallèles; le premier est plus large que le second, mais ils sont égaux en longueur, c'est-à-dire que la ligne $\varkappa\mu$ est égale à $\varepsilon\eta$. Nous creusons la pierre selon ce tracé, en donnant à cette excavation une profondeur qui soit en rapport avec le poids de la pierre. Dans la partie $\varepsilon\zeta\eta\theta$, la cavité a ses parois exactement perpendiculaires au plan de la face; mais, dans la partie $\varkappa\lambda\mu\nu$, ses parois sont obliques et la cavité est plus large au fond qu'à la surface. En somme, cette cavité a la forme d'une espèce d'assemblage dont la partie étroite serait représentée par $\varkappa\lambda\mu\nu$, et la partie large par $\varepsilon\zeta\eta\theta$; nous fabriquons sur ce plan un organe en fer qui peut s'adapter dans la partie étroite et en haut duquel est soudé un anneau; cet organe, introduit d'abord dans la cavité $\varepsilon\zeta\eta\theta$, ne fait que la traverser; on le repousse en le faisant un peu tourner, jusqu'à ce qu'il entre dans la partie étranglée, d'où il ne peut plus sortir. On adapte alors dans la partie $\varepsilon\zeta\eta\theta$ une pièce de bois qui cale le verrou de fer; puis on fait passer dans l'anneau soudé au verrou la corde qui, antérieurement, portait le collier dans lequel on plaçait la pierre. On transporte de cette façon la pierre jusqu'à ce qu'elle vienne à l'endroit voulu, sans que rien l'en empêche. Lorsqu'elle est assise à sa place, on ôte les cales de bois, on retire le verrou et on adapte cet appareil à une autre pierre.

7. On élève aussi les pierres avec l'instrument appelé *écrevisse*, composé de trois ou quatre tiges dont on recourbe les extrémités de façon à leur donner la forme de pinces. On introduit ces pinces dans les

faces latérales du fardeau; à l'extrémité des tiges, on place des traverses et, y attachant des cordes, on tire et le fardeau s'élève. Il importe d'établir entre

Fig. 54.

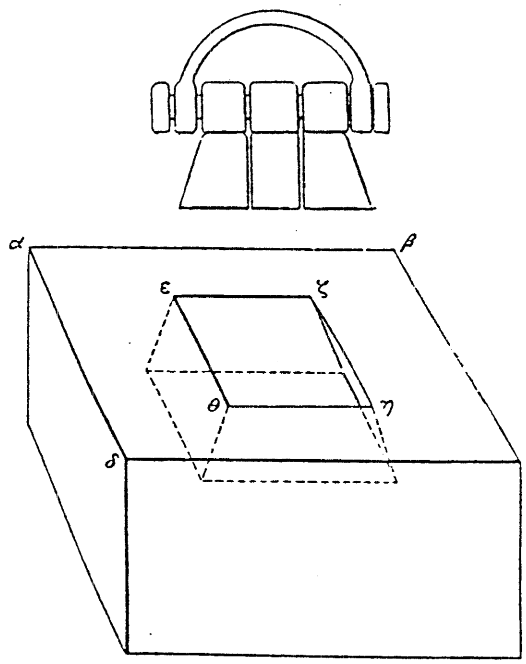


ces tiges des traverses fixes, les unissant les unes aux autres par leurs extrémités qui viennent au-dessus de la pierre, afin que, lorsqu'on élève la pierre suspendue à l'appareil, elle ne tombe pas; ces traverses doivent relier solidement les tiges l'une à l'autre; on y attache les cordes, qui passent de là vers les poulies. Quand on tend les cordes, la pierre s'élève.

8. On emploie encore dans le même but un autre procédé plus aisé et plus sûr. Soit $\alpha\beta\gamma\delta$ la

base de la pierre; nous y creusons une cavité de forme rectangulaire $\varepsilon\zeta\eta\theta$; la profondeur en est partout égale; mais les parois en sont creusées obli-

Fig. 55.



quement, c'est-à-dire que, des deux côtés, cette cavité présente à sa partie inférieure des enfoncements de dimension convenable; les portions qui avancent au-dessus de ces évidements doivent être assez solides pour supporter tout le poids de la pierre. Nous prenons deux coins de fer dont nous recourbons les extrémités en forme de crochet et qui portent en haut un anneau ou un trou; nous introduisons chacun d'eux dans un côté de la cavité, en faisant entrer la partie recourbée dans le renfoncement oblique; puis nous prenons un troisième coin de fer que nous calons entre ces deux-là pour les empêcher de bouger. Ce troisième coin est aussi percé en son sommet d'un trou qui correspond à ceux des deux autres; dans les trois trous, nous passons un clou ayant une tête large à l'un des bouts. Les trois coins remplissent la cavité $\varepsilon\zeta\eta\theta$; la partie recourbée de deux d'entre eux occupe les évidements ménagés des deux côtés de la cavité, et le troisième remplit l'intervalle entre les deux premiers; à eux trois, les coins forment un seul corps. Ensuite nous attachons au clou qui traverse les trois coins des cordes passant sur des poulies; en haut de l'instrument avec lequel on élève le poids, se trouvent d'autres poulies correspondant à celles qui sont sur la pierre; on y fait passer les cordes et on tire; et la pierre s'élève, parce que le coin du milieu ne lâche pas les deux coins dont les extrémités se recourbent dans l'intérieur de la pierre et qui s'appuient sur lui. On élève donc la pierre jusqu'à ce qu'elle atteigne le point où on veut la placer; on la dépose en cet endroit, et quand elle y est assise, on ôte le clou de fer, on enlève le coin du milieu, et l'on retire les deux coins dont les extrémités sont recourbées; après quoi nous adapterons l'appareil à une autre pierre, et nous opérerons de la même façon.

Il faut se garder, dans cette opération, d'employer du fer trop dur de peur qu'il ne casse, et se garder aussi d'en employer de trop doux de peur qu'il ne plie et ne se courbe sous le poids de la pierre; il faut prendre du fer de trempe moyenne, qui ne soit ni trop dur, ni trop doux. Il faut éviter aussi qu'il y ait flexion et déformation dans quelque partie du fer ou qu'il se produise des fissures pendant qu'on le travaille. Le danger, dans ces divers cas, est très grand : ce n'est pas seulement que la pierre tombe, mais aussi que les ouvriers soient atteints dans sa chute.

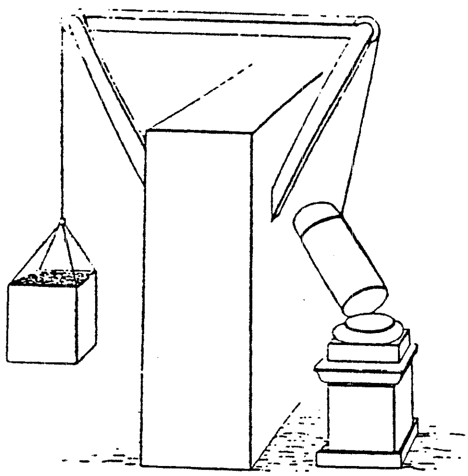
9. Les différentes sortes d'instruments qui servent à élever et à hisser les corps lourds sont celles que nous avons dites. Il convient aussi de diversifier les machines selon les temps et les lieux, pour répondre à d'autres besoins que les précédents. Exposons comment on opère dans quelques cas.

Certaines personnes emploient, pour faire descendre les grosses pierres des sommets des hautes montagnes, une machine destinée à empêcher que la pierre, en roulant d'elle-même sur la pente de la montagne, ne vienne tomber sur les bêtes de somme et sur les chariots qui doivent la transporter, et ne les écrase. On pratique deux chemins du haut en bas de la montagne, à l'endroit par lequel on veut faire descendre la pierre; on les rend aussi unis que possible; et l'on prend deux petits chariots à quatre roues, dont on place l'un en haut du chemin par lequel la pierre doit glisser, et l'autre en bas de l'autre chemin. On attache ensuite des poulies à un support fixe placé entre les deux chemins, et l'on fait passer, du chariot qui porte la pierre aux poulies, des cordes que l'on conduit ensuite à l'autre chariot placé en bas. Sur ce chariot qui se trouve en bas, on met des petites pierres provenant de la taille des grandes pierres, jusqu'à ce qu'il soit chargé d'un poids un peu moindre que celui de la pierre qu'il s'agit de descendre. On y attelle alors des bêtes de somme qui le tirent en montant; tandis que ce chariot monte lentement, la grosse pierre descend régulièrement et avec la même lenteur.

10. On a imaginé d'élever par le même moyen de grandes colonnes et de les asseoir sur leurs bases à l'endroit voulu. Dans ce système, on attache des cordes au sommet de la colonne que l'on veut dresser; on les conduit à des poulies scellées dans quelque maçonnerie solide, sur lesquelles on les fait passer; elles ressortent de l'autre côté des poulies, et, après les avoir franchies, elles vont s'attacher par leurs extrémités à des récipients capables de contenir des pierres et des corps lourds, et semblables à des coffres ou à quelque chose de ce genre. On place dans ces récipients quantité de pierres et de poids, jusqu'à contre-balancer le poids du fût et à le dépasser; alors la colonne s'élève et se place debout sur sa base. Il faut avoir soin de lier la partie inférieure de la colonne à la base pour qu'elle ne la quitte pas et qu'elle ne s'en écarte pas. Ou bien on enroule autour de la base des cordes qui lui font

comme un bracelet; lorsque la colonne se relève,

Fig. 56.



sa partie inférieure ne sort pas de ce cercle de cordes qui a été formé autour d'elle [1].

11. On a inventé le procédé suivant pour descendre de lourds fardeaux dans la mer. On construit un collier de bois que l'on tient suspendu et dont les parties sont fixées les unes aux autres par des clous de fer; on le recouvre d'un plancher solide, et on l'amène à l'endroit de la bâtisse où l'on veut porter le poids. Sous le collier, on place des sacs pleins de sable, dont les ouvertures sont fermées par des cordes, et l'on adapte le collier sur les sacs.

[1] La figure du manuscrit est rudimentaire.

Amenant ensuite deux barques, on les attache avec des cordes des deux côtés du collier, à ses parois; on place le fardeau sur le collier; on délie les sacs; le sable s'échappe. On submerge alors les barques, et elles s'enfoncent dans la mer en portant le collier.

12. Il y a des gens qui emploient les machines de cette façon, pour descendre les grosses pierres dans la mer. D'autres les emploient pour relever les murailles inclinées par les tremblements de terre, de la manière suivante. Ils creusent en terre un fossé tout le long du mur, du côté où il penche; ils y posent une poutre équarrie, éloignée du mur d'une faible distance, et ils dressent verticalement d'autres poutres entre le mur et la poutre équarrie placée dans le fossé. Ensuite, sur une traverse[1] reliant les extrémités des poutres verticales, ils fixent des poulies, et ils conduisent les cordes qui y passent vers un instrument où elles s'enroulent. Ils font tourner cet instrument; les cordes sont tirées; la traction s'exerce sur la traverse et, par son intermédiaire, sur les poutres verticales, et celles-ci inclinent le mur en le ramenant vers sa position normale. Lorsque le mur est revenu à sa position, on l'abandonne quelque temps, maintenu par ces poutres, pour que les pierres se disposent d'une façon stable les unes par rapport aux autres. Puis on enlève les poutres, et le mur se trouve rétabli dans sa station verticale.

[1] *Une traverse reliant.* Nous ajoutons ces mots.

II. — 13. Nous avons exposé avec des développements suffisants ce qui concerne le mouvement des poids et ce qu'il est utile de connaître sur ce sujet. Les machines employées en agriculture pour extraire les sucs et les huiles ne nous éloignent pas beaucoup de ce que nous avons dit de l'usage du levier. Nous devons maintenant en parler et donner sur cette matière tous les éclaircissements nécessaires pour la bien connaître [1].

L'outil de bois que certaines gens appellent *chil* [2], et que d'autres appellent *presse*, n'est pas autre chose qu'une sorte de levier. La pierre servant d'appui au levier est ici la paroi du pressoir, dans laquelle entre l'extrémité de l'outil. Le poids est la corde enroulée autour du sac de plomb [3]; et la force motrice est la pierre suspendue à l'extrémité de l'outil de bois

[1] Le manuscrit donne quatre figures qui se rapportent aux presses. L'une représente la presse à levier décrite dans le paragraphe 13, une autre représente la petite presse à une vis du paragraphe 20. Les deux dernières sont consacrées à l'appareil dit *galéagre*. Ces quatre figures sont fort grossières, et elles n'éclaircissent aucun détail du texte. Nous avons donné, en nous en inspirant, le dessin sommaire de deux types de presses qui nous semblent être les principaux; mais nous aurons à indiquer, dans les descriptions qui suivent, des difficultés qui peuvent faire croire à une altération du texte et qui rendent problématique l'exactitude du premier de ces deux dessins.

[2] Le mot ainsi lu se rapporterait au grec χυλόω.

[3] Si la corde enroulée autour du sac de plomb ou de la cuve plombée joue le rôle d'un poids soulevé par un levier, il semble que cette corde doive être tirée par le levier. Cela contredit la figure et d'autres passages du texte, où nous voyons le sac de plomb placé sous le levier presseur. (V. l. III, 16, note.)

appelé aussi *lènos*[1]. Il arrive d'ailleurs, lorsque l'outil est très grand, que son poids est assez considérable pour qu'il exerce lui-même la pression. Le levier des grandes presses a une longueur de 25 coudées, et la pierre qui lui est suspendue et qu'on appelle *laas*[2] pèse 20 talents.

14. Proposons-nous d'employer une machine au lieu de la pierre. Nous opérons en prenant une moufle et en l'attachant d'une part à l'extrémité du levier et de l'autre à la pierre; nous conduisons la corde de la pierre à une poutre transversale suspendue au levier presseur, et de là à un treuil. Lorsque nous tournons le treuil, la corde s'enroule autour de l'arbre et la pierre s'élève[3].

15. Il existe une autre machine servant à abaisser l'outil de bois appelé *oros*[4] et à élever la pierre appelée *laas*[5]. La rigidité de la corde met un certain

[1] Ce mot serait le grec ληνός.

[2] Lecture probable, donnant le grec λᾶας.

[3] Ce paragraphe semble altéré. La pierre à laquelle on attache un châssis de la moufle est évidemment fixée dans le sol et ne saurait s'élever. Voir le paragraphe suivant, note.

[4] Grec ὀρός.

[5] Dans le paragraphe 13, la pierre appelée *laas* est celle qui abaisse le levier par l'effet de son poids. Ici, au contraire, cette pierre s'élève quand le levier s'abaisse, comme il est dit au commencement et à la fin de ce paragraphe. Il faudrait donc que cette pierre et la vis fussent placées de chaque côté du point d'appui; la pierre écraserait alors les matières de bas en haut. Cependant on lit à la fin du paragraphe que le levier écrase les matières placées sous lui. Nous ne croyons pas possible de concilier ces diverses indications. De plus, cette pierre qui s'élève ne peut être celle sur laquelle tourne l'écrou; cette dernière est certainement fixe.

obstacle à l'abaissement de la poutre et à l'élévation de la pierre, parce que, si la corde est dure, elle ne glisse pas sur les poulies, ni lorsqu'on veut relever la poutre, ni lorsqu'on veut l'abaisser et élever la pierre. De plus, on est forcé d'employer de longs pieux pour tourner le treuil, et l'on court le risque, si le sac de plomb placé sous le levier presseur est grand et si les ouvriers qui tournent le treuil sont nombreux, que les pieux ne se rompent et ne les atteignent dangereusement en tombant, ou qu'ils ne sortent des trous, et, en tombant encore, ne les atteignent de même. Aussi a-t-on construit une autre machine qui ne nécessite pas de câble, qui est plus facile et plus sûre que celle-là, et dont voici la description.

On emploie une pièce de bois équarrie, en forme d'oreiller [1], et on l'ajuste au-dessous du levier presseur appelé *chil*, à l'endroit où se trouvait précédemment la corde. On la relie à un rouleau disposé au-dessus du levier presseur et l'on place sur celui-ci, de chaque côté du support fixe, des arrêts [2] destinés à restreindre la course de l'oreiller entre des limites convenables, tout en lui permettant de se déplacer dans les deux sens. Ensuite on élève le levier au plus haut qu'on peut l'élever; on mesure la distance qu'il y a alors entre l'oreiller de bois et la pierre [3]; on prend la moitié de cette distance ou un

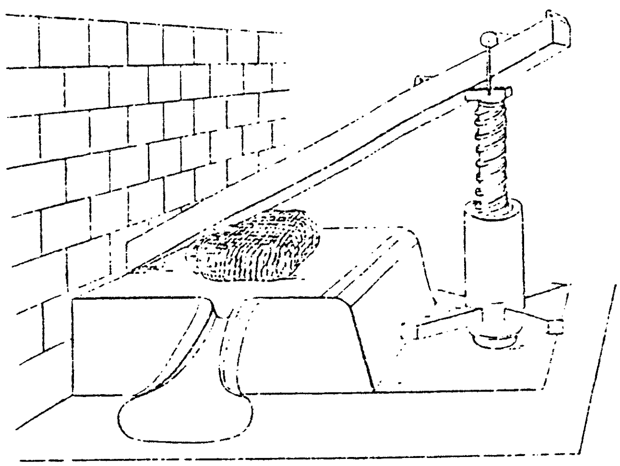
[1] *Oreiller*, sens probable. Une autre lecture donnerait le sens de brique.

[2] *Arrêts*, sens probable, en cet endroit, du mot طاقات, que nous avons rendu ailleurs par *tortue*. (Voir l. III, 1.)

[3] La pierre sur laquelle tourne l'écrou.

peu plus, et sur cette mesure on construit une vis triangulaire d'épaisseur partout égale. D'un côté la rainure hélicoïdale ne va pas jusqu'à l'extrémité du

Fig. 57.



bois de la vis; mais de l'autre côté la rainure hélicoïdale doit atteindre l'extrémité du bois de la vis. La partie de cette pièce de bois qui se trouve en excès est équarrie, et on creuse dans cette portion équarrie une rainure appelée *tramis* [1]; c'est un cercle pratiqué autour de l'extrémité d'un organe en bois, de façon que cet organe puisse être adapté à la poutre avec laquelle on veut l'assembler. On monte ce cercle sur celle des faces de l'oreiller de bois qui

[1] Grec τράμις.

regarde le bas; puis, prenant des clous de fer, dont on introduit la pointe dans cette rainure, on leur fait traverser le rebord circulaire et on le cloue sur l'oreiller. On prend encore un axe de fer que l'on passe dans le milieu de cet assemblage, et qui pénètre dans l'oreiller de bois où il se fixe solidement; l'extrémité de la vis est par là renforcée et l'union entre les pièces est rendue plus sûre. Employons maintenant une autre poutre équarrie d'un bois dur et résistant; sa longueur égale celle de la vis; sa section est carrée, et le côté de sa base dépasse le diamètre du cylindre de la vis, d'une quantité telle que ce cylindre puisse entrer dans l'intérieur de cette poutre équarrie. Nous fendons alors la poutre par moitié dans la longueur, et dans chacune de ses deux portions nous creusons une cavité cylindrique, afin de constituer l'écrou de la vis; nous y pratiquons une rainure hélicoïdale, dans laquelle la vis puisse tourner; puis nous recollons les deux moitiés, en sorte qu'elles ne forment plus qu'un seul corps. Il faut aussi que la rainure hélicoïdale, dans cet écrou, aille d'un seul côté jusqu'au bout de la poutre où l'écrou est creusé; de l'autre côté, la poutre reste forte et pleine. Lorsqu'on introduit l'extrémité de la vis dans cette poutre robuste, creusée presque tout du long et rayée en hélice, la vis tout entière pénètre dans cet écrou et y disparaît. Après avoir sculpté l'écrou, nous creusons extérieurement à l'extrémité du même organe un cercle, formant gorge à une petite distance du bout de la poutre, et nous ajustons à cette extrémité un chapeau de fer, comme on le fait aux essieux des chariots. Puis nous creusons dans la pierre une cavité assez large pour que l'extrémité de cette poutre puisse y tenir et y tourner aisément; le bout de la poutre de l'écrou est introduite dans ce godet, qu'on munit de gardes de fer pour empêcher que la poutre ne sorte de cette cavité pratiquée dans la pierre. On garnit aussi d'un anneau de fer la gorge creusée à l'extrémité de la poutre de l'écrou, afin de faciliter la rotation. Au-dessus de cette gorge enfoncée dans la pierre, on perfore des trous croisés d'où sortent les quatre extrémités de deux pieux. Les choses étant ainsi établies, quand nous voulons mettre en action le levier presseur, nous approchons l'une de l'autre les deux extrémités de la vis et de la poutre formant écrou; puis nous tournons les quatre pieux en sorte que la vis entre dans l'écrou. Le levier s'abaisse alors et la pierre s'élève, et tout ce qui se trouve sous le levier est pressé. Quand le levier s'est abaissé jusqu'à venir toucher le sol, nous tournons l'écrou en sens contraire, jusqu'à ce que le levier soit relevé et que la pierre repose à terre. Cette machine est puissante, solide; elle n'offre aucun danger, et la manœuvre en est peu fatigante.

16. On a construit d'autres genres de presses dans lesquelles on remplace par l'appareil suivant la corde qui s'enroule sur le sac de plomb[1] et les

[1] On peut inférer de là que le levier ne tirait pas la corde dans les appareils précédents, mais qu'il agissait en écrasant sous lui le

paniers où l'on place les olives après les avoir coupées. Une sorte de cage en bois appelée *galéagre* [1] est introduite sous le levier presseur. On l'emplit de la matière que l'on veut presser et, l'ayant placée sous le levier, on abaisse celui-ci sur elle. Par là on obtient plus de place pour la matière soumise à la pression et on rend l'opération plus facile. Cette galéagre peut être construite de deux façons. Dans la première manière elle est composée, et voici comment. Nous prenons des morceaux de bois d'essence dure et en grand nombre, et nous en formons des chevrons dont la longueur égale celle de l'appareil que nous voulons construire, leur largeur étant de 2 spithames et leur épaisseur de six doigts. Nous entaillons ensuite chaque chevron des deux côtés, et par en haut, à la distance de six doigts de l'extrémité de la pièce; nous pénétrons dans le chevron d'une quantité égale au quart de son épaisseur; nous faisons de même une entaille par en bas; il reste alors de la pièce de bois une épaisseur égale à la moitié de l'épaisseur primitive. Ces entailles faites aux chevrons doivent être égales, afin qu'ils s'assemblent les uns dans les autres. On les assemble donc, et on obtient une sorte de figure carrée aux côtés égaux et semblable à un coffre. Il importe que les fentes entre les chevrons soient assez larges pour que les sucs puissent s'écouler par elles rapidement. Dans cet appareil, il n'est

sac ou la cuve plombée, de la même manière qu'il agit en enfonçant le couvercle de la galéagre.

[1] Grec γαλεάγρα.

pas nécessaire que la pièce de bois placée sur la galéagre et les planches formant couvercle au-dessus d'elle, la ferment exactement, parce que, lorsque la pression s'exerce, il faut que les matières puissent remonter, sans quoi elles feraient obstacle au mouvement.

17. L'autre galéagre a ses quatre parois jointes l'une à l'autre par trois traverses sur chacune d'elles. On place sur ces quatre parois ces traverses qui sont assemblées à leurs extrémités au moyen d'entailles atteignant la moitié de leur épaisseur; de la sorte, lorsque ces pièces sont ajustées les unes dans les autres, les quatre parois se trouvent jointes solidement. Dans cet appareil aussi les fentes doivent être larges, et il faut placer sur un plancher supérieur une espèce de chapeau [1], à une hauteur que l'on appréciera d'après ce que nous avons dit précédemment, afin d'éviter qu'une partie des matières ne remonte et ne projette ce chapeau en bas de la galéagre.

18. Maintenant parlons de la construction des appareils qui pressent avec une grande force. Dans les paragraphes précédents, nous avons décrit la presse appelée *lènos* qui est parmi les plus puissantes et les plus solides. Nous signalerons d'abord la différence qu'il y a entre les deux variétés de cet instrument, puis nous en décrirons de nouveaux. Nous disons que la pièce de bois appelée *chil* n'est pas autre chose qu'un levier qu'abaisse un poids; et le poids

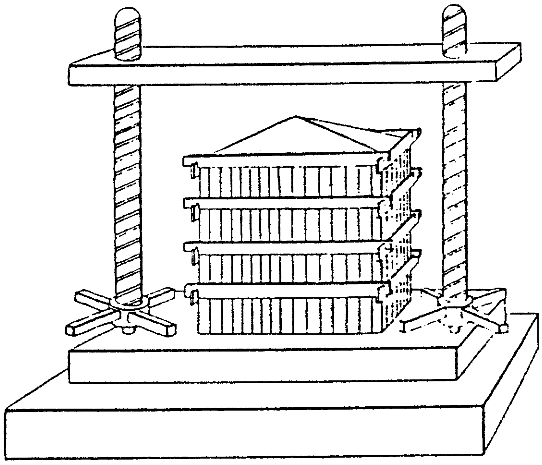
[1] *Chapeau*, sens probable du mot قرمية.

qui l'abaisse est à une extrémité élevée au-dessus du sol; lorsque ce poids agit, les sucs ne cessent pas de couler jusqu'à ce qu'il soit venu reposer sur le sol. Les instruments dont nous achevons la description sont très puissants, mais la pression qu'ils exercent n'est pas continue, ni toujours également énergique. Aussi faut-il de temps en temps prendre soin de donner quelques tours de vis pour renouveler la pression. Au contraire, quand vous suspendez la pierre à l'outil de bois que l'on appelle *chil* et que vous l'abandonnez à lui-même, ce levier presse à lui seul et vous n'avez pas besoin d'aller l'appuyer de temps à autre. Telle est la différence qui existe entre ces instruments.

19. Ceux dont nous allons maintenant donner la description servent à presser les olives; ils sont d'une construction aisée, et on peut les transporter et les installer partout où l'on veut. Ils ne nécessitent pas de longue pièce de bois égale dans toutes ses parties et d'une essence dure, ni de lourde et grande pierre, ni de câbles forts; et ils ne nous offrent pas de difficulté provenant de la rigidité des cordes; ils sont libres de tous ses inconvénients; ils pressent d'ailleurs avec beaucoup de force et ils expriment entièrement les sucs. Leur construction est celle que nous expliquerons à l'instant.

Nous prenons une poutre équarrie dont la longueur est de 6 spithames, dont la largeur n'est pas moindre que 2 pieds, et dont l'épaisseur n'est pas moindre que 1 pied. Cette pièce de bois doit être d'une essence ferme; il ne la faut pas trop tendre ni trop sèche, mais on doit la choisir entre ces états extrêmes; nous l'appelons la *table*. Nous la plaçons horizontalement, et nous y creusons, non loin des deux extrémités, deux trous profonds et arrondis;

Fig. 58.



dans chaque trou nous mettons deux loquets en bois, qui, d'un côté, s'enfoncent dans l'épaisseur de la table et, de l'autre côté, se terminent en demi-cercle; en se rencontrant, ils forment ensemble un cercle plus petit que les trous creusés. Ces loquets ont les faces obliques pour qu'ils tiennent, une fois montés, sans pouvoir être arrachés. Nous prenons ensuite deux pièces de bois dur, partout égales et équarries à la manière d'une règle, leur épaisseur étant égale à leur largeur; à l'une de leurs extrémités une longueur convenable reste simplement équarrie; prenant alors par ce bout les deux pièces de bois, nous les faisons tourner, et nous traçons sur tout le reste de leur longueur une vis d'épaisseur constante. A l'extrémité du bois de la vis, que nous avons laissée équarrie, nous plaçons un tambour percé de quatre trous dans lesquels nous introduisons des pieux de bois, et ce qui reste de ce bout carré est revêtu d'une coiffe cylindrique en bois, ayant en tout une longueur égale à la profondeur du trou circulaire pratiqué dans la table; un cercle est creusé dans ce cylindre ayant un diamètre égal à la moitié du diamètre du cercle de base de la vis. Cela fait, nous introduisons cette tête qui termine la vis dans le trou cylindrique de la table. Nous repoussons les loquets qui ont été construits antérieurement, en les faisant entrer dans la rainure circulaire; nous les fixons dans cette rainure, et ils ne permettent plus à la vis de sortir.

Nous faisons de même pour la vis qui est à l'autre extrémité de la table.

Après cela nous prenons une poutre équarrie et longue dont la longueur est la même que celle de la poutre inférieure dans laquelle les vis sont montées. Cette poutre est forée de deux trous cylindriques qui pénètrent dans son épaisseur et qui ressortent de l'autre côté, correspondant aux deux trous cylindriques dans lesquels se place l'extrémité des vis. A l'intérieur de ces deux trous est sculptée une rainure hélicoïdale, qui fait d'eux les écrous des deux vis, en sorte que cette poutre s'abaisse lorsqu'on tourne les deux vis, et qu'inversement elle s'élève lorsqu'on les tourne en sens contraire. Nous expliquerons plus loin la manière de sculpter la rainure hélicoïdale de l'écrou. La longueur et l'épaisseur de cette poutre doivent, comme nous l'avons dit, se mesurer à la longueur et à l'épaisseur de la table; mais sa largeur doit être inférieure d'un quart à celle de cet organe.

Nous plaçons ensuite sous la table un socle rectangulaire ayant en bas la forme d'un degré, et dont la longueur dépasse celle de la table d'une petite quantité, pour que tout l'appareil puisse être solidement dressé sur lui. Il convient de pratiquer sur une moitié du socle une entaille de dimension moyenne et d'en faire une autre dans la table, de même mesure que celle qui est faite dans le pied; puis on monte le saillant dans le rentrant, et l'appareil se trouve solidement établi. Nous installons sur la table, entre les deux vis, quatre parois bien jointes, formées de planches minces, ayant moins d'un doigt d'épaisseur. La longueur et la largeur de l'espace carré qui se trouve entre ces planches sont telles que, la galéagre étant placée dans cet espace, il reste autour d'elle un vide où les sucs puissent se répandre. Nous devons, dans le milieu de la table, pratiquer une cavité qui ait les mêmes dimensions que la face de la galéagre reposant sur la table, afin d'entrer la galéagre dans ce creux. Nous l'y établissons donc, et, dans le haut, nous plaçons une planche épaisse qui occupe l'espace restant au-dessus des matières à presser; nous la surmontons d'un chapeau moins long et moins large que la planche, dont l'épaisseur achève de remplir la galéagre. Nous tournons alors les deux vis avec les pieux qui sont dans les tambours, en sorte que la poutre formant écrou s'abaisse sur le chapeau; le chapeau et la planche qui est à l'intérieur de la galéagre se trouvent refoulés; la matière contenue dans l'appareil est pressée, et les sucs coulent. Après quoi l'on tourne les vis dans l'autre sens; la poutre s'élève; on ôte le chapeau, et l'on renouvelle la matière soumise à la pression jusqu'à ce qu'on ait extrait tout le suc.

20. Il existe un autre instrument à une seule vis. Pour le construire, on fixe sur la table deux pieds portant la poutre transversale dans laquelle est creusé l'écrou; cet écrou se trouve au milieu de la poutre; on y introduit la vis, et on la tourne à l'aide des pieux qui sont dans le tambour; elle s'abaisse sur la planche placée dans la galéagre et, en la refoulant, fait couler les sucs.

Il faut répéter plusieurs fois la pression, pour qu'il ne reste rien des sucs dans les corps qui y sont soumis.

Il y a encore beaucoup d'autres genres de presses; mais il est inutile que nous les décrivions, parce que leur usage est très répandu et qu'elles sont connues de tous; elles sont d'ailleurs inférieures à celles que nous avons citées.

21. L'écrou de la vis se construit de cette manière[1]. Nous prenons une poutre de bois dur dont la longueur dépasse deux fois celle de l'écrou, et dont l'épaisseur est égale à celle de l'écrou. Nous sculptons une vis dans un seul sens et sur une moitié seulement de la longueur de la poutre; la profondeur des tours de cette vis égale la profondeur des tours de la vis que nous voulons faire tourner dans l'écrou; nous enlevons sur l'autre moitié de la poutre une épaisseur de bois égale à celle des tours de vis, jusqu'à faire d'elle un pieu d'épaisseur constante. Menant ensuite deux diamètres dans les deux bases de la poutre, nous divisons chacun d'eux en trois parties égales, et de l'un des deux points de division nous élevons une perpendiculaire au diamètre; à partir des deux extrémités de cette perpendiculaire et sur toute la longueur du pieu, nous menons deux lignes droites; nous achevons cette préparation en plaçant le pieu sur une table dressée et en y traçant avec des pinces une raie hélicoïdale. Ensuite nous l'entamons délicatement avec une scie mince sur toute la longueur de cette raie. Nous séparons alors le tiers du pieu déterminé par les deux lignes droites, et au milieu du segment restant nous creusons une

[1] Ce paragraphe explique comment on creuse l'écrou de la vis pour la presse décrite dans le paragraphe 19; il est assez difficile. La figure qui s'y rapporte dans le manuscrit n'est d'aucun secours et nous ne la reproduisons pas. Cette figure est au bas du recto de la page 75, la dernière du manuscrit, dont le verso ne porte aucune écriture.

rainure cylindrique, dans le sens de la longueur de cette pièce de bois et pénétrant jusqu'à la moitié de son épaisseur. Prenons maintenant une verge de fer à laquelle nous faisons épouser la forme de l'hélice de la vis et montons-la sur le pieu dans lequel est la rainure; puis introduisons son extrémité dans les tours de vis, après avoir attaché très fortement les deux segments, de façon qu'ils soient adhérents l'un à l'autre et qu'ils ne se disjoignent point. Prenons ensuite un petit coin; entrons-le dans la rainure cylindrique, et frappons-le jusqu'à ce que la verge de fer vienne sortir entre les deux segments. Cela fait, nous entrons la vis dans une poutre où l'on a creusé un trou parfaitement égalisé et ayant pour diamètre l'épaisseur de la vis; dans les parois de cette cavité cylindrique, nous forons des petits trous ouvrant sur la cavité; nous y montons des petits pieux inclinés et arrondis, que nous poussons jusqu'à ce qu'ils avancent entre les tours de vis. Alors nous prenons la pièce de bois dans laquelle nous voulons sculpter l'écrou de la vis, nous y creusons un trou de même diamètre que le pieu rayé en vis, et nous adaptons à la pièce de bois, dans laquelle nous avons entré la vis, deux pieds que nous attachons avec une parfaite solidité. Le pieu qui porte le coin est ensuite introduit dans la cavité creusée dans la poutre où doit être sculpté l'écrou; et, des trous ayant été forés à l'extrémité supérieure de la vis, nous y passons des pieux au moyen desquels nous faisons tourner la vis, jusqu'à ce qu'elle pénètre dans la poutre, tantôt dans le sens ascendant, tantôt dans le sens descendant; de temps en temps nous frappons le coin; lorsque la rainure a atteint la profondeur voulue, nous avons alors achevé de sculpter l'écrou.

FIN.

INTORNO ALLE MECCANICHE

DI

ERONE ALESSANDRINO

EDITE PER LA PRIMA VOLTA SULLA VERSIONE ARABA DI COSTA BEN LUCA

DAL BAR. CARRA DE VAUX

COMUNICAZIONE

DEL M. E. ANTONIO FAVARO

La storia delle scienze presenta non di rado alcuni soggetti i quali sembrano destinati a costituire scopo perpetuo di discussioni e di controversie. Non appena una qualche questione che li risguarda pare definitivamente chiusa, ecco che un nuovo documento, od una più razionale interpretazione dei già noti, rimette nuovamente in discussione quello che pareva ormai definitivamente conchiuso.

Se io non m' inganno, uno di tali soggetti è appunto offerto dagli studi intorno ad Erone, rispetto al quale ho già avuta altravolta occasione di intrattenermi, quando cioè presi ad analizzare il magistrale lavoro del Cantor intorno agli agrimensori romani. (1)

Sgombrato il terreno dai parecchi Eroni, almeno tre,

(1) Cfr. *Bullettino di Bibliografia e di Storia delle scienze matematiche e fisiche* pubblicato da B. BONCOMPAGNI. Tomo IX, Roma, tip. delle scienze matematiche e fisiche, 1876, pag. 168 e seg.

i quali con tal nome eransi fatti figurare nella istoria delle scienze, tenevasi per assodato che l' Alessandrino, di gran lunga il più illustre, fosse vissuto intorno all' anno 100 avanti Cristo, e che Ctesibio ne fosse stato il maestro; e queste conchiusioni furono adottate dal Cantor anche nelle celebri sue *Vorlesungen über Geschichte der Mathematik.* (1) Ma ecco che al Diels (2) si offriva per incidenza la occasione a dimostrare che il solo fondamento a tenere che Erone fosse stato discepolo di Ctesibio consisteva nel titolo dei Βελοποιϊκά attribuiti come opera Ἥρωνος Κτησιβίου, nei quali due genitivi avevasi voluto riconoscere una relazione da discepolo a maestro, confermata d' altronde anche d' altra parte, mentre invece appariva più razionale, o di sottintendere fra i due genitivi la disgiunzione « o », oppure di interpretarli nel senso che Erone non avesse fatto che rimaneggiare l' opera di Ctesibio. Tolta di mezzo la quasi contemporaneità dei due autori, non poteva disconoscersi l' altissimo valore di alcuni criteri filologici offerti dalle scritture di Erone rappresentati dal trovarvisi delle parole latine trascritte in greco, le quali non pare che potessero essere in uso in Alessandria avanti la dominazione romana. Ne traeva dunque il Diels la conchiusione che, pur dovendosi tenere per non sicuramente determinato il tempo in cui visse Erone, lo si doveva stimare posteriore all' èra cristiana. Il Tannery, (3) che ha portato anche su questo argomento la luce della sagace sua critica, andò un po' più in là ed osservò che Vitruvio, il quale trattò a lungo della meccanica, citando

(1) Erster Band. Von den ältesten Zeiten bis zum Jahre 1200 n. Chr. Leipzig, Druck und Verlag von B. G. Teubner, 1880, pag. 313-314.

(2) *Ueber das physikalische System des Straton.* Nei *Sitzungsberichte der kön. preussischen Akademie der Wissenschaften zu Berlin.* IX.X, 23 Februar 1893. Berlin, 1893, pag. 106-107.

(3) *Bulletin des Sciences Mathématiques* Deuxième Série. Tome XVII. Décembre 1893. Paris, Gauthier-Villars et fils, 1893, pag. 317.

tutti gli autori greci che di questo argomento si erano occupati prima di lui, non menziona affatto Erone, e ne trasse la conseguenza che questi dovette venire dopo di lui. È questo un criterio negativo, ma al quale, ciò non ostante, non può disconoscersi un certo valore. Ma v' ha di più. Proclo somministra due dimostrazioni diverse della XXV proposizione del libro I di Euclide, l' una di Menelao, che fiorì 100 anni dopo Cristo, l' altra di Erone: ora basta esaminarle per riconoscere come improbabile che la prima sia posteriore alla seconda. Erone dovrebbe dunque assegnarsi, al più presto, al secondo secolo dopo Cristo, cioè dovrebbe ravvisarsi in lui un contemporaneo di Tolomeo, perchè, d' altro canto, in base al commentario di Proclo, lo si dovrebbe riconoscere anteriore a Porfirio, cioè alla seconda metà del terzo secolo.

L' assodare il tempo nel quale realmente Erone è vissuto ci parve necessario prima di entrare a dire con qualche particolare del contributo da lui recato alla meccanica, argomento principale della presente scrittura.

Se noi dobbiamo prestar fede alla traduzione che delle Collezioni di Pappo apprestò Federico Commandino, sarebbe da tener conto d' un libro περὶ τροχιωδιῶν, nel quale Erone avrebbe insegnato a risolvere, col sussidio delle cinque macchine semplici, il problema di Archimede consistente nel muovere un dato peso con una data forza. (1) Ma il Martin, che intorno ad Erone dettò una dissertazione eruditissima, la quale ancora oggidì deve risguardarsi come la più completa stesa intorno a questo matematico, riconobbe che la esistenza di questo libro doveva revocarsi in dubbio ed anzi doversi riconoscersene la affermazione in una inesattezza da attribuirsi ad una erronea punteg-

(1) Pappi Alexandrini *Mathematicae Collectiones* a Federico Commandino Urbinate *in latinum conversae et commentariis illustratae*, ecc. Bononiae, ex typographia HH. de Ducijs. M.DC.LX, pag. 460.

giatura del testo dal Commandino tradotto. (1) Se, ad ogni modo, non poteva sostenersi l'esistenza d'un libro di Erone, il quale portasse il titolo surriferito, restava pur sempre che del problema ivi accennato egli si occupò, e lo fece nel βαρούλκος che il Commandino analizza in parte nel luogo surriferito e della qual parte si ha anche una traduzione del Venturi. (2) In questo però non consisteva tutto il trattato di Erone, come mostrò di credere il Venturi, poichè si sapeva già trattarsi di un'opera compresa in tre libri, e preziosi ragguagli intorno ad essa forniva il Martin. Egli ci apprese infatti che Golius aveva trovato in Oriente, in una traduzione araba dovuta a Costa ben Luca, un'opera di Erone in tre libri intitolata βαρούλκος e l'aveva tradotta in latino, e che ambedue le traduzioni, l'araba cioè e la latina, si trovavano nella Biblioteca di Leida. Di quest' ultima il primo capitolo era stato dato alla luce nel *Specimen mechanicae veterum per mechanicam recentiorum plenius expositum* inserito dal Brugmans nelle *Commentationes Societatis Göttingensis.* Il Martin medesimo esprimeva la speranza che lo stesso testo greco non fosse andato perduto, e ciò sulla fede del Montfaucon, il quale aveva affermato che fra i manoscritti appartenenti alla Basilica di S. Pietro in Roma ne esisteva uno contenente due opere di Erone, cioè le πνευματικά con degli scogli, ed in seguito un « opus mathematicum de oneribus suble-

(1) *Recherches sur la vie et les ouvrages d'Héron d'Alexandrie disciple de Ctésibius, et sur tous les ouvrages mathématiques grecs conservés ou perdus, publiés ou inédits qui ont été attribués à un auteur nommé Héron;* par M. Th. Henri Martin. Nei *Mémoires présentés par divers Savants à l'Académie des Inscriptions et Belles Lettres de l'Institut Impérial de France.* Première Série. *Sujets divers d'érudition.* Tome IV. Paris, à l'imprimerie impériale, M DCCC LIV, pag. 31-32.

(2) *Commentarii sopra la storia e le teorie dell'ottica* del cavaliere Giambatista Venturi reggiano, ecc. Tomo Primo. Bologna, 1814, pe' fratelli Masi e compagno tipografi dell' Istituto, pag. 142-145.

vandis, graece. » Dietro le indicazioni del medesimo autore il Martin aveva anche richiamata l' attenzione degli studiosi sulla esistenza d' un manoscritto greco contenente le μηχανικά nella Biblioteca Marciana di Venezia e d' un altro contenente gli εισαγωγαὶ μηχανικαί, sempre di Erone, in quella dell' Escuriale. Ricerche dirette appositamente eseguite hanno dimostrata la inesistenza di questi manoscritti così a Roma, come a Venezia e a Madrid, sicchè ormai non rimaneva altro se non che riporre tutte le speranze nel codice leidense.

Che questo manoscritto venisse dato alla luce, od anche soltanto che ne fosse pubblicata la traduzione latina, era un antico desiderio degli studiosi, oggidì finalmente sodisfatto dal Barone Carra de Vaux, la cui attenzione fu richiamata sul prezioso cimelio dall' illustre Tannery; ed oggidì ormai esso è reso di pubblica ragione e per di più il testo arabo è accompagnato da una traduzione francese che lo mette alla portata di tutti. (1)

Il manoscritto arabo della Biblioteca leidense (chè la traduzione latina del Golius alla quale abbiamo accennato, è uscita da quelle raccolte insieme con le altre carte del Golius) è privo di data, ma sotto il nome d' uno dei suoi possessori si legge la cifra 849: esso fu steso dunque avanti l' anno 1445 dell' era nostra, e non molto tempo prima, secondo che gli intelligenti delle cose arabe possono giudicare dalla forma dei caratteri. Quanto alle condizioni materiali di conservazione esse appariscono sodisfacenti, od almeno tali da non rendere soverchiamente difficile la lettura: quanto all' autore della traduzione si tratta d'uno scienziato già celebre e che ebbe gran parte nel movimento scientifico e letterario della sua nazione.

(1) *Les Mécaniques ou l'Élévateur* de HÉRON D'ALEXANDRIE *publiées pour la première fois sur la version arabe* de QOSTÂ IBN LÛQÂ *et traduites en français* par M. le Baron CARRA DE VAUX. Extrait du *Journal Asiatique*. Paris, imprimerie nationale, M DCCC XCIV.

L' opera è divisa, come abbiamo già avvertito, in tre libri, il primo dei quali comincia con la trattazione del problema consistente nel muovere un dato peso con una data forza mediante un sistema di ingranaggi, e che era già noto, perchè, come abbiamo testè avvertito, si trova in Pappo citato e perchè era già stato pubblicato dal Brugmans sulla versione latina del Golius. Per sè medesimo questo problema, il quale più che altro ha forma di frammento, presenta uno scarso interesse e non ha alcun valore pratico. Noi seguiremo tuttavia l' illustre editore trattenendoci alquanto sopra di esso per chiarire il significato della parola βαροῦλκος risguardata tanto come termine tecnico quanto come titolo di un trattato. Il signor Carra de Vaux non divide infatti la opinione di chi nel βαροῦλκος volle vedere prima la macchina descritta in questo luogo, poi il titolo del primo capitolo o del primo libro del trattato, ma opina che questo vocabolo, come termine tecnico, debba conservare il suo significato già noto, debba cioè indicare una parte della meccanica, secondo la divisione degli antichi, e precisamente quella che ha per fine il sollevamento dei corpi pesanti. Ch' essa occupi qui il suo vero posto, per verità non si potrebbe affermare, ed anzi induce a dubitarne fortemente un inciso che si richiama a cose precedenti.

A questo frammento segue nel primo libro uno studio particolareggiato del moto nei cerchi, trattenendosi Erone a considerare in esso le opposizioni e le contraddizioni che si manifestano, nella rotazione di un cerchio sopra sè stesso ed in quella di due o più cerchi che ingranano, fra i movimenti dei diversi punti di questi cerchi. Le osservazioni alle quali egli è indotto sembrano condurlo a decomporre il movimento mediante la sua proiezione sopra due diametri, nozione questa della decomposizione o della composizione dei movimenti ch' egli riprende quando si fa a studiare il moto di due cerchi concentrici sopra una retta e la traslazione di un punto sopra una retta che si sposta parallelamente a sè stessa. Questi medesimi argomenti avevano del resto già fornito materia di studio ad Aristotele nelle *Quaestiones Mechanicae* (1); ma ciò che nel pensiero del filosofo riveste una apparenza paradossale, è nel meccanico chiarito mercè l' influenza che il moto del cerchio maggiore esercita su quello del minore.

La terza parte del primo libro è, si può dire, interamente geometrica. Egli vi tratta in principio del modo in cui le figure piane e solide possono essere aumentate o diminuite in un dato rapporto, e propone poi il famoso problema di trovare due medie proporzionali consecutive fra due rette date. Anche questo frammento era già noto. Pappo infatti riproduce la soluzione di Erone insieme con quelle di Eratostene, di Nicomede e con quella da lui stesso proposta: quella di Erone scrive anzi contenersi in « Heronis mechanicis et catapulticis ». (2) Ed Eutocio ancora la espone, alquanto più amplificata, nei commentari al secondo libro « de sphaera et cylindro » di Archimede, dicendo averla data Erone « in mechanicis institutionibus, librisque de telis fabricandis, » (3) la quale citazione di Eutocio apparisce pienamente giustificata, perchè nel testo arabo, tradotto dal nostro editore, alla fine del primo libro si legge « questo basta come primo discorso delle introduzioni meccaniche » le quali due ultime parole corrispondono esattamente ai « μηχανικαῖς εισαγωγαῖς » del testo greco.

(1) Aristoteles *latine interpretibus variis*. Edidit Academia Regia Borussica. Berolini, apud Georgium Reimerum, A. 1831, pag. 413-414. Cfr. a questo proposito: *Mathematisches Wörterbuch*, ecc. Angefangen von Georg Simon Klügel, fortgesetzt von Carl Brandan Mollweide. Erste Abtheilung. *Die reine Mathematik*. Viertel Theil. Leipzig, 1823, bey E. B. Schwickert, pag. 171 e seg.

(2) Pappi Alexandrini *Mathematicae Collectiones*, ecc. pag. 7, 9-10.

(3) Archimedis *quae supersunt omnia cum* Eutocii Ascalonitae *commentariis* ex recensione Josephi Torelli, ecc. Oxonii, e tipographeio Clarendoniano, M DCC XCII, pag. 136.

Risolto questo problema, riprende Erone la trattazione del primitivo argomento, toccando della necessità di trovare uno strumento che permetta di risolvere la medesima questione nel caso di figure irregolari a due o a tre dimensioni, e comincia dall' esporre alcune nozioni preliminari intese ad agevolare la dimostrazione.

Premessa una definizione delle figure simili e similmente poste, la quale per verità nè avrebbe sodisfatti gli antichi geometri, nè sodisferebbe i moderni, viene a dire come possano descriversi figure simili tanto nel piano quanto nello spazio e, senza usare della denominazione, definisce cosa sia il centro di similitudine. Mostra in appresso come possa trovarsi una figura simile ad una data o che abbia con essa un dato rapporto, tanto nel luogo dove si trovava la figura data quanto in altro qualunque, e ciò tanto per le figure piane quanto per le solide, descrivendo inoltre uno strumento atto ad effettuare queste costruzioni tanto nel piano quanto nello spazio.

Di quest' ultimo strumento però non è chiara nè la costruzione nè l' uso: parrebbe che l' autore intendesse di riferirsi a due piani coordinati; ma poi l' assestamento delle figure sulla retta d' intersezione dei due piani avviene mediante l' impiego di uno strumento del quale nè la figura nè le spiegazioni del testo chiariscono sufficientemente la forma e l' impiego. Nè una chiarezza maggiore è offerta da un capitolo successivo nel quale, dopo aver accennato alla costruzione di solidi simili, ma tali che l'uno presenti in cavo ciò che l' altro offre in rilievo, si accenna all'uso del medesimo strumento per la costruzione delle figure simmetriche.

Nella quarta sezione del primo libro è trattato dei piani inclinati e del modo di contenersi dei corpi sovr'essi collocati, e nella quinta vien definito il centro di gravità. In questo argomento si riferisce Erone ad Archimede e cita il nome d' un filosofo stoico, nel quale si credette di poter leggere « Possidonio ». Ad Archimede pure egli si richiama nell' ultima sezione di questo libro, dove è trattato dell' equilibrio e del riparto dei pesi sopra i loro sostegni, ed anzi egli cita a questo proposito un « libro dei sostegni » del matematico siracusano, con la quale citazione non pare che egli possa richiamarsi ad alcuno dei trattati già noti, ma voglia indicare un altro trattato il quale sarebbe andato perduto: tanto maggiormente degno di studio sarebbe adunque quanto intorno a questo argomento lasciò scritto Erone, se può supporsi che vi si contenga in certo qual modo un riflesso del perduto trattato archimedeo. I problemi proposti risguardano principalmente la ripartizione del peso d' una trave sopra più sostegni, nel caso in cui la trave non li oltrepassi, oppure avvenga il contrario, e nel caso in cui uno dei sostegni si trovi ad una estremità e l' altro abbia una posizione variabile. Nelle ultime proposizioni che concernono l'equilibrio d' un giogo di bilancia, tanto nel caso di braccia uguali che in quello di braccia diseguali, è fatta ripetuta allusione ad opere di Archimede, e precisamente ad un « libro delle leve », ad un « libro dell'equivalenza del peso » ed a « libri sull' equilibrio delle figure nelle quali sono impiegate le leve. » Nelle due prime, e fors' anco nel terzo, sono, secondo il parere dell'editore, da riconoscersi le perdute scritture περὶ ζυγῶν.

Il libro secondo è precipuamente dedicato alla trattazione delle cinque macchine semplici nell'ordine seguente: l' argano, la leva, la taglia, il cuneo, la vite. Ci troviamo qui in un campo che era stato largamente mietuto da Pappo, il quale alla fine del suo libro VIII trattando appunto di questi argomenti col titolo: « De quinque facultatibus, per quas datum pondus data potentia movetur » vi premette la seguente introduzione: « De quinque vero facultatibus iam dictis ex Herone expositionem breviter faciemus, ad memoriam studiosorum, addentes etiam de machina unimembri, bimembri, trimembri et quadrimembri ea quae necessario dicuntur; ne qui haec quaerit aliquando laboret inopia librorum in quibus scripta sunt; etenim nos in libros magna ex parte depravatos et tum principio tum fine carentes incidimus. » (1) Ed infatti ciò che segue, a proposito della descrizione delle cinque macchine semplici, in Pappo non è che la pura e semplice traduzione da Erone, come la pubblicazione del trattato originale testè data alla luce permette di constatarlo: anche l' ultimo paragrafo della prima sezione di questo secondo libro, concernente la combinazione della vite con un tamburo dentato, è identicamente riprodotta.

Descritte le cinque macchine semplici ed esposto il modo di usarne, passa Erone a spiegare la causa per cui « ciascuno di questi strumenti muove pesi considerevoli con una debolissima potenza », ma tutta la trattazione di questo argomento venne omessa da Pappo e omessa scientemente, tenendosi egli ad accennarvi nei termini seguenti: « quae vero caussa sicut per unamquamque ipsarum magna pondera parva omnino vi moveantur, Hero in mechanicis demonstravit ». (2) Egli comincia pertanto dal ricondurre quelle che egli chiama col nome di « potenze » ad una natura unica, la quale trova nella bilancia e nella leva la sua espressione concreta la più semplice, e nel cerchio la sua espressione astratta e per così dire simbolica; ed in ciò egli segue fedelmente Aristotele, rimanendone però molto al disotto per ciò che concerne la riduzione del cuneo e della vite alla leva; per quanto tuttavia apparisca ingegnoso il raffronto della vite col cuneo, il quale qui vogliamo riprodurre, anche per dare un saggio della esposizione originale di Erone. Esso costituisce il paragrafo diciassettesimo del secondo libro: « Non biso-

(1) Pappi Alexandrini *Mathematicae Collectiones*, ecc. pag. 482. È ben noto del resto che l'autenticità di questa appendice al libro VIII, o, per dir più esatto, la legittima sua derivazione da Pappo, è ben lungi dall'essere certa e dimostrata.

(2) *Op. cit.*, pag. 488.

» gna rappresentarsi la vite altrimenti che come un cono
» arrotolato. Il triangolo, la ipotenusa del quale descrive
» l' elica della vite, è infatti una specie di cuneo, che ha
» per vertice lo spigolo uguale all' altezza del giro della
» vite e per angolo l' angolo acuto del triangolo, quello
» appresso il quale si pone il pezzo chiamato tylos. Egli
» è così che la vite viene ricondotta a un cuneo attorti-
» gliato, arrotolato, il quale non entra in azione per ef-
» fetto di una percussione, ma della sua rotazione: lo si
» fà girare in luogo di colpirlo e il peso sembra più leg-
» gero. Ma rendendo il peso più facilmente trasportabile,
» la vite agisce al contrario del cuneo, poichè il cuneo
» agisce nell' interno del corpo e lo fende, restando il
» corpo nello stesso luogo, mentre la vite, che è un cu-
» neo attortigliato, resta essa medesima al suo posto e tira
» il peso verso di essa. — Come noi abbiamo dimostrato
» per il cuneo, che quello il cui angolo è minore muove
» il peso con una potenza più debole di quella che è ri-
» chiesta per un cuneo di angolo più aperto, importa del
» pari di dire, a proposito della vite, che quella nella
» quale la distanza fra i giri della vite è più debole muo-
» ve il peso con maggior facilità che quella nella quale
» questa distanza è maggiore, e la riduzione di questo in-
» tervallo corrisponde infatti alla riduzione dell' angolo.
» Dunque la vite nella quale il passo dell' elica è mag-
» giore esige per muovere il peso una potenza maggiore,
» e quella nella quale questo passo è minore esige una
» potenza minore. »

La terza sezione del secondo libro contempla particolarmente le combinazioni di più macchine semplici, per ognuna delle quali mette Erone in evidenza i rallentamenti di velocità che ne conseguono, chiarendo come, quanto sia più debole la potenza in confronto della resistenza, tanto più lungo sia il tempo che il lavoro richiede, chiudendo con avvertire come nel congegnare queste macchine sia sempre necessario aggiungere un eccesso di potenza destinato a vincere gli attriti dei vari organi.

La sezione quarta comprende sotto forma succinta e con notevoli varianti diciassette problemi, alcuni de' quali riproducono semplicemente quelli meccanici di Aristotele, preceduti da una introduzione nella quale, accennandosi alla necessità che coloro i quali vogliono praticare le arti meccaniche abbiano piena cognizione delle cause che agiscono in ogni movimento e ponendosi alcuni principi generali, vi si trova, secondo il parere del nostro editore, una lontana rassomiglianza con la introduzione alla *Naturalis Ausculatio*. Questi problemi (1) sono espressi per domanda e risposta, e fra essi il Carra de Vaux ne pone in particolare evidenza due, nei quali, per quanto in modo succinto ed oscuro, trovasi tuttavia esposto un concetto della gravità alquanto diverso da quello aristotelico.

La quinta ed ultima sezione del secondo libro è dedicata alla determinazione dei baricentri, che Erone insegna a determinare, richiamandosi ad Archimede e ad altri autori, per il triangolo, per il quadrangolo e per il pentagono : egli mostra in appresso come si ripartisca sopra i sostegni collocati sotto i tre vertici di un triangolo il peso o di esso triangolo oppure un peso applicato in un punto qualunque di esso, e finalmente a determinare il centro di gravità dei pesi applicati ai vertici di un triangolo e di un pentagono.

Anche degli argomenti trattati nel terzo libro di Erone un saggio era stato fornito da Pappo nei due ultimi capitoli aggiunti al libro ottavo delle sue Collezioni Matematiche, là dove tratta « De iis quae in solo ducuntur »

(1) Noto che anche GALILEO ebbe la intenzione di far seguire la sua *Meccanica* da una serie di « problemi meccanici ». Cfr. *Le Opere di Galileo Galilei*. Edizione Nazionale. Vol. II. Firenze, tip. Barbèra, 1891, pag. 190.

e « de iis quae in altum trahuntur. » (1) Nei rispetti teorici questo terzo libro offre una importanza di gran lunga minore in confronto dei precedenti ; ma non per questo esso apparisce privo di interesse, e giustamente viene richiamata dall' editore l' attenzione degli studiosi sulle analogie che alcune parti di esso presentano con alcuni capitoli di Vitruvio, sebbene nè Erone citi Vitruvio, nè il primo si trovi in qualche luogo citato o menzionato dal secondo. Questa analogia è soprattutto manifesta nella macchina per sollevare i pesi ad un solo albero chiamata col nome di μονόκωλος e che in qualche modo corrisponde alla gru, (2) e nell' altra destinata al medesimo fine, che si compone di tre travicelli e che corrisponde alla capra. (3) Molti altri procedimenti pratici in aiuto delle costruzioni aeree e subacquee vengono suggeriti nella prima sezione di questo terzo libro, de' quali alcuni sono precisamente tali quali pur ai nostri giorni vengono usati, e di questi sarebbe senza dubbio assai interessante il rintracciare le origini prime, còmpito invero assai arduo ove si rifletta che espedienti consimili devono senza alcun dubbio essere stati impiegati nelle grandi costruzioni della più remota antichità, e con tutta probabilità suggeriti dai bisogni che la pratica andava di giorno in giorno richiedendo ; ne è forse soverchiamente arrischiato il pensare che il congegno loro sia stato ideato da qualche modesto costruttore, e che allo scienziato sia stato serbato soltanto il più modesto còmpito di serbarne memoria.

(1) PAPPI Alessandrini *Mathematicae Collectiones*, ecc. pag. 489-490.

(2) *I dieci libri dell'Architettura* di M. VITRUVIO tradotti et commentati da Mons. DANIEL BARBARO, ecc. In Venetia, appresso Francesco de' Franceschi, M D LVII, pag. 449. — *Les Mécaniques ou l' élévateur* de HÉRON D'ALEXANDRIE, ecc. Paris, Imprimerie Nationale, MDCCCXCIV, pag. 164-166.

(3) *I dieci libri*, ecc. pag. 445-446. — *Les Mécaniques*, ecc., pag. 167-168.

L' ultima sezione del terzo ed ultimo libro delle meccaniche di Erone è dedicata alle macchine impiegate nell' agricoltura per ispremere il succo dalle uve e dalle olive, od in altre parole alla descrizione di varie specie di torchi, ma così le descrizioni come le figure ci sembrano ben lungi dal fornire una idea esattissima degli apparecchi quivi indicati. Quivi però, fors' anco più che altrove, ci sembra che Erone si tenga a descrivere alcuni degli apparecchi in uso al suo tempo che non a fornire esempi di applicazione da lui ideati, ed in questo ci confermiamo nel leggere una dichiarazione che si trova alla fine del penultimo paragrafo e nella quale è detto « vi sono ancora molti altri generi di torchi, ma è inutile che noi li descriviamo, perchè il loro uso è assai diffuso e perchè sono conosciuti da tutti: essi sono d' altra parte inferiori a quelli che noi abbiamo citati. » Confrontando pertanto le descrizioni di questi torchi con quelle che si trovano nelle opere di Vitruvio, di Catone e di Plinio, l' editore delle Meccaniche di Erone è indotto a trovare un forte argomento in appoggio della opinione superiormente enunciata intorno al tempo nel quale Erone sarebbe vissuto.

Tale nel suo complesso il trattato di Erone edito dal Barone Carra de Vaux ed intorno al quale, da quanto in precedenza ne era noto, il Cantor avea espresso il seguente giudizio: « An der Grenze zwischen Physik und Mathematik liegen die streng mechanischen Schriften, welche Heron von Alexandria verfasst hat. Ein Werk über die Mechanik wird uns genannt, ein zweites der Gewichtezieher, welches die von Archimed gestellte Aufgabe zu lösen sucht, eine gegebene Last mittels einer gegebenen Kraft in Bewegung zu setzen. Von beiden sind bei Pappus ziemlich umfangreiche Ueberreste erkannt worden, die indessen wenig Gelegenheit für uns bieten, Bemerkungen daran zu knüpfen. » (1)

(1) *Vorlesungen über Geschichte der Mathematik* von MORITZ CAN-

Ora i diligentissimi raffronti che è venuto via via facendo il Bar. Carra de Vaux non confermano l'esistenza di due distinti trattati come dal Cantor viene argomentata, anzi l'analisi esatta dei vari luoghi nei quali da Pappo viene accennato alle Meccaniche ed al βαρουλκος induce a conchiudere trattarsi di una sola e identica opera; e per mettere in maggior evidenza questo risultato volle l'editore porre in capo ad essa un titolo nel quale le due denominazioni, con cui lo scritto veniva designato, si trovano accoppiate.

Quanto alla importanza che questo trattato viene ad occupare nella storia della scienza, io crederei di non andar errato esprimendo l'avviso che l'aspettazione degli studiosi non sia pienamente sodisfatta, perchè in queste scritture Eroniane si sperava di trovare assai più, almeno per ciò che concerne la meccanica pratica: del resto lo aver dovuto abbassare di almeno due secoli il tempo nel quale visse Erone è un elemento il quale deve entrare per qualche cosa in un apprezzamento di simil genere.

Per ciò che concerne poi un giudizio sintetico dell'opera e delle dottrine in essa contenute in relazione con le fonti alle quali Erone attinse, ci sembra che egli si appalesi soprattutto conoscitore profondo delle opere di Archimede al quale egli rende giustizia col richiamarsi frequentemente ad esso ed alle di lui opere. Anzi il nome di Archimede è il solo che si riscontri nel trattato di Erone, ove si faccia eccezione da un altro di dubbia lettura al quale si è a suo luogo accennato. Un altro nome però avrebbe dovuto trovarsi frequentemente citato, quello cioè di Aristotele il quale, come mette giustamente in evidenza il Bar. Carra de Vaux, è in filosofia naturale il vero maestro di Erone. « Erone come Aristotele, è preoccupato

TOR. Erster Band von den ältesten Zeiten bis zum Jahre 1200 n. Chr. Zweite Auflage. Leipzig, Druck und Verlag von B. G. Teubner, 1894, pag. 350.

della ricerca delle cause, del *perchè* dei fenomeni meccanici e della riduzione di questi fenomeni a principî semplici. I capitoli che egli consacra a questo studio sono fra i più belli e meglio ordinati del suo libro ed essi imprimono all' opera tutta intera un carattere di grandiosità che la rende degna d' essere considerata molto al disopra della maggior parte dei trattati meccanici dell' antichità e di Erone stesso. Resta pur sempre ad ogni modo che egli fu ingrato verso Aristotele non lo citando, perchè l' impronta del pensiero peripatetico domina in tutto il trattato. »

Della benemerenza che il Bar. Carra de Vaux si è acquistata con tale pubblicazione ho già detto, e quantunque io non sia in grado di giudicare della fedeltà con la quale egli adempì il suo cómpito, pure le frequenti note ed osservazioni delle quali la traduzione è corredata attestano della cura ch' egli vi ha impiegata e dei gravissimi ostacoli ch' egli ha incontrati e superati. Un solo desiderio rimane allo studioso, ed è quello che in tutti quei casi nei quali, come avverte l' editore, la redazione araba è difettosa o il ragionamento è oscuro o il pensiero è mal formulato, egli, oltre alla interpretazione sua, avesse anche fornito appiè di pagina la traduzione letterale del testo originale. Questo desiderio parmi si faccia maggiormente sentire rispetto alle figure che l' editore ha, e con moltissima diligenza e certamente con gravissima fatica, accomodate all' uso moderno: ebbene, pur somministrando egli questo risultato de' suoi studi personali, parmi sarebbe stato molto gradito agli studiosi di trovare, anche, per modo di esempio, nel testo arabo, la riproduzione fassimilata della figura quale trovavasi nel manoscritto. Questo, se non altro, avrebbe offerto il vantaggio di pubblicare per intero le figure offerte dal manoscritto medesimo, mentre invece in qualche caso la difficoltà di accordare le indicazioni della figura con la illustrazione del testo consigliò l' editore di escluderla dalla sua pubblicazione.

Notice sur un manuscrit arabe traitant de machines attribuées à Héron, Philon et Archimède.

Par

Carra de Vaux à Paris.

1. Le manuscrit arabe 954 de la bibliothèque bodléienne à Oxford, dont je m'occuperai dans cet article, a été remarqué depuis longtemps. RENAN l'avait signalé à TH. H. MARTIN.[1]) Je l'étudiai il y a deux ans avec le désir de le publier, et j'en acquis une photographie: mais je reconnus que le texte était mauvais, que l'ordre des articles semblait troublé, que beaucoup de figures manquaient et que celles qui existaient étaient insuffisantes. Heureusement je découvris quelques mois plus tard que deux recueils analogues et en état meilleur se trouvaient à la bibliothèque de S^{te} Sophie de Constantinople. Le ms. 2755 de cette bibliothèque, qui contient les Mécaniques de HÉRON, selon la recension de KOSTA BEN LOUKA, renferme à la suite quatre autres traités: 1° Le livre des roues qui se meuvent d'elles-mêmes, qui existe dans le ms. d'Oxford; 2° Deux traités sur les orgues sous forme d'épîtres adressées à MOURISTOS (*sic*). 3° «Le livre de PHILON sur les appareils à air et les machines à eau». — Un autre ms. de S^{te} Sophie, le 3713, renferme «le livre de PHILON sur les appareils à air». Ce dernier est meilleur que le précédent, lequel est lui-même meilleur que le ms. d'Oxford. — En outre, il y a dans la même bibliothèque un superbe traité de mécanique qui est celui de BÉDÎ EZ-ZAMÂN EL DJAZARI. Il porte le n° 3606. Il est illustré de nombreuses figures coloriées avec le plus grand soin dans le goût persan et indien. C'est un des plus beaux manuscrits arabes que j'aie vus.[2]) Grâce à ces ressources, et, avec le concours d'un savant de Constantinople, j'espérais arriver à une publication importante sur les recueils de mécanique arabe;

1) TH. H. MARTIN, *Recherches sur la vie et les ouvrages de HÉRON d'Alexandrie*, p. 49.

2) Les lettres qui servent à la désignation des parties des figures dans ce ms. appartiennent à un alphabet spécial dit alphabet magique; la concordance de ces lettres avec les lettres arabes ordinaires est donné à la fin du volume. Le même tableau de concordance se retrouve au f° 29 du ms. d'Oxford, bien que ce ms. n'emploie que les lettres arabes.

je l'espère encore; mais les travaux d'érudition ne s'exécutent pas en Orient avec autant de régularité et de promptitude qu'en France, et je ne sais pas encore quand cette publication sera prête. Aussi crois-je être agréable aux lecteurs de la Bibliotheca Mathematica en leur donnant, sans plus attendre, une analyse un peu développée du ms. d'Oxford.

2. Ce ms. a pour titre général: «Ce qu'a tiré HÉRON du livre de PHILON et d'ARCHIMÈDE les Grecs, touchant la traction des fardeaux, et les balles et les eaux et les vases et ce qui y ressemble». Il n'est pas bien sûr que ce titre soit contemporain du manuscrit; il est visible, en tout cas, qu'il ne doit pas être pris à la lettre. Nous n'avons pas ici une traduction d'un ouvrage de HÉRON, mais bien une recension faite par un oriental d'après les travaux de HÉRON, de PHILON et d'autres. Ce texte renferme beaucoup de mots techniques persans.[1] Il y a lieu de croire que les arts mécaniques ont été transmis des Grecs aux Arabes par l'intermédiaire des Persans.

3. L'ouvrage débute par une petite section qui, sous le titre: «Premier recueil d'instruments et d'appareils», ne comprend que 3 appareils. Le 3ème est l'amphore d'où sortent à volonté quatre liquides, truc bien connu.[2] Les deux premiers sont des pompes. 1° Une pompe à soufflet destinée à faire monter l'eau d'un puits. Le puits est fermé en haut; le soufflet, cylindrique et ajouré, descend le long de la paroi; il est muni en bas d'un collier de plomb qui le maintient adhérent au sol du puits. Dans le couvercle du soufflet est monté un tuyau qui ressort en haut du puits. Un levier, placé à l'extérieur, sert à élever ou à abaisser le système du tuyau et du soufflet. Quand on l'élève, les jours du soufflet s'ouvrent et l'eau pénètre à l'intérieur; quand on l'abaisse l'eau se trouve refoulée dans le tuyau.[3] — 2° Une pompe aspirante et foulante à double jeu, tout-à-fait comparable à l'appareil XXVIII (p. 131) de HÉRON, mais moins bien décrite.

4. Après ces trois appareils s'ouvre un chapitre intitulé: «Le livre des roues qui se meuvent d'elles-mêmes». C'est un titre que nous avons déja rencontré dans le ms. 2755 de Ste Sophie. J'ai beaucoup hésité sur le sens de ce chapitre; je me refusais à croire ce qu'il me semblait comprendre. Il paraît bien pourtant qu'en définitive il n'y a pas de doute:

---

1) Dans un traité des clepsydres que j'ai analysé dans le Journal Asiatique (*Notice sur deux manuscrits arabes,* 1891, I, page 295), j'ai rencontré aussi beaucoup de mots persans.

2) V. dans le premier volume des œuvres de HÉRON dans la collection Teubner, éd. WILHELM SCHMIDT, l'appareil XVI de PHILON, p. 489.

3) Ce soufflet est comparé à celui des orfèvres dont le nom téchnique est *zouqi* ou *zouaqi*.

c'est un recueil d'appareils chimériques destinés à réaliser le mouvement perpétuel. S'il devenait certain plus tard que je me suis trompé, l'on devrait m'excuser à cause du mauvais état du manuscrit et de l'extrême grossièreté des figures. Mais, je le répète, je ne crois pas faire erreur. Déjà à la fin de la description de la seconde pompe ci-dessus, était ajoutée une glose dans laquelle l'auteur de la recension recommandait d'adapter au levier de la pompe une roue à poids du genre de celles qui tournent d'elles-mêmes, afin que l'eau montât perpétuellement. Il semble bien au reste que l'idée de construire des roues à mouvement perpétuel ait été inspirée par la vue des moulins à eau que le courant fait tourner toujours. Mais je ne pense pas que dans ce chapitre, il puisse s'agir, sauf pour l'appareil 3, de simples moulins à eau.

Les deux premiers appareils du « Livre des roues qui tournent d'elles-mêmes », sont obscurs. A la fin de la description du premier, auquel manque la figure, l'auteur dit: « Ce ms. a été gâté. Au lieu de cet appareil, on en a copié un autre dans le recueil *el-barcha'chi*, et nous n'avons pas pour lui de figure; restituez-la d'après l'explication ». Le recenseur disposait évidemment d'un mauvais manuscrit.

L'appareil 3 est une jolie machine qui peut s'expliquer par l'action de l'eau courante sans qu'on ait besoin de recourir au mouvement perpétuel. L'eau tombant sur une roue à palettes entraine la rotation d'un axe vertical auquel est liée la figure d'un bœuf; et un engrenage placé en haut de l'axe, conduit le mouvement d'une chaine à godets qui élève une portion de l'eau. On a l'illusion que c'est le bœuf qui fait tourner la machine et qui monte l'eau.[1])

L'appareil 4 manque; le 5 est obscur. Le 6, plus clair, nous fournira un bon exemple de ce que l'auteur croit être une roue à mouvement perpétuel: autour d'une roue sont disposés des petits récipients ayant la forme d'un tube terminé par deux renflements ovoïdes. Ces récipients sont placés obliquement. Ils contiennent une certaine quantité de mercure qui passe d'un renflement à l'autre pendant que la roue tourne. Le poids du mercure qui est dans le renflement le plus éloigné du centre l'emporte, d'après la loi du levier, sur le poids du mercure dans le renflement le plus rapproché; et comme, à cause de l'inclinaison des récipients, le mercure vient toujours près du centre d'un côté de la roue et s'en éloigne de l'autre, il s'ensuit que le mouvement ne s'arrête jamais. —

1) Il y a dans ce numéro un détail curieux pour l'histoire de la peinture: Ce qui n'est pas en cuivre dans l'appareil, apparemment ce qui est en bois, est décoré au moyen de « couleurs mêlées avec de l'huile de lin, broyées avec elle sur les pierres ». Ces couleurs, est-il dit, ne sont pas altérées par l'eau ni par autre chose, sinon en un temps très long.

Dans un appareil ajouté au f° 57, la même idée est appliquée à une roue à sections en spirale. — Un effet analogue est obtenu dans l'appareil 8, au moyen d'espèces de chapelets de poids: des segments de bois sont enfilés dans des chaînes de longueur fixe et sectionnés obliquement de telle sorte que, quand ils se rejoignent les uns les autres, ils se disposent en courbe. On place un certain nombre de ces chapelets autour d'une roue. Vers le haut de la roue, les segments de bois, par l'effet de leur pesanteur, se ramassent sur la circonférence; vers le bas, au contraire, ils glissent le long de la chaîne, en s'éloignant de la circonférence. A cause de l'obliquité de leur section, ils commencent à glisser plus vite d'un côté de la roue que de l'autre. De ce côté là, leur poids l'emporte, parce qu'il agit plus loin du centre, et la roue tourne.

L'appareil 7 est obscur. Des poids lourds servent de moteurs. Cette machine, est-il dit, a une très grande force. — Enfin l'appareil 9 a l'air d'une plaisanterie: C'est un système pour arrêter ces roues. Il s'agit d'enclancher une certaine pièce de bois: «Si vous vous trompez sur la place du bois, vous ne pourrez pas arrêter la roue quand même vous seriez 10 000 hommes.»

Je suppose que ces rêveries sur le mouvement perpétuel ont pu prendre naissance peu après l'invention des moulins à eau. Il est à remarquer que ce chapitre contient des mots persans.

5. Après le Livre des roues qui se meuvent d'elles-mêmes, vient un traité sur la «construction des horloges à balles et à corbeau» comprenant seulement deux numéros (f^os 19—25). Le mécanisme même de l'horloge n'est pas expliqué dans ce morceau, et il est probable qu'il faut le lier à un fragment d'une page qui se trouve à la fin du ms. (f° 95) et où est expliqué la construction de la clepsydre. Ce fragment est attribué à ARCHIMÈDE: on sait que les Arabes attribuaient généralement à ARCHIMÈDE un traité des clepsydres. Nous en avons analysé un qui est placé sous son nom, dans le Journal Asiatique 1891, tome I. La clepsydre y est décrite identiquement comme dans le fragment dont nous parlons maintenant, si ce n'est que dans celui-ci la description est inachevée. Ce fragment débute par ces mots: «ARCHIMÈDE a dit: ô mon cher ARISTON [1]), je veux t'expliquer comment on construit les horloges d'eau et le mécanisme des balles et d'autres mécanismes, afin de satisfaire ton désir d'être instruit en cette matière.» Puis ARCHIMÈDE explique la construction des trois caisses superposées qui forment la clepsydre: celle du milieu contenant le flotteur, celle d'en haut la poulie, liée au flotteur par une chaîne, qui transmet le mouvement aux divers mécanismes, celle d'en bas servant

1) Le texte porte MARISTON.

de réservoir à l'eau tombée de la clepsydre. Le régulateur qui assure la constance de la vitesse d'écoulement n'est pas décrit dans cette page.

Revenons aux appareils des folios 19—25. Ils sont assez compliqués; mais ils se ramènent en somme à des jeux de leviers. Dans le premier appareil, un fléau à bras inégaux, mobile sur deux tourillons, a, à l'extrémité de son bras le plus long, une espèce de cuiller. A l'extrémité du bras court il porte un plateau au-dessus duquel débouche une espèce de trompe inclinée, liée au plateau et qui bascule quand le plateau monte. Les balles, arrivant d'en haut, tombent des deux côtés du fléau. Celle qui est tombée dans la cuiller fait baisser le fléau de ce côte; elle-même continue à tomber et va sortir par le bas de l'appareil. La balle tombée du côté du plateau est absorbée par la trompe au moment où ce côté du fléau s'élève; la trompe bascule et fait remonter la balle sur un cercle, à un niveau plus élevé que celui où elle était sur le plateau. Une clé, liée au plateau par l'intermédiaire d'un fil, ne laisse tomber qu'une balle à la fois.

Le second mécanisme est encore plus complexe et la figure en est détestable. En voici le principe: Un oiseau appelé *bigâ* dont la partie inférieure du bec est mobile, sort la tête, et crache la balle comme dans la clepsydre ordinaire.[1] La balle tombe sur le sol d'une arcade. De l'autre côté de l'arcade, en face de la *bigâ*, sort un corbeau qui ouvre le bec, recueille la balle et l'avale. La tête du corbeau joue le rôle de la trompe du numéro précédent. Elle est placée à l'extrémité d'un fléau, à l'autre bout duquel est un plateau où tombe une autre balle. Un système de clé comme ci-dessus, lié au corbeau, ne laisse tomber les balles qu'une à une. — La figure donne en plus l'image d'une servante qui tourne pendant le mouvement, au moyen d'une poulie et d'un fil lié au fléau de la *bîgâ*.

Ce ne sont là en somme que des bascules. Ces appareils peuvent être anciens. Je ne sais s'il conviendrait de les attribuer à Ctésibius plutôt qu'à Archimède.

6. Au f° 26 commence une série de 15 appareils numérotés, qui ne porte pas de titre général. La plupart de ces appareils sont intéressants.

Les cinq premiers sont des systèmes hydrauliques: 1° Un mécanisme de bascule. D'un côté de la bascule est le seau qui prend l'eau; de l'autre côte s'appuie un plan incliné mobile, sur lequel on monte pour abaisser ce côté de la bascule et élever le seau. Le système est double. — 2° Une chaîne à godets mue au moyen de deux poulies inégales; on déroule avec

---

1) V. notre *Notice sur deux manuscrits arabes;* Journal Asiatique 1891. I, p. 301.

la plus petite poulie une corde enroulée sur la plus grande qui commande le mouvement de la chaine. Il est dit que ce système est analogue à celui qu'emploient les cordiers pour tordre les fils, et qu'il est très aisé. — 3° Une amphore en cuir de bœuf que l'on élève à l'aide d'un treuil. — 4° Une chaine à godets mue par une grande roue dans laquelle marche un homme. Cette roue a une porte et est percée de jours pour la ventilation. — 5° Un train d'engrenages meut une roue d'où sortent quatre pieux. Chacun de ces pieux appuie successivement sur l'extrémité d'une bascule à l'autre bout de laquelle est le seau qui prend l'eau; après le passage de chaque pieu le seau retombe dans l'eau. — Tous ces systèmes sont ingénieux et pratiques.

Le 6 et le 7 sont des jets d'eau. Dans 6, le jet arrive dans une pomme au centre de laquelle est un disque de plomb percé de trous obliques. L'eau s'échappe en nappes, en vasques, en pluie, par ces trous, et sort en jet par le sommet de la pomme. — Dans 7, on monte sur le jet une tête de chèvre formant robinet, et, suivant le sens où on la tourne, l'eau passe par cette tête ou par différents trous. — Le jet d'eau dans ces deux systèmes est obtenu par le procédé usuel des vases communiquants.

8 est une sorte de cloche à plongeur. On y met un flambeau allumé. La cloche a l'aspect d'une chambre à quatre fenêtres ouvertes. Quand on plonge l'appareil dans l'eau et qu'on le retire le flambeau ne s'éteint pas. Cet effet est obtenu en rendant le sol de la chambre mobile et en y soudant des parois intérieures. Quand l'appareil entre dans l'eau, le sol monte et les parois viennent boucher les fenêtres; une corniche contre laquelle elles buttent sert d'obturateur.

9 est un jeu bizarre: un encrier ayant la forme d'un dé cubique ou octaèdre est percé d'un trou dans chacune de ses faces. Sur quelque face qu'on le tourne, on y peut prendre l'encre, sans que jamais elle se renverse. Le dispositif intérieur qui permet d'obtenir ce résultat n'est autre qu'une suspension à la CARDAN: Un récipient central, contenant l'encre, est monté sur un double système de tourillons constituant deux axes qui se croisent à angle droit. Le texte ajoute: «Ce truc est comme celui du trône de SALOMON fils de DAVID. Lorsqu'une personne connaissant ce trône, s'y asseoit, le trône tient; quand c'est une personne qui ne le connait pas, le trône se renverse.» Le nom de SALOMON donné à un jeu populaire nous reporte vraisemblablement à l'époque musulmane.

Les systèmes 10 et 11 sont des instruments à vapeur. Dans 10, un feu est allumé au-dessus d'un réservoir d'eau. Un tuyau sortant de ce réservoir vient se recourber au-dessus du foyer et y amène la vapeur. Celle-ci souffle le feu. — 11 est fondé sur le même principe; mais la vapeur, au lieu d'être ramenée sur le feu, est employée à faire siffler des oiseaux. Le rédacteur avertit que ce procédé peutêtre généralisé: «Il y a aussi de ces appareils qui sont à jet: la vapeur sortant de la bouche d'une image, lance une flèche... Vous ferez en ce genre tout ce que vous voudrez.» L'homme qui écrivait ces lignes était bien près d'avoir une idée nette de la force de la vapeur.

L'appareil 12 est un oiseau qui siffle par le passage de l'air comprimé par l'eau. Ce système est connu. — Le 13 est encore un appareil siffleur qui prend l'importance d'une véritable sirène. C'est une turbine divisée en compartiments. L'air des compartiments qui entrent dans l'eau pendant la rotation, se trouve comprimé par l'eau; il est refoulé vers le centre de la turbine d'où il s'échappe au dehors par des passages étroits en produisant un sifflement. — Le 14 est un appareil obscur qui rappelle les machines à mouvement perpétuel. C'est une turbine avec deux cercles divisés par des sections en spirales, l'un intérieur, l'autre extérieur. Les spirales sont tournées dans un certain sens, dans le cercle intérieur et en sens opposé dans le cercle extérieur. Les sections communiquent d'un cercle à l'autre. L'auteur paraît croire que cette turbine pourra élever l'eau d'un lieu où elle est stagnante, sans intervention d'aucune force. Evidemment l'auteur de tout ce recueil était hanté d'idées chimériques sur le chapitre spécial des moulins à eau. — Enfin l'appareil 15 est une espèce de geyser: une caisse munie d'un gros tuyau dans sa partie inférieur et d'un tube plus petit et recourbé dans sa partie supérieure, est plongée brusquement dans l'eau. L'air, comprimé, s'échappe par le petit tube, en projetant une partie de l'eau.

En somme, ce recueil est curieux. Il paraît témoigner d'un progrès des arts mécaniques sur plusieurs points. Nous y avons remarqué des systèmes variés de machines hydrauliques et de jets d'eau, une idée de la sirène, une plus grande habitude des effets de la vapeur, la connaissance précise de la suspension à la CARDAN. L'intervention de la légende salomonienne dans ce chapitre semble indiquer que sa dernière rédaction est d'une époque très tardive.

7. Le traité attribué à PHILON dont il nous reste à parler, a, au contraire, un cachet bien archaïque. Il est regrettable que le texte en soit assez maltraité dans le ms. d'Oxford et que beaucoup de figures manquent. Heureusement, comme nous l'avons dit, les manuscrits de Constantinople sont meilleurs.

Le livre de PHILON tient toute la seconde moitié du ms. d'Oxford, du f° 49 au f° 94. Il comprend 24 articles non numérotés. Le titre est: «Livre de PHILON sur les machines à air dans les coupes et les cruches»; et le début: «J'ai appris, mon cher ARISTON, le désir que tu avais de connaître les machines élégantes; c'est pourquoi j'ai voulu te dédier ce livre, pour que tu y trouves ta satisfaction.» Aussitôt après commence la description du premier appareil. Le début est un peu plus allongé dans les manuscrits de Constantinople, et il se rapproche davantage de celui du texte latin du *De ingeniis spiritualibus*: — «Livre de PHILON sur les appareils à air et les machines à eau. Il dit: J'ai appris, mon cher ARISTON, le désir que tu avais de connaître les machines élégantes: c'est pourquoi j'ai voulu te répondre en te dédiant ce livre, afin qu'il te serve de modèle en tout ce que tu recherches sur la mécanique. Je commencerai d'abord par la construction des appareils à air. Beaucoup de choses en chacun de ces arts ont été connues des savants antérieurs; car les philosophes qui . . . etc.». Le volume du livre de PHILON dans ce ms. est beaucoup plus considérable que dans le ms. d'Oxford; l'ordre ne paraît pas être le même dans les deux textes. Le second numéro du ms. d'Oxford ne se trouve qu'à la 18ème page du ms. de Ste Sophie. Je pense que mon collaborateur, de qui je tiens ces détails, parle du ms. 3713 de Ste Sophie. Je ne suis d'ailleurs pas capable pour le moment de donner plus de renseignements sur les textes de Constantinople, et je reviens à l'analyse du texte d'Oxford.

1er appareil; l'amphore dite la voleuse de vin. C'est un appareil connu, du type de celui que décrit HÉRON, page 66. — Les appareils 2 et 18 sont aussi des voleuses de vin. Ils sont appelés du nom persan qui a cette signification: *mai dozd*. Le 2 est du même type que le 1; mais il est divisé en deux compartiments, l'un pour le vin l'autre pour l'eau. Le 18, où la figure manque, est une voleuse de vin dans laquelle tout ou partie du liquide disparaît suivant que l'on tourne un tube dans un sens ou dans un autre. L'effet est naturellement obtenu au moyen d'une communication de trous que tantôt on établit et tantôt on intercepte.

Une autre série d'appareils se rattachent à ceux-là, fondés sur une combinaison de coupes. On place une petite coupe dans une plus grande. Le bord de la grande est recourbé au-dessus du bord de la petite, de façon que pour l'œil il n'y ait qu'une seule coupe; mais sous ce bourrelet peut passer soit l'air, soit le liquide. Un trou est percé au fond de la plus grande coupe et communique avec un tuyau. Si le tuyau débouche dans un réservoir fermé, et qu'on verse de l'eau dans la petite coupe, au moment où cette eau arrive au niveau du rebord, la communication du tuyau avec l'air extérieur est interceptée, et cela peut donner lieu, dans la coupe ou dans le réservoir, à différents effets. — Dans l'appareil 4, par exemple, le réservoir d'où l'eau tombe dans la coupe est précisément celui auquel aboutit le tuyau, en sorte que, au moment où la coupe est remplie jusqu'au bord, l'air ne pouvant plus passer par le tuyau, le vide se fait dans celui-ci et dans le réservoir et l'écoulement cesse. — Les

3*

appareils 19 à 24, qui sont sans figure, ont le même principe. Ils sont aussi appelés voleuses de vin. Les effets qui s'y produisent sont des effets de syphon. Dans plusieurs de ces appareils, des figures d'animaux placées sur les coupes semblent boire tout ou partie de ce qu'elles renferment. Au n° 24, c'est l'opérateur lui-même qui boit sans incliner la coupe; au n° 22 il boit à volonté le liquide de la coupe intérieure seulement, ou aussi le liquide qui est contenu dans l'espace entre les deux coupes.

Les animaux buveurs sont un type d'appareil affectionné par les anciens mécaniciens. Voyez Héron, *Opera*, Tome 1, page 137 et suivantes. Dans notre traité, nous avons en ce genre, outre les appareils que nous venons de citer, les numéros 8 et 9. Il s'agit toujours d'amorcer un syphon qui passe dans le ventre de l'animal. Ces appareils peuvent être disposées pour servir de lavabos. Dans 8 notamment, l'eau sort d'un robinet venant d'un réservoir supérieur; on se lave les mains avec elle, et elle tombe ensuite dans ~~une~~ cuvette où un cheval penche sa tête. Quand cette eau a atteint un certain niveau dans la cuvette, elle bouche un trou d'air, le syphon s'amorce et le cheval la boit. Au lieu du robinet, on place plus élégamment la figure d'une servante inclinant une aiguière.

L'appareil 5 est de type plus compliqué, mais ne diffère pas essentiellement des précédents. Une figure de servante en cuivre ou en argent tient dans sa main gauche une coupe. Elle y verse d'abord du *nebîd* (vin de dattes) en quantité déterminée, puis de l'eau qui se mélange à ce *nebîd*. La tête et la poitrine de la servante constituent un réservoir partagé en deux, où circulent des tuyaux pour l'écoulement des liquides et pour l'appel d'air. Le bras gauche est un levier mobile sur un tourillon situé sous l'épaule. Quand on place la coupe dans la main, tout le bras s'incline, et l'autre côté du levier se mouvant débouche successivement deux trous d'air pour le passage du *nebîd* et de l'eau. Si l'on ôte la coupe, le levier bascule en sens inverse, les deux trous se rebouchent et l'écoulement cesse.

Le numéro 3 nous apprend à construire un vase dont il ne sort, à chaque fois qu'on ouvre le robinet, qu'une quantité d'eau déterminée. Il y a tout simplement, à l'intérieur du vase, une chambre de la capacité voulue, qui communique avec le robinet. Cette chambre est munie d'une porte ouvrant sur l'intérieur du vase. Quand on ferme le robinet, un fil tire cette porte qui s'ouvre, et la chambre se remplit d'eau; quand on ouvre le robinet, la porte se referme par son propre poids, et il ne sort du vase que l'eau contenue dans la chambre.

L'appareil 6 est du genre de ceux qu'on adapte aux clepsydres. Il comporte deux fléaux, l'un terminé par une cuiller où tombe de l'eau, l'autre par une main où tombent des boules. Quand la cuiller est pleine, elle bascule, et l'autre extrémité du fléau tire un fil qui ouvre la clé des boules: une boule tombe sur la main qui s'incline, ouvrant une porte. On prend la boule offerte par la main et on l'ouvre: elle contient la figure d'un homme qui fait ses ablutions avec l'eau tombée dans la cuiller. Cette idée de mettre un homme dans chaque boule paraît fantaisiste, et l'action de cette figure humaine n'est pas détaillée mécaniquement. — L'appareil 7 est une variante simplifiée du précédent: La main tient une coupe: quand cette coupe est pleine, elle fait incliner la main qui ouvre la porte. On prend la coupe, la main remonte et la porte se referme.[1]

Les appareils 10, 12 et 13 sont faciles. Ce sont des aspersoirs. Une petite pompe foulante est placée dans un vase. Quand on presse de l'extérieur sur son piston, l'eau jaillit par une pomme d'arrosoir, ou par un bec d'oiseau, etc. — L'appareil 14 a peu d'intérêt. Une amphore est munie, en guise de pied, d'un tube qui remonte à l'intérieur jusque vers son col. Si l'on essaie de remplir cette amphore par le haut, toute l'eau s'écoule par ce tube: mais si on la plonge dans l'eau, celle-ci se répand autour du tube et tient dans le vase.

Les appareils 11, 15, 16 et 17 sont des flotteurs dont l'effet est joli et le principe fort simple. Des figures montées sur de petits flotteurs s'élèvent plus ou moins vite quand on verse de l'eau dans les vases qui les contiennent, et redescendent quand l'eau s'écoule. Il y a des tiges sous les flotteurs qui les séparent inégalement du fond du vase, de façon que le niveau de l'eau, quand on la verse, les atteint plus ou moins tôt. On obtient ainsi, par exemple, l'appareil 15: Dans un espace clos se dresse un arbre, sur lequel est un oiseau qui couve ses petits. D'un trou ouvert à la racine de l'arbre sort un serpent qui vient menacer les poussins: lorsqu'il en est tout près, l'oiseau se lève en déployant ses ailes. Le mouvement des ailes est ingénieusement commandé par une tige fixée au sol de la chambre, qui traverse le flotteur et le tube portant l'oiseau. Cette tige rend fixe le point milieu où se rencontrent les deux ailes sur le dos de l'oiseau; celles-ci, formant levier, s'élèvent alors sur les côtés.

Il semble donc que tous ces appareils sont de types antérieurs à ceux décrits par HÉRON. La physique en est bonne; ils sont ingénieux, élégants et simples. Je suis porté à croire que leur attribution à PHILON est authentique.

En terminant, je rappellerai seulement la phrase de HADJI-KHALFA sur les appareils pneumatiques. Il dit: « Les plus célèbres ouvrages [arabes]

---

[1] V. notre *Notice*, p. 303 et 304; mais j'ai dû faire erreur en parlant de ressort. Je ne crois pas qu'il y ait de ressort dans tous ces appareils; des poids en font fonction.

en ce genre sont la mécanique des fils de Mousa fils de Châkir[1] et un abrégé par Philon et un livre étendu par Bédi el-Djazari.» Nous possédons, ai-je dit, le livre de Bédi. L'abrégé de Philon est sans doute le dernier traité dont nous venons de parler. Faudrait-il attribuer aux célèbres fils de Mousa le reste du recueil? Je ne sais: mais cette attribution n'aurait rien d'invraisemblable.

1 Célèbres mathématiciens du temps de Motadid (892 à 901). V. l'*Histoire des Dynasties* d'Abou'l-Faradj (éd. Salhani, p. 264).

فهرس المحتويات

طبع في ٥٠ نسخة

نشر بمعهد تاريخ العلوم العربية والإسلامية
بفرانكفورت - جمهورية ألمانيا الاتحادية
طبع في مطبعة شتراوس، مورلنباخ، ألمانيا الاتحادية

العلوم الطبيعية عند العرب والمسلمين

٣٨

هيرون الإسكندراني عند العرب

نصوص ودراسات

جمع وإعادة طبع
فؤاد سزكين

بالتعاون مع
كارل إيرج-إيجرت، إكهارد نويباور، فريد بن فغول

١٤٢٢هـ - ٢٠٠١م
معهد تاريخ العلوم العربية والإسلامية
في إطار جامعة فرانكفورت - جمهورية ألمانيا الاتحادية

منشورات
معهد تاريخ العلوم العربية والإسلامية
سلسلة العلوم الطبيعية عند العرب والمسلمين
المجلد ٣٨

منشورات

معهد تاريخ العلوم العربية والإسلامية

يصدرها

فؤاد سزكين

العلوم الطبيعية عند العرب والمسلمين

٣٨

هيرون الإسكندراني
عند العرب

نصوص ودراسات

جمع وإعادة طبع

١٤٢٢هـ - ٢٠٠١م

معهد تاريخ العلوم العربية والإسلامية

في إطار جامعة فرانكفورت - جمهورية ألمانيا الاتحادية