

V¹⁾.[?] ¹⁾

Vulgò existimant verum quendam motum esse qui relativo opponatur. Borellus²⁾, Mariotte³⁾, an Pardies⁴⁾, Newton, an Wallisius⁵⁾?
me in circulari motu diu credidisse κριτήριον existere veri motus.

Qui verum motum absque aliorum corporum respectu⁶⁾ sibi imaginantur videntur non posse in corporibus liberis simpliciter motum discerni vel dijudicari, cum in ipso spatio infinito quod sibi immobile fingunt, nihil inveniat sensus unde iudicium ejusmodi exoritur. Sed in corporibus circulariter motis putarant κριτήριον veri motus haberi.

Consideratio motus terræ an non hic verus sit dicendus.

motus circulationis est motus relativus in rectis parallelis, mutata continuè directione, et manente distantia propter vinculum.

¹⁾ La Pièce est empruntée à la première, à la troisième et à la quatrième page d'une feuille détachée (Portef. L, p. 10 et 11); il y est fait mention des „Principia” de Newton, publiés en 1687.

²⁾ G. A. Borelli dans son livre „De Vi Percussionis” de 1667 (voir p. 106 note 4 du Tome VI) écrit p. 3 et 4: „Transitus motus localis aut fit ab uno ad alium locum spatij mundani, aut in spatio relativo alicuius continentis vasis, ille appellabitur motus realis, & physicus, hic vero vocabitur motus relativus, licet multoties situm non mutet in loco, vel spatio universi, finge enim nautam à prora ad puppim navis ambulare, & interea navim totam à fluminis cursu aequali velocitate contrario motu ferri, constat nautam duobus motibus contrariis agitatum inter se aequalibus proprio nempe, & ipsius navis semper in eodem situ spatij mundani consistere, tunc quidem negari non potest vere moveri licet ab uno ad alium locum universi non transferatur”.

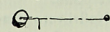
Le cas du matelot se promenant sur un vaisseau (ἐκ τῆς πύρας εἰς πύρωνα) avec une vitesse égale et contraire à celle du vaisseau avait déjà été considéré dans l'antiquité par le philosophe sceptique Sextus Empiricus (ed. H. Mutschmann, Vol. II „Adversus dogmaticos”. Lipsie, Teubner, 1914, p. 314—315). Sextus conclut, comme Borelli, que l'homme (ou plutôt un bâton qu'il porte) est certainement en mouvement quoiqu'il ne sorte en aucune façon du lieu où il se trouve (θῶνται οὐν τι κινῆσθαι μεταβατικῶς ὅσπερ καθ' ἑαυτὰ οὐτε κατὰ μέρος ἐκβαίνει τοῦ ἐν ᾧ ἔστι τόπου).

Huygens fait observer ailleurs (Portef. L p. 8) qu'apparemment Borelli prend ici la terre immobile par rapport au „spatium mundanum”: „Borellus... pag. 3 verum realeam ac physicum motum vocat cum transfertur corpus ab uno ad alium locum spatij mundani. Relativum qui in spatio relativo alicujus continentis vasis. mun-

motus circularis in uno corpore est motus respectivus partium, manente distantia propter vinculum.

dato corpore uno vel pluribus conjunctis⁷⁾ quæ circa centrum aliquod moveantur, potest colligi, ex vi centrifuga, quantam celeritatem circularem acceperint. sed et hæc relativa est inter illa corpora

[Fig. 4.]



vel inter unius partes. non tamen cognoscetur quantum veri motus partibus singulis insit, hoc est respectu spatij, ut fingunt, immoti. nam et illorum arbitrio, quod circulariter movetur simul et recto motu totum, sive ex pluribus junctum progredi potest quo itaque et partes feruntur. qui rectus motus quatenus sit verus, nullo signo discerni posse fatentur. Itaque tantummodo hoc cognoscetur quanta sit circularis motio, hoc est quanta sit relativa conjunctorum, vel partium unius corporis. non cognoscetur etiam positus duobus conjunctis utrum eorum impressionem ab impellente acceperit, aut quantam singula.

Quærentibus quid sit motus, hoc unum occurrit corpora moveri dici cum eorum inter se, vel ad alia quævis situs ac distantia mutatur. quiescere cum servant inter

danum locum seu spatium pag. 4 vocat quod respectu terræ definitum est ac immotum. Ergo terra ipsi quiescit.”

En comparant l'observation de Huygens avec le texte de Borelli on constate de nouveau (voir la note 6 de la p. 195) l'ambiguïté des expressions „motus verus” et „vere moveri”.

Notons encore que dans son ouvrage „Theoricæ Medicorum Planetarum” de 1666 (ouvrage nommé à la p. 105 du Tome VI) Borelli parle au contraire, à la p. 6, d'un „mundanum spatium” par rapport auquel les étoiles fixes sont en repos, et cela comme d'un espace généralement adopté („Rursus omnes planetæ tres habent periodos, quorum prima dicitur restitutionis in eodem situ universi, seu mundani spatij, quæ quidem respectu fixorum syderum considerari solet”).

³⁾ Comparez la p. 209, premier alinéa.

⁴⁾ I. G. Pardies „Discours du mouvement local” (1670); voir notre T. VII, p. 18, note 1. Dans le recueil „Oeuvres de mathématiques, contenant les éléments de géométrie, un discours du mouvement local, etc. par le P. I. G. Pardies S. J. Amsterdam, chez Pierre de Coup, 1725”, on lit (chap. XIX du Discours nommé): „J'appelle vitesse absolue, celle qui se considère dans un corps comparé avec l'espace dans lequel il se meut; & vitesse respectueuse celle qui se considère dans deux corps comparés ensemble, par laquelle vitesse ces deux corps s'approchent ou s'éloignent mutuellement l'un de l'autre”. Notons que Pardies, en employant le terme „vitesse absolue”, ne songe apparemment pas à une vitesse de la terre par rapport à l'espace, puisqu'il dit dans la Préface de sa Statique qui est „une suite” du „Discours du Mouvement local” (p. 109 de l'édition nommée) que la Mécanique „affirme inébranlablement la terre sous nos pieds” et que „c'est elle qui donne le branle à tous les Cieux”.

⁵⁾ Comparez la note 22 de la p. 205 de ce Tome. Wallis ne parle point d'un mouvement „vrai” ou d'un mouvement „relatif”. Il se contente de dire (p. 3008 de l'ouvrage cité): „Phænomena eadem contingunt omnia apud nos in terra positos, sive cum terra junctim ferantur omnia communi motu, sive una cum Terra quiescant”.

⁶⁾ Leçon alternative: „intuitu”.

⁷⁾ Leçon alternative: „cohærentibus”.

se et ad alia situm et distantiam. Nihil adhuc aliud de motu concipimus. Jam quomodo spatium immotum concipere te dicis cum nihil aliud de quiete cognoscas quam hoc ut relativa sit ad alia corpora?

Spatij quietis hanc ideam habent, ut si a foco ad fenestram accedam, manere dicant spatium juxta focum, è quo excessi, sed nimirum cubiculi respectu.

Frustra inquiritur quis sit verus motus iste, cui bono enim? Nostri vero principij, nempe motum non alium quam relativum esse, utilitas et consequentia insignes sunt. Velut quod concessio corpus quiescens perseverare in quiete nisi ab alio pellatur, hinc sequitur necessario, corpus libere motum pergere moveri eadem celeritate nisi ab alio impediatur. nihil enim interest inter simul libere moveri et simul quiescere.

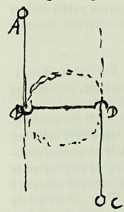
Corpus ex nova impressione novum motum concipere existimant, etiam nullius alterius corporis respectu; inque ipso motu violentum quid inesse putant, adeo quidem ut rapiditate summa vel disperdi ac dissolvi corpora possint¹⁾. at mihi nihil efficit in corpore quantacunque impressio, nisi ut situm ac positum ejus mutet aliorum relatione.

posito definito numero fixarum inter se quiescentium, oportet illis incertum esse, utrum maximo motu recto omnes una abripiantur, an quiescant.

Spatium mundanum infinite extensum quiescere concipiunt. nempe spatium absque corporis ullius conceptu. Tale vero spatium non est substantia sed nihil continet. Ergo illud nihil quiescet.

moveatur corpus A in recta AB; corpus vero C in linea CD ipsi AB parallela²⁾, hæc corpora inter se ac mutuo respectu moveri cognoscimus. hoc tamen fatemini non cognosci quatenus utrumque eorum vere moveatur. hoc est spatij mundani respectu.

[Fig. 5.]



Ponamus jam filum BD utrique AB, CD perpendiculare, atque eo loci positum, ut eodem momento A incidat in B, et C in D; sintque unci quidam in B et D, quibus hæreant corpora utraque, quo fit ut reclus eorum motus in circularem vertatur quem tensione sua filum BD manifestum reddet³⁾.

Cum igitur, antequam in uncus istos corpora A et B incidere, ignoraretur quantum vero motu moverentur, nunc postquam inciderunt, hoc sciemus ac definiemus quantum respectu spatij illius infiniti et immoti concitentur. Hoc certe dici non potest. Recte vero rem pendenti manet tantum motus

¹⁾ Comparez les pages où Galilée dans son „Saggiatore” (Ed. Nazionale, VI, p. 337 et suiv.) polémise contre l'idée qu'il peut arriver „ch'una freccia fredda, tirata coll' arco, s'infuochi” et autres fantaisies de ce genre. Il est vrai que souvent les auteurs anciens ou contemporains de Galilée, qui discutent de pareils phénomènes, parlent hypothétiquement de l'„attrizion dell' aria” (p. 340).

respectivus qui fuit antea, nihilque aliud accidit nisi quod cum antea esset in lineis rectis parallelis⁴⁾, nunc sit in partibus circumferentiæ oppositis quæ similiter inter se parallelæ dici possunt, distantia vero corporum quæ prius mutabatur continuè, nunc invariata maneat propter vinculum. Ergo et in circulari ejusmodi motu nihil quoque nisi respectivus motus cognoscitur, sicut in motu solutorum. Idemque de corporis cujusvis unius circulari motu super axem putandum est; in quo motus respectivus partium inter se atque etiam respectu centri cognoscitur. quomodo autem se habeat ad spatium infinitum, nec apparet neque etiam respectum aliquem ad hoc habet. Si dicunt jam certo cognosci vero circulari motu corpora AB moveri. Respondebo et antea cum in lineis rectis ferebantur verum inter ea motum⁵⁾ me agnovisse, sed debebas dicere quantum respectu spatij mundi moveantur.

VI⁶⁾.

[?]

Cum itaque veriores ejusmodi communicati motus leges exquirere cepissem, subjicit in primis cogitare quænam essent illa corpora quæ quiescere aut moveri statuebam. Prædè inquam credidi sine dubitatione ulla, circumferri in seipsa Terram hanc diei spatio ac præterea circa solem quotannis. Ergo lapis ille quem quiescere dico maximo tamen ac celerrimo motu eoque duplici abripitur, nec nisi eorum, quæ Terræ adhærent meique sedentis aut stantis respectu, quiescit...

Pergebam tamen mecum inquirere nunquidnam inter veros motus ac relativos⁶⁾ interesset. Videbam vulgo omnibus qui de motu scripsere hæc diversa dici, alium nempe motum corporis verum ac proprium alium esse respectu alterius eujuspiam. Motum verum ac Physicum esse cum transfertur corpus ab uno ad

²⁾ Comparez toutefois sur le parallélisme des mouvements des deux corps la note 1 de la p. 220.

³⁾ Leçon alternative: „prodet”.

⁴⁾ Comparez la Pièce III, p. 222, où il est dit: „Corpora quæ mutuo respectu moventur ea vere moventur”.

⁵⁾ La Pièce est empruntée aux deux premières pages de la feuille détachée, mentionnée à la p. 213 note 2.

⁶⁾ Leçon alternative: „eos qui referuntur ad aliud”.

alium locum spatij mundani. Itaque inquam locos istos tanquam revera immotos concipiunt. quid autem revera immobile esse dicemus, cum adhuc quid sit verus motus queramus? Nempe fortasse stellas fixas ac centrum solis vere quiescere dicemus nos qui Copernici sententiam sequimur. at illæ quidem inter se, altera alterius omniumque respectu quiescent, cum autem postea sint in spatio mundi infinite undiquaque extensi (hoc enim nemo paulum intelligens negare potest *) cujusnam corporis alteriusve rei respectu omnes una quiescere dicent? Spatij dicent mundani immoti. Putemus Cometam quempiam recta via per planetarum aut stellarum spatia ferri *) quemadmodum Keplero visum est. numquid æque fixæ stellæ illius respectu atque ille ipsarum moveri dicendæ?

itaque in hoc tota quæstio vertitur an spatium mundi infinite extensi, immotum sit ac dici et intelligi possit. Visum est autem mihi falsam hanc esse notionem. unde enim ideam immoti hausimus nisi a quiete relativa corporum inter se? †)

motus nempe ut volunt est translatio e spatio mundano in aliud. quies mora in eodem spatio. Cujus rei? nempe corporis. cum igitur motus et quies non nisi corpori conveniant, quomodo jam immobilitatem spatio tribuunt, et quidem in infinito undique extenso. nam nec translatio nec quies est nisi substantiæ alicuius. quomodo igitur conveniet quies spatio vacuo in quo nihil existit?

VII †).

[?] ‡)

In motu libero præsentibus corporibus inter se quiescentibus certo cognoscuntur directiones et in his celeritates per quas mutatio distantiae explicetur et horum opera etiam circumstantium celeritas definitur. Illis sublati corporibus, difficilium

*) Comparez cependant les p. 190 note 1 et 191 note 10 (opinions d'Aristote et de Galilée).

‡) Voir la p. 210 du Tome V.

§) Comparez J. M. C. Duhamel (ouvrage cité dans la note 4 de la p. 215), p. XVIII: „... les hommes n'aperçoivent que des repos ou des mouvements relatifs, et ne pourraient arriver que par extension à rêver un repos ou un mouvement absolu... Abandonnons... cette fautive notion”.

¶) La Pièce est empruntée à la deuxième et à la troisième page d'une feuille détachée (Portef. L., p. 20 et 21).

‡) On voit apparaître ici la distinction entre le *poïd* d'un corps et sa *masse*, sans doute sous l'influence des „Principia” de Newton.

hoc cognoscitur in liberis sed motus circularis duorum vel plurium vinculo conjunctorum, vel partium unius corporis, deprehenditur ex vi centrifuga. contra eos qui verum motum hunc esse volunt. dico non esse nisi respectivum. non enim potes dicere centrum oscillationis quiescere in mundo, sed etiam respective tantum ad alia corpora.

an centrum gravitatis non melius dicatur centrum potentiæ cum gravitas tollatur.

auterre gravitatem †) versus terram cogitatione, quod non tollit molem ‡) et materiam resistentiamque. tunc directio diversa æquè in æthere §) atque super mensa. Terra ipsa tollatur.

Existimant omnes qui de motu egerunt, quorum quidem scripta videre mihi contigit, esse motum quandam verum, alium vero apparentem, qui æstimatur respectu aliorum corporum quæ ut quiescentia considerantur. verum esse censent, cum corpus locum mutat in spatio mundano quod immobile esse statuunt. Ego autem contra nullum alium esse motum corporum arbitror quam mutuo respectu. Hunc esse verum. Illum autem quem isti verum dicunt, non solum cognosci non posse, sed neque omnino esse in rerum natura.

Hoc spatium ita solum absque ullo corpore consideratum, quomodo quiescere intelligi possit non video. Cum quies et motus non sit nisi corpus, et utriusque idea ab his solis exorta sit. Nam si spatij quies aut motus esse aliquid dici potest, illius spatij erunt, quod a corpore occupatur, vel quod a corpore includitur, ut si amphoræ spatium una cum amphora quiescere aut moveri dicamus. At spatium illi infinito et inani neque motus neque quietis idea aut appellatio convenit.

*) C'est la seule fois qu'on rencontre le mot „æther” dans les Pièces concernant la question du „mouvement absolu”. Ailleurs (voir p. 6, le „Traité de la Lumière”, publié en 1690), Huygens appelle „æther” ou „matière éthérée” la matière fine composée de „particules” dans un état d'agitation rapide” qui remplit l'espace. Ici (quoique le sens *littéral* puisse être le même que dans le „Traité de la Lumière”) le mot „æther” semble désigner le „spatium inane” (dernier alinéa de cette Pièce) lui-même. Dans l'absence de la terre une direction (c. à. d. la direction d'un mouvement, comparez le deuxième alinéa de la note 1 de la p. 224) peut être déterminée „æque... atque super mensa”, c. à. d. de la même manière qu'au-dessus d'une table (comparez les trois derniers alinéas de la p. 218 et les deux premiers alinéas de la p. 219); il s'agit donc de directions par rapport à un groupe de corps libres immobiles entre eux.

VIII¹⁾.

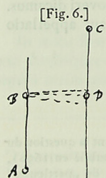
[?]

Motus inter corpora relativus tantum est.

Is producitur impressione in alterum eorum vel in utrumque sed effecto jam motu non potest cognosci in quodam eorum impressio facta sit. Imo idem prorsus utraque impressione effectum est.

Motus verus et simplex unius alicujus totius corporis nullo modo concipi potest quid sit, nec differt a quiete ejus corporis.

Diu putavi in circulari motu haberi veri motus *κρητηριον* ex vi centrifuga. Etenim ad cæteras quidem apparentias idem fit five orbis aut rota quæpiam me juxta adstante circumrotetur, five stante orbe illo ego per ambitum ejus circumferar, sed si lapis ad circumferentiam ponatur projicietur circumeunte orbe, ex quo verè tunc et nulla ad aliud relatione eam moveri et circumgyrari judicari exultimabam. Sed is effectus hoc tantummodo declarat impressione in circumferentiam facta partes rotæ motu relativo ad se invicem in partes diversas impulsas fuisse. Ut motus circularis sit relativus partium in partes contrarias concitatarum sed cohibitus propter vinculum aut connexum, an autem corpora duo inter se relative moveri possint quorum eadem manet distantia? Ita sane dum distantia incrementum inhihetur, contrarius vero motus relativus per circumferentiam viget.



potest cognosci an regula libere et tota in unam partem moveatur (vel quiescat nam idem est) an partes ejus contrariorum motuum impressionem acceperint. corpus A per rectam seu secundum regulam AB moveatur. corpus C per rectam parallelam CD. cum A accedit ad B et C ad D, moventur utique mutuo respectu, et tamen distantiam pauxillum et veluti nihil mutant. Sic in circulari motu colligatorum res se habet.

Plerique verum corporis motum statuunt cum ex loco certo ac

¹⁾ La Pièce est empruntée à la première page d'une feuille détachée (Portef. L., p. 24).

²⁾ Descartes „Les Principes de la Philosophie”, II § 29 (T. IX des Œuvres publ. par Adam et Tannery, p. 78): „... nous ne sçaurions concevoir que le corps AB soit transporté du voisinage du corps CD, que nous ne sçachions aussi que le corps CD est transporté du voisinage du corps AB, & qu'il faut tout autant d'action pour l'un que pour l'autre”.

fixo in spatio mundano transfertur, malè. nam cum infinite spatium undique extensum sit quæ potest esse definitio aut immobilitas loci? Stellas affixas, in Copernicano systemate forsan revera quiescentes dicent. Sint sane inter se immutæ sed omnes simul sumtæ ejus alterius corporis respectu quiescere dicentur, vel qua in re differant a celerrime motis in partem aliquam? nec quiescere igitur corpus nec moveri in infinito spatio dici potest, ideoque quies et motus tantum relativa sunt.

Rectè facis Cartesius artic. 29 part. secundæ. nili quod eandem vim et actionem requiri dicit five ut AB transferatur ex vicinia CD five ut hoc ex illius vicinia ²⁾. quod tunc quidem verum cum AB æquale CD, alias haudquaquam. male etiam quod immediate contingentium respectu motum corporis definit ³⁾. quidni enim etiam longissime distitorum? ⁴⁾

³⁾ „Les Principes de la Philosophie”, II § 25 (T. IX des Œuvres publ. par Adam et Tannery, p. 76): „... si, au lieu de nous arrêter à ce qui n'a point d'autre fondement que l'usage ordinaire, nous désirons sçavoir ce que c'est que le mouvement selon la vérité, nous dirons, afin de luy attribuer vne nature qui soit déterminée, qu'il est le transport d'une partie de la matière ou d'un corps, du voisinage de ceux qui le touchent immédiatement, et que nous considérons comme en repos, dans le voisinage de quelques autres”.

⁴⁾ On peut p. e. définir la rotation de la terre par rapport aux étoiles fixes. Voir la p. 326 de ce Tome, note 4, troisième alinéa.

Comparez J. M. C. Duhamel (ouvrage cité dans la note 4 de la p. 215), p. XIX: „Le système des étoiles est le plus considérable et le moins variable qu'il soit donné à l'homme de connaître; c'est à ce système, que l'on peut sans inconvénient considérer comme immuable, qu'il est convenable de rapporter les grands mouvements, comme ceux de la terre et des planètes”.

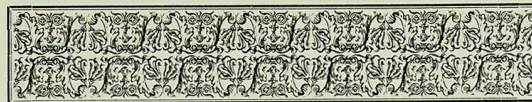


122
The first part of the book is devoted to a general introduction to the subject of centrifugal force. It begins with a discussion of the nature of force and the laws of motion, and then proceeds to a detailed treatment of the theory of centrifugal force. The author discusses the various methods of measuring centrifugal force, and the different ways in which it is produced. He also discusses the various applications of centrifugal force, and the different ways in which it is used in industry and science. The second part of the book is devoted to a detailed treatment of the theory of centrifugal force. It begins with a discussion of the various methods of measuring centrifugal force, and the different ways in which it is produced. He also discusses the various applications of centrifugal force, and the different ways in which it is used in industry and science. The third part of the book is devoted to a detailed treatment of the theory of centrifugal force. It begins with a discussion of the various methods of measuring centrifugal force, and the different ways in which it is produced. He also discusses the various applications of centrifugal force, and the different ways in which it is used in industry and science.

DE VI CENTRIFUGA.

Avertissement.

The second part of the book is devoted to a detailed treatment of the theory of centrifugal force. It begins with a discussion of the various methods of measuring centrifugal force, and the different ways in which it is produced. He also discusses the various applications of centrifugal force, and the different ways in which it is used in industry and science. The third part of the book is devoted to a detailed treatment of the theory of centrifugal force. It begins with a discussion of the various methods of measuring centrifugal force, and the different ways in which it is produced. He also discusses the various applications of centrifugal force, and the different ways in which it is used in industry and science.



Avertissement.

Dans l'Avertissement précédent (p. 189—200) nous avons parlé à plusieurs reprises des idées émises par Huygens dans le cours de sa vie sur le mouvement circulaire et la force centrifuge, en connexion avec sa conception du monde et de l'espace. On a vu, tant dans cet Avertissement que dans les pages écrites par Huygens lui-même vers la fin de sa vie (p. 213—233 de ce Tome) que les différents philosophes qui s'intéressaient aux questions cosmiques, avaient des opinions diverses sur la nature, absolue ou relative, du mouvement. Nous aurions pu ajouter que les discussions sur la nature de l'espace et des questions qui s'y rattachent continuèrent après la mort de Huygens¹⁾, qu'aujourd'hui encore, dans la première moitié du vingtième siècle, la question de l'existence ou de la non-existence du mouvement absolu a été vivement débattue et que dans ce débat le problème de la nature de la force centrifuge qui cause p. e. l'aplatissement de la terre et la variation de la gravité à sa surface joue un certain rôle. Cette dernière

¹⁾ Voir p. e. quelques écrits de Leibniz d'une part et de Clarke, ami de Newton, d'autre part dans le „Recueil [par Des Maizeaux] de diverses Pièces, sur la Philosophie, la Religion naturelle, l'Histoire, les Mathématiques &c.", seconde édition, à Amsterdam, chez François Changuion, MDCCXL. Mais ici la discussion, quoique vouée en partie à la question du „mouvement absolu", n'a pas un caractère exclusivement scientifique.

question a intéressé Huygens depuis 1659 jusqu'à la fin de sa vie. Dans le Manuscrit „De Vi Centrifuga”, la variation de la gravité due à la rotation de la terre est mentionnée une seule fois, au § 4 (Appendice I, p. 304); parmi les Appendices ultérieurs aussi on en trouvera un (Appendice VI, p. 323—326), où ce sujet est entamé, les recherches plus minutieuses sur ce sujet étant réservées pour un des Tomes suivants.

Le présent Traité, écrit déjà en 1659, n'a jamais été publié par Huygens; il n'a paru qu'en 1703, huit ans après sa mort, dans les „Opuscula postuma”, par les soins des professeurs de Volder et Fullenius, à qui Huygens dans son testament avait légué cette tâche. Il est vrai qu'il n'avait nommé expressément comme devant être publiés que la „Dioptrica”, le Traité „De Motu Corporum ex Percussione” et le Traité „De Formandis Poliendisq.ue Vitris”, mais les éditeurs nommés des „Opuscula postuma” disent avec raison, à la deuxième page de leur préface, qu'ils ont cru agir dans l'esprit de l'auteur en y ajoutant quelques autres traités parmi lesquels celui „De Vi Centrifuga”.

Les éditeurs ont interverti l'ordre des propositions et incorporé dans le Traité quelques-unes de celles publiées par Huygens en 1673 à la fin de son „Horologium oscillatorium”¹⁾ avec des démonstrations rédigées par eux-mêmes. Une seule Proposition, la dix-septième et dernière (p. 299), a été rédigée par eux, mais la démonstration est de Huygens. Nous avons jugé à-propos de laisser au Traité la forme que les éditeurs lui ont donnée, mais nous avons mis entre crochets leurs additions au Traité primitif. Les notes indiquent en outre le texte primitif là où les éditeurs y ont apporté des modifications, peu importantes d'ailleurs.

Voici la liste complète des additions:

- 1) Les mots „Propositio I”, „Propositio II”, etc. jusqu'à la dernière „Propositio XVII”;
- 2) Les mots „Lemma I” et „Lemma II” avant la Prop. VII;
- 3) L'énoncé de chacune des six Prop. VII, XII, XIII, XIV, XV et XVI, emprunté à l'„Horologium oscillatorium”, et la démonstration, rédigée par les éditeurs, de chacune de ces Propositions, excepté la dernière.
- 4) L'énoncé de la Prop. XVII.

¹⁾ Nous avons reproduit les treize Propositions de l'„Horologium oscillatorium” dans l'Appendice III qui suit (p. 315—318).

Le Manuscrit de Huygens (voir p. 254, note 1) débute par les paragraphes que nous avons réunis dans l'Appendice I (p. 302—311). Tous ces paragraphes sont défaut dans le Traité tel qu'il a été publié par les éditeurs, excepté le § 9 qu'ils ont intercalé dans le Traité sous le nom de „Lemma I” avant la Prop. VII (p. 281).

L'interversion de l'ordre des propositions par les éditeurs avait pour but, comme ils le disent dans leur préface, de rendre le Traité plus conforme à l'ensemble des Propositions publiées dans l'„Horologium oscillatorium”. En effet, comme les notes aux p. 315—318 l'indiquent, toutes les Propositions de l'„Horologium oscillatorium” (la rédaction, il est vrai, est quelquefois un peu différente) se retrouvent dans le même ordre dans le Traité „De Vi Centrifuga”; excepté dans le cas des Prop. II et III qui ont échangé leurs places. Le Traité contient de plus les Prop. VI, IX, XI et XVII.

Il semble que, dans leurs démonstrations des Prop. VII, XII, XIII, XIV et XV, les éditeurs se soient inspirés des raisonnements de Huygens que contenait le Manuscrit A; voir à ce propos les pp. 320, note 1, 321, quatrième et cinquième alinéas de la note 4 de la p. 320, et 325, note 6. C'est peut-être aux pages enlevées au Manuscrit A, mentionnées dans ces notes, qu'ils font allusion dans leur préface lorsqu'ils disent qu'ils ont démontré les Propositions nommées „ex fundamentis ab Ill. Hugenio positis”. Mais, comme on peut le voir dans l'Appendice V (p. 320) pour le cas de la démonstration de la Proposition XII — la seule des démonstrations que contenait le Manuscrit A, dont une partie ait été conservée — ils ont donné à ces démonstrations la forme qui leur paraissait convenable: ils ont rendu la démonstration de la Prop. XII moins exclusivement géométrique en y introduisant l'expression \sqrt{z} . Leurs démonstrations des Prop. XIII et XIV ont également un caractère moitié géométrique moitié algébrique, tandis que toutes les démonstrations de Huygens que le Traité contient sont exclusivement géométriques²⁾.

D'où est venue à Huygens l'idée d'examiner à fond la nature du mouvement circulaire? La tradition, l'observation, et la mécanique pratique l'y ont amené. La

²⁾ Dans le § 15 du Manuscrit (voir la p. 309) le raisonnement de Huygens a une forme algébrique. Ce § n'était donc probablement pas destiné à être publié sous cette forme.

rotation apparente de la voûte céleste ¹⁾ a, depuis Platon et Aristote, et bien avant eux, conduit les penseurs à voir dans le mouvement circulaire uniforme quelque chose de fort remarquable. Quoique Huygens, grâce à Archimède, à Descartes, à Galilée et à son éducation entière aussi bien qu'à la tournure positive de son esprit, soit bien éloigné de toute vénération pour les idées scolastiques, il n'y a pourtant pour lui comme pour Aristote guère que deux sortes de mouvements naturels: le mouvement droit et le mouvement circulaire ²⁾. Dès lors, examiner la nature du mouvement droit et du mouvement circulaire, c'est pour ainsi dire examiner généralement la nature du mouvement. Galilée lui aussi, quoiqu'il ait découvert la nature parabolique de la courbe décrite par un objet lancé en l'air, ne parle pas du mouvement curviligne en général et se borne presque toujours à considérer le mouvement rectiligne et le mouvement circulaire uniforme: on a remarqué qu'il évite de faire mention de la nature elliptique des orbites des planètes, découverte par Kepler, quoiqu'il connaisse fort bien ses ouvrages et que ses disciples ne s'imposent pas la même restriction ³⁾. Ce sont surtout Galilée et Descartes qui, avant Huygens, ont émis des idées justes et fécondes sur la rotation. Avant eux Kepler dans son „Epitome Astronomiæ Copernicanæ” réfute brièvement l'opinion de ceux qui pensent que, si la terre tournait, les objets mobiles seraient lancés en l'air: il dit qu'il y a entre la terre et une roue tournante cette différence que dans le premier cas les objets sont pour ainsi dire attachés à la terre par une vertu attractive ⁴⁾, mais il ne cherche nullement à déterminer la grandeur

¹⁾ Quand on ne songe qu'à la mesure du temps, sujet qui préoccupait Huygens depuis quelques années avant 1659, il n'y a aucune différence sensible entre un mouvement circulaire de la voûte céleste d'une part et la rotation de la terre de l'autre. En écrivant les paroles citées à la p. 194, note 5, Huygens pensait peut-être avant tout à la mesure du temps.

²⁾ Dans le „Discours de la Cause de la Pesanteur”, publié en 1690, Huygens écrit: „À regarder simplement les corps, sans cette qualité qu'on appelle pesanteur, leur mouvement est naturellement ou droit ou circulaire. Le premier leur appartenant lors qu'ils se meuvent sans empeschement: l'autre quand ils sont retenus autour de quelque centre, ou qu'ils tournent sur leur centre mesme”. Ajoutons, pour éviter tout malentendu, que Huygens ne songe nullement à faire, comme Aristote, une distinction entre les mouvements naturels (*κατά φύσιν*) et les mouvements violents ou contre-nature (*παρά φύσιν*); d'ailleurs chez Huygens le terme „mouvement droit” désigne le mouvement rectiligne uniforme, tandis que chez Aristote le mouvement rectiligne accéléré des corps qui tombent est un mouvement naturel.

³⁾ L. Olshchki, „Galilei und seine Zeit”, Halle (Saale), Max Niemeyer Verlag, 1927, p. 354—357.

⁴⁾ J. Kepler, „Epitome Astronomiæ Copernicanæ”, Lib. I, § 7, p. 137 de l'édition nommée à la p. 192, note 1: „Lapides virtute attractoria ad terram sunt alligati”.

de la „vertu” centrifuge résultant de la rotation. Galilée va plus loin. Il part comme Kepler de la considération de la terre tournante, et il enseigne que la grande vitesse linéaire qu'un objet à la surface du globe terrestre acquiert en vertu du mouvement diurne peut parfaitement ne pas suffire pour lancer cet objet en l'air parce que la cause de la projection („causa della proiezione” ou „dello scagliamento”) devient moindre, pour une même vitesse linéaire, à mesure que le rayon de la circonférence décrite s'accroît ⁵⁾. La figure de Galilée qu'on trouve dans la „Giornata seconda” du „Dialogo sopra i due massimi sistemi del mondo” ⁶⁾ ressemble beaucoup à la Fig. 4 de la p. 306 de ce Tome. Galilée considère, comme Huygens au § 8 à la page nommée, deux objets décrivant des circonférences concentriques avec des vitesses linéaires égales; et il indique dans la figure pour chacun des deux objets (ce qui aurait également dû être indiqué dans la figure de Huygens) l'écart de la tangente correspondant à la courbe décrite dans un temps déterminé assez court ⁷⁾. Il prétend ensuite que les forces (*centripètes*) qui font dévier les mobiles de la tangente sont d'autant plus grandes que les écarts de la tangente sont plus considérables ⁸⁾. Ceci s'accorde parfaitement avec la théorie de Huygens. Galilée est allé aussi loin qu'on pouvait aller sans donner une définition précise de la „forza” centripète ou centrifuge ⁹⁾.

Après Galilée, Descartes, que Huygens nomme à ce propos dans son Discours de la Cause de la Pesanteur (voir la note 4 qui commence à la p. 327), parle à plusieurs reprises du mouvement d'une pierre dans une fronde. Après avoir

⁵⁾ Edizione Nazionale, VII, p. 238.

⁶⁾ Edizione Nazionale, VII, p. 242.

⁷⁾ Dans la Fig. 11 de la p. 275 de ce Tome FE est l'„écart de la tangente”. Le mobile qui tourne dans la circonférence parcourt l'arc BF dans le même temps dans lequel il aurait parcouru (abstraction faite de la pesanteur) la droite BE s'il avait quitté la circonférence au point B. Le point E ne peut être considéré, en parlant strictement, comme situé sur le prolongement du rayon AF que lorsque l'arc BF et la longueur BE qui lui est égale sont infiniment petits.

⁸⁾ Edizione Nazionale, VII, p. 243. „... a deviare un mobile dal moto dove egli ha impeto, non ci vuol egli maggior forza o minore, secondo che la deviazione ha da esser maggiore o minore? cioè, secondochè nella deviazione egli dovrà nell'istesso tempo passar maggiore o minore spazio?”

Un peu plus loin (p. 244) on trouve cependant la proposition inexacte que pour deux routes de rayons inégaux qui tournent avec la même vitesse angulaire les forces centrifuges sont égales. C'est sans doute à cette erreur que Huygens fait allusion dans les paroles citées dans la note 3 de la p. 251 qui suit.

⁹⁾ Huygens considère surtout la force *centrifuge*. Galilée au contraire la force *centripète* (sans se servir de ce terme; comparez la note précédente). Voir sur ce sujet la suite du présent Avertissement (p. 246 et suiv.).

établi „la première loy de la nature: Que chaque chose demeure en l'estat, qu'elle est, pendant que rien ne le change”, Descartes dit: „La seconde-loy que je remarque en la nature, est que chaque partie de la matiere, en son particulier, ne tend jamais à continuer de se mouvoir suiuant des lignes courbes, mais suiuant des lignes droites. . . tout corps qui est meu en rond, tend sans cesse à s'éloigner du cercle qu'il décrit. Et nous le pouuons mesme sentir de la main, etc.”¹⁾. Plus loin il considère aussi une figure analogue à la figure nommée de Galilée et dit à propos de la pierre tournante que „si, au lieu de considerer toute la force de son agitation, nous prenons garde seulement à l'une de ses parties, dont l'effet est empêché par la fonde²⁾, & que nous la distinguons de l'autre partie, dont l'effet n'est point ainsi empêché”, nous dirons que la pierre „fait seulement effort pour s'éloigner du centre” suiuant le prolongement du rayon³⁾. Ici, c'est bien la force *centrifuge* dont il est question. Ailleurs il s'exprime comme suit: „sçachant que l'une des parties de son inclination, à sçavoir celle qui la porte suiuant le cercle. . . n'est nullement empêchée par cette fronde, vous verrez bien qu'elle ne trouve de resistance que pour l'autre partie. . . et par conséquent, qu'elle ne tend, c'est à dire qu'elle ne fait effort, que pour s'éloigner directement du centre⁴⁾”. Ici la force centripète, elle aussi, est mentionnée sous le nom de „resistance”. Et dire que la pierre „fait tendre la corde”⁵⁾, n'est ce pas aussi indiquer qu'il y a une force dans chacun des deux sens?

Mais ce n'est pas seulement grâce à l'observation du mouvement diurne et aux écrits de ses prédécesseurs sur la mécanique céleste ou terrestre que Huygens s'intéressa au mouvement circulaire; avant la composition du Traité „De Vi Centrifuga” il songe déjà à la construction d'horloges à pendule conique. Son invention de l'horloge à pendule ordinaire a été octroyée en 1657⁶⁾. On trouve dans le Manuscrit A un projet d'horloge à pendule conique datant du 5 octobre 1659⁷⁾;

¹⁾ „Les Principes de la Philosophie”, II, §§ 37 et 39 (T. IX de l'édition d'Adam et Tannery, p. 84 et p. 86).

²⁾ Fonde (lat. funda), forme ancienne du mot „fronde”.

³⁾ Même ouvrage, III, § 57 (T. IX de l'édition d'Adam et Tannery, p. 131).

⁴⁾ „Le Monde”, chapitre XIII (T. XI de la même édition, p. 85).

⁵⁾ Même ouvrage, chapitre VII (Même Tome, p. 44).

⁶⁾ Voir la p. 237 du Tome II.

⁷⁾ Manuscrit A, p. 175: „Inuentum die 5 Oct. 1659”. Dans une lettre à son père (T. VII, p. 391) Huygens dit avoir inventé l'horloge à pendule conique en 1658.

il est vrai que rien n'indique (ce qui pourtant n'est pas impossible⁸⁾) que l'auteur de ce projet ait observé en octobre 1659⁹⁾ la marche d'un pendule tel que le pendule dessiné; il n'en est pas moins certain que Huygens s'intéressa aussi au mouvement circulaire en sa qualité d'homme pratique, d'inventeur d'instruments capables de mesurer le temps le plus exactement possible.

Résumons maintenant brièvement le contenu du Traité tel qu'il a été publié par les éditeurs de Volder et Fullenius en 1703 et réédité d'abord par 's Gravefande dans les „Opera reliqua”, Vol. II, de 1728, ensuite par nous; sans cependant exclure de cet aperçu la partie du Manuscrit publiée par nous dans l'Appendice I.

L'expérience fait voir d'une part que les corps libres tombent d'un mouvement uniformément accéléré, d'autre part qu'un corps suspendu à un fil exerce une traction sur ce fil et sur la main qui le tient. On peut donc dire qu'un corps exerce une traction ou force sur un fil qui le retient lorsque ce corps a une tendance à se mouvoir dans la direction du prolongement du fil d'un mouvement uniformément accéléré; et l'on peut admettre que la force exercée est la même pour des corps égaux¹⁰⁾ ayant une tendance à se mouvoir avec la même accélération¹¹⁾, ne fût-ce que durant un temps infiniment petit¹²⁾.

Or, ce qui détermine la tension du fil et la force éprouvée par celui qui le tient, ce n'est pas nécessairement la tendance au mouvement intégral que prendrait le mobile s'il était délivré de toute entrave; ce qui importe c'est la tendance au mouvement accéléré *par rapport au fil tendu*. Ainsi dans le cas d'un objet placé sur un plan incliné (parfaitement lisse) et retenu par un fil parallèle à ce plan¹³⁾,

⁸⁾ Comparez les notes 2 et 5 de l'Appendice IV qui suit (p. 319): le 15 nov. 1659 Huygens dit avoir déterminé la valeur de la constante g „ex motu conico penduli”.

⁹⁾ Dans la „Correspondance” de Huygens (nos. T. I—X) la construction d'une horloge à pendule conique n'est mentionnée que vers la fin de 1667. Le 4 déc. 1667 (voir la p. 167 du T. VI) Huygens écrit à son frère Lodewijk: „Je suis maintenant après à faire construire une autre manière d'horloges, ou mesme deux autres, dont l'un est avec un pendule qui tourne en rond”, et le 12 oct. 1668 (voir la p. 267 du même Tome) au frère Constantijn: „L'en ay ici une du mouvement circulaire de ma nouvelle invention qui va assez bien, et sans bruit”.

¹⁰⁾ „Mobilia aequalia”; voir p. e. la Prop. I à la p. 267.

¹¹⁾ P. 259, premier alinéa.

¹²⁾ Huygens parle généralement d'un temps très petit ou d'un temps arbitrairement petit, et de même, s'il y a lieu, d'un espace très petit ou arbitrairement petit. Une seule fois cependant (p. 277, l. 20) on rencontre l'expression plus moderne „infinittē parva”.

¹³⁾ P. 305, § 5.

le mouvement accéléré qui importe est celui que prendrait l'objet si le fil était rompu mais que le plan demeurerait en place; si l'accélération de ce mouvement le long du plan est p. e. le quart de celle d'un corps tombant verticalement, la main qui tient le fil éprouvera une force égale à un quart du poids du corps. De même la grandeur de la force éprouvée par un homme attaché à une roue tournante près du bord *) et tenant en main un fil très court auquel un corps est attaché, dépendra du mouvement uniformément accéléré **) que le corps acquerrait au tout premier moment *dans la direction du fil*, si le fil était rompu (dans ce dernier cas on fait abstraction de la pesanteur). Il est vrai que la direction du fil n'est pas invariable pour un spectateur qui ne participe pas à la rotation, mais pour l'homme attaché à la roue le fil est constamment dirigé suivant le prolongement du rayon correspondant à l'endroit qu'il occupe sur la roue, et lorsque le fil est rompu il voit au tout premier moment l'objet s'éloigner d'un mouvement accéléré *en restant sur le prolongement du rayon* **); c'est donc bien dans la direction de ce prolongement qu'il doit sentir une traction lorsque le fil n'est pas encore rompu *). Le même raisonnement est applicable au cas où l'objet tournant est attaché par un fil non pas à un point près du bord d'une roue, mais au centre de la rotation lui-même. Or, on sait que les espaces parcourus dans des temps égaux sont entre eux comme les accélérations; le rapport de la force centrifuge à la force de la gravité sera donc égal à celui de l'écart très petit ou plutôt infiniment petit de la tangente au chemin parcouru dans le même temps par le corps lorsqu'il tombe librement *). Voilà pour la grandeur absolue de la force centrifuge. En comparant entre eux les différents écarts de la tangente pour différents mobiles dans des temps égaux, on trouve les rapports des forces centrifuges correspondantes, ce que l'on peut faire même avant d'avoir déterminé la grandeur absolue d'une d'elles *).

*) P. 261, l. 4.

**) Ce mouvement peut en effet être considéré comme uniformément accéléré au tout premier moment; voir le troisième alinéa de la p. 265.

*) Deuxième alinéa de la p. 265.

*) Voir à la p. 275 la Prop. V, d'après laquelle la force centrifuge (comparez la note 1 de la p. 274) est égale à la force de la gravité, lorsque l'écart de la tangente (FE) est égal à l'espace que le corps parcourrait en tombant librement (évidemment avec une vitesse initiale nulle) durant le même temps dans lequel il parcourt l'arc BF correspondant à l'écart FE.

*) Prop. I—IV (p. 267—275), et §§ 5—8 (p. 305—306). Dans la partie du Manuscrit publiée dans l'Appendice I qui suit, la grandeur absolue de la force centrifuge est indiquée dans le § 1

En lisant les énoncés de la Prop. V. (p. 275) et du § 1 (p. 303) on verra que Huygens n'a pas eu l'intention de déterminer la grandeur de la force centrifuge par une formule algébrique, mais que notre formule

$$F = \frac{mv^2}{r}$$

(voir la note 8 de la p. 303) correspond à ses énoncés, si l'on consent à adopter l'expression mg pour la force de la gravité, c. à. d. à appeler m le rapport de cette force à l'accélération de la pesanteur.

On peut regarder la Prop. VI (p. 277) comme une application de la Proposition précédente.

La Prop. VII (p. 281) considère l'isochronisme des révolutions d'un mobile parcourant diverses circonférences de cercle horizontales à l'intérieur d'un conoïde parabolique ou paraboloidé de révolution à axe vertical *).

Dans les Prop. IX—XV (p. 287—295) Huygens et les éditeurs considèrent le mouvement des pendules coniques.

Enfin, les Prop. XVI et XVII (p. 295—301) traitent la tension que le fil d'une pendule simple éprouve pendant le mouvement grâce à l'existence de la force centrifuge.

Inutile de dire que toutes ces Propositions peuvent être démontrées plus facilement en partant de la formule $F = \frac{mv^2}{r}$.

La terminologie de Huygens, quoiqu'il s'exprime fort clairement, n'est pas absolument constante. Le mot „*gravitas*” indique parfois la force de la gravité (le poids), p. e. dans le Lemma I de la p. 281, parfois aussi la „*quantitas solida*” (la masse), p. e. à la p. 267, l. 13. Une force ne s'appelle pas seulement „*vis*”, mais aussi „*potentia*” (p. e. dans le Lemma II de la p. 281); il parle de l'„*impetus circulationis*” (p. 307, l. 19), du „*conatus centrifugus*” (p. e. p. 297, avant-dernière ligne). Généralement un corps exerce une force lorsqu'il a une tendance

(p. 303) qui précède la détermination du rapport des forces centrifuges dans les cas spéciaux. Ce § 1, autrement que la Prop. V, est un énoncé sans démonstration.

*) Huygens a sans doute cherché les conditions de l'isochronisme du mouvement circulaire dans le but d'en faire une application dans la construction d'horloges à pendule conique; comparez aussi le § 14 de la p. 308.

(„conatus”) au mouvement, mais qu'un fil ou autre entrave l'empêche de se mouvoir dans le sens de cette tendance. Huygens dit plusieurs fois que la force ou tendance centrifuge est du même genre que la force ou tendance de la gravité (p. e. p. 297, l. 7 d'en bas „proinde similem”; p. 277, l. 25 „æqualem plane”; dans ce dernier cas, autrement que dans le premier, les grandeurs des deux forces sont les mêmes). Comme la „gravitas” (poids), le „conatus” en général est donc considéré comme une grandeur proportionnelle à la „quantitas solida”. Ainsi que nous l'avons dit, le „conatus centrifugus” ou „vis centrifuga” doit être pris pour un objet (ou point matériel) tournant autour d'un centre „respectu radii in quo fitus est” (p. 265, l. 5).

Les raisonnements de Huygens (et des éditeurs) dans le Traité „De Vi Centrifuga” paraissent si impeccables qu'après la lecture du Traité on est tenté de se demander comment il est possible que dans des temps plus modernes plusieurs savants ont vu une difficulté logique dans le sujet qui nous occupe. C'est pourquoi nous donnerons la parole à H. Hertz pour exposer cette difficulté qui est cependant bien réelle.

„Wir schwingen einen Stein an einer Schnur im Kreise herum; wir üben dabei bewußtstmaßen eine Kraft auf den Stein aus; diese Kraft lenkt den Stein beständig von der geraden Bahn ab. . . Nun aber verlangt das dritte Gesetz [la troisième loi de Newton d'après laquelle l'action est égale à la réaction ¹⁾] eine Gegenkraft zu der Kraft, welche von unserer Hand auf den Stein ausgeübt wird. Auf die Frage nach dieser Gegenkraft lautet die jedem geläufige Antwort: es wirke der Stein auf die Hand zurück infolge der Schwingkraft, und diese Schwingkraft sei der von uns ausgeübten Kraft in der That genau entgegengesetzt gleich. Ist nun diese Ausdrucksweise zulässig? . . . In unseren Bewegungsgesetzen [que Huygens ne connaissait pas encore] war die Kraft die vor der Bewegung vorhandene Ursache der Bewegung [c'est en effet la conception de Newton, exprimée dans les deux premières lois]. Dürfen wir, ohne unsere Begriffe zu verwirren, jetzt auf

¹⁾ Les trois „Axiomata sive Leges Motus” de Newton sont (texte de l'édition originale):

1) Corpus omne perseverare in statu suo quiescendi vel movendi uniformiter in directum, nisi quatenus a viribus impressis cogitur statum illum mutare,

2) Mutationem motus proportionalem esse vi motrici impressæ, & fieri secundum lineam rectam qua vis illa imprimitur,

3) Actioni contrariam semper & æqualem esse reactionem: sive corporum duorum actiones in se mutuo semper esse æquales & in partes contrarias dirigi.

einmal von Kräften reden, welche erst durch die Bewegung entstehen, welche eine Folge der Bewegung sind? [c'est la conception de Galilée, de Descartes et de Huygens, antérieure aux „Principia” de Newton]. . . es bleibt uns nichts übrig als zu erläutern: die Bezeichnung der Schwingkraft als einer Kraft sei eine un-eigentliche. . . Aber wo bleiben alsdann die Ansprüche des dritten Gesetzes, welches eine Kraft fordert, die der tote Stein auf die Hand ausübt und welches durch eine wirkliche Kraft, nicht durch einen bloßen Namen befriedigt sein will” ²⁾).

On voit que cette difficulté logique n'existait pas encore lorsque Huygens écrivit son Traité. Elle apparaît lorsqu'on part des lois de Newton. Il est vrai que cette difficulté ne doit pas nous empêcher de nous servir du système de Newton. Hertz lui-même ajoute ³⁾: Wir haben in diesen Ausführungen die Zulässigkeit des betrachteten Bildes so stark verdächtig, dass es scheinen muss, als sei es unsere Absicht die Zulässigkeit zu bestreiten und schließlich zu verneinen. Soweit geht indes unsere Absicht und unsere Ueberzeugung nicht”. Cependant il y voit des „logischen Unbestimmtheiten” qui „wirklich bestehen” ⁴⁾).

On peut présenter la théorie classique de la force centrifuge sous diverses formes, au fond peu différentes. On peut soutenir que, suivant le principe de d'Alembert, tout problème de dynamique peut être réduit à un problème de statique en introduisant des forces fictives. Un cycliste qui parcourt dans une position oblique une courbe de l'arène est sollicité, par deux forces, la pesanteur et la réaction du sol. La résultante de ces deux forces est une force centripète. Aucune autre force n'agit sur le cycliste: il n'est pas en équilibre. Mais ce cas réel peut être réduit à un problème d'équilibre en ajoutant une troisième force fictive aux deux forces réelles; cette force fictive est la „force centrifuge”.

Quelle que soit la valeur de cette conception, ce n'est pas la conception de Huygens pour qui, nous l'avons dit, la force centrifuge est une force du même genre que la force de la gravité.

Peut-on concilier Huygens et „d'Alembert”? ⁴⁾ Cela paraît difficile à première

²⁾ „Die Prinzipien der Mechanik in neuem Zusammenhange dargestellt”, von Heinrich Hertz, Leipzig 1894. J. A. Barth, p. 6—7.

³⁾ Page 9.

⁴⁾ Ni Newton ni d'Alembert ne se sert de l'expression „force fictive”, qui est plus moderne. On trouve ce terme pour la première fois, croyons-nous, à la p. 46 et suiv. du „Traité de la

vue, et cependant *en principe* la chose est bien simple. Une force peut être réelle et fictive en même temps, réelle pour un observateur, fictive pour un autre observateur placé dans d'autres conditions. En disant que la force centrifuge est une force fictive, nous nous sommes placés au point de vue du spectateur qui ne participe pas au mouvement. Mais pour le spectateur de Huygens, attaché à la roue tournante, la force centrifuge est une force réelle. C'est environ ce qu'Einstein dit dans les paroles suivantes: „Ein exzentrisch auf der Kreisseibe. . . sitzender Beobachter empfindet eine Kraft, die in radialer Richtung nach aussen wirkt, und welche von einem relativ zum ursprünglichen Bezugskörper [par rapport auquel le cercle tourne] ruhenden Beobachter als Trägheitswirkung (Zentrifugalkraft) gedeutet wird”¹⁾.

Dans les jours de Galilée, de Descartes, de Huygens et de Newton, et même dans ceux de d'Alembert et de Lagrange, personne n'avait encore dit clairement que pour parler sans ambiguïté des mouvements des corps et des forces qui les accompagnent, il faut commencer par dire quel est le mouvement du spectateur qui observe le mouvement des corps, par rapport à ces corps. On a cependant remarqué (un ou deux ans *avant* l'apparition du relativisme moderne²⁾), détail qui n'est pas sans importance, puisqu'*après* l'apparition de cette théorie, toute tentative pour attribuer des idées relativistes de quelque valeur à Huygens pourrait s'expliquer par une certaine partialité pour le relativisme moderne — et nulle faute n'est plus grave pour un historien, ni plus difficile à éviter, que celle d'attribuer à des auteurs anciens des idées modernes dont ils n'ont eu aucune connaissance) on a remarqué, disons-nous, que Huygens dans son *Traité „De Vi Centrifuga”* est guidé, pour ainsi dire, par le principe de la relativité du mouvement; c'est ce que F. Hausdorff, éditeur de la traduction allemande du *Traité „De Vi Centrifuga”* (Oltwalds Klassiker der exakten Wissenschaften, Nr. 138, Leipzig, W. Engelmann, 1903) exprime dans les termes suivants: „Huygens läßt sich auch³⁾ hier [il s'agit de la dernière phrase du premier alinéa de la p. 261

Mécanique des Corps solides et du Calcul de l'Effet des machines” par G. Coriolis, Paris, Carilian-Goeury et V. Dalmont, 1844. Coriolis admet le mouvement absolu.

¹⁾ Sammlung Vieweg, Heft 38. „Ueber die spezielle und die allgemeine Relativitätstheorie”, gemeinverständlich, von A. Einstein, F. Vieweg & Sohn, Braunschweig (Zwölftte Auflage, 1921), p. 54.

²⁾ Qui eut cependant de nombreux précurseurs. Voir p. e. l'ouvrage de J. M. C. Duhamel, cité à la p. 215, note 4, à la p. 225, note 3, à la p. 230, note 3 et à la p. 233, note 4.

de ce Tome: „unde hunc conatum inesse plumbo rectè dicemus”] von dem Princip der *relativen Bewegung* leiten, und es scheint, dass bei dieser Auffassung die Centrifugalkraft frei von den Dunkelheiten bleibt, die ihr verschiedentlich (z. B. von Hertz⁴⁾) «Die Prinzipien der Mechanik» S. 7) nachgefagt werden. Es handelt sich um die relative Bewegung der auf der Tangente weiterfliegenden Kugel gegen den auf dem Kreise mit gleicher Geschwindigkeit weiter rotirenden Beobachter”⁵⁾.

En effet, considéré en lui-même, le *Traité „De Vi Centrifuga”* — personne que nous sachions n'a jamais dit le contraire — est „frei von Dunkelheiten”.

Quoi d'étonnant si plus tard (voir les Pièces qui précèdent, p. 213—233) Huygens — après avoir longtemps considéré la rotation comme un mouvement „vrai” ou „absolu” — revient avec insistance (quoique sans pouvoir développer le moins du monde un système relativiste conséquent) sur la relativité du mouvement⁶⁾?

Dans son „*Horologium oscillatorium*” (p. 157 de l'édition originale) Huygens se contente de dire, au sujet de la publication de la démonstration des treize Théorèmes sur la force centrifuge imprimées à la fin de cet ouvrage, que cette démonstration est „in aliud tempus dilata”. Newton, à qui Huygens avait fait présent d'un exemplaire de l'„*Horologium oscillatorium*” écrit à Oldenburg: „I am glad, we are to expect another discours of ye *Vis centrifuga*, which speculation may prove of good use in natural Philosophy and Astronomy, as well as Mechanics”⁷⁾. Cependant, comme nous l'avons dit, durant la vie de Huygens le *Traité* est resté inédit⁸⁾.

³⁾ C'est-à-dire: comme dans le *Traité „De Motu Corporum ex Percussione”*.

⁴⁾ Remarquons que Hertz n'a probablement pas lu le *Traité „De Vi Centrifuga”* de Huygens. Dans l'ouvrage nommé il ne fait mention (à la p. 5) que d'Archimède, de Galilée, de Newton, de d'Alembert et de Lagrange.

⁵⁾ P. 73 de l'édition nommée.

⁶⁾ En donnant au mouvement relatif, lui aussi, le nom de „*motus verus*”.

⁷⁾ Lettre de Newton à Oldenburg du 3 juillet 1673; voir la p. 326 du Tome VII.

⁸⁾ En 1667 déjà Huygens avait annoncé dans une lettre au prince Léopold de Médicis son intention de faire paraître „quandque” ses lois de la percussion des corps „ut et his cognata de vi qua tendunt a centro que in orbem vertuntur, de qua vir idem Clarissimus [Borelli]

À défaut du Traité, les treize Théorèmes, quoique dépourvus de démonstrations, ont eu une influence notable: c'est par ces Théorèmes, parait-il, que Newton a appris à connaître la mesure exacte de la force centrifuge¹⁾. Voici ce que Huygens observe lui-même à ce sujet à la p. 28 du Manuscrit G (nous citons ce passage en entier): „Je m'estonne que M. Newton sur une hypothese si peu probable et si hardie, se soit donné la peine de bastir tant de Theoremes et comme une theorie entiere des actions des corps celestes. Je dis son hypothese qui est que toutes les petites particules des divers corps s'attirent mutuellement, et cela en raison double reciproque des distances. Il a pu estre conduit a sa theorie des orbites elliptiques par le livre de Borelli du mouvement des satelites de Jupiter, qui considere aussi la diminution de pesanteur par l'eloignement (quoiqu'il n'en remarque pas la proportion) et tasche de trouver les orbis elliptiques par la force centrifuge qui contrebalance la pesanteur²⁾, mais il n'a pas sceu penetrer les vrais fondemens comme Newton qui a eu l'avantage de connoître la mesure de la force centrifuge par les Theoremes que j'en ay donnèz³⁾. Newton lui-même fait mention des Théorèmes en question dans le Scholium qui suit la Prop. IV.

egit in Theoricis Mediceorum" (T. VI, p. 162). Voir sur l'ouvrage de Borelli la note 2 de la page suivante.

En 1669 Huygens envoie à Oldenburg „ut adserventur in Actis Societatis Regiæ" les anagrammes de quelques Propositions sur la force centrifuge (T. VI, p. 487).

¹⁾ Voir à ce propos les p. 69—73, Anmerkung 16, de l'ouvrage de J. Bosscha: „Christian Huygens. Rede am 200^{ten} Gedächtnistage seines Lebensendes, aus dem Holländischen übersetzt von Th. H. W. Engelmann" (Leipzig, W. Engelmann, 1895), et les p. 118—129 du livre de F. Rosenberger: „Isaac Newton und seine physikalischen Principien, ein Hauptstück aus der Entwicklungsgeschichte der modernen Physik" (Leipzig, J. A. Barth, 1895). Fl. Cajori dans son article: „Newton's Twenty Years Delay in Announcing the Law of Gravitation" dans le Recueil „Sir Isaac Newton 1727—1927, a Bicentenary Evaluation of His Work" (Baltimore, The Williams & Wilkins Company, 1928) arrive à la conclusion (p. 186) que „Newton's delay of about twenty years in announcing the law of gravitation was due to theoretical difficulties involved in the earth-moon test", mais il ne fait pas mention du problème historique de la découverte de la mesure exacte de la force centrifuge et ne pose donc pas la question de savoir si Newton dans son calcul de 1666 a dû avoir des difficultés sous ce rapport, comme le pensent Bosscha et Rosenberger. Il est évident que pour pouvoir calculer exactement l'attraction exercée par la terre sur la lune, connaissant le mouvement de cette dernière dans son orbite à peu près circulaire, Newton aurait dû avoir des connaissances théoriques sur le mouvement équivalent à la connaissance de la valeur absolue de la force centrifuge. Dans le même Recueil G. D. Birkhoff dans son article „Newton's Philosophy of Gravitation, etc." attribue (à la p. 59) une influence prépondérante aux théorèmes de Huygens de 1673 sur la découverte de la loi de la gravitation universelle.

Theor. IV. à la p. 43 de l'édition originale des „Philosophiæ naturalis Principia mathematica".

On trouve dans les Manuscrits plusieurs calculs effectués par Huygens, après l'apparition des „Principia" de Newton, sur la grandeur de la force centrifuge à la surface du soleil ou de la planète Jupiter, comparée à la grandeur de la gravité en ces lieux. Elles trouveront une place dans un des Tomes suivants.

²⁾ Borelli, „Theoricæ Mediceorum Planetarum" (voir ce T. p. 227, dernier alinéa de la note 2 de la p. 226), p. 47: „... supponentes id, quòd videtur non posse negari, quòd scilicet planeta quendam habent naturalem appetitum se urandi cum mundano globo, quem circumveunt, quodque reuera contendunt omni comatu ipsi appropinquare, planetæ videlicet soli, Mediceæ verò sydera Iovi. Certum est insuper quòd motus circularis mobili impetum tribuit se remouendi à centro eiusmodi revolutionis, quemadmodum experimur in rotæ, seu fundæ gyro, quo lapis acquirit impetum recedendi à centro sue revolutionis; supponamus igitur planetam niti Soli ipsi appropinquare, quoniam interim ob circumlarem motum impetum acquirit se se amouendi ab eodem centro solari, hinc est, quod dum æquales eadunt vires contrariæ (altera enim ab altera compensatur) neque vicinior, neque remotior fieri potest ab ipso Sole vitra certum, ac determinatum spatium, ideoque planeta libratus apparebit, etc."

Avant Borelli, Plutarque avait dit (voir à la p. 266, la note 8 de la p. 259 de notre T. X): „... la lune ne se meut point selon le mouvement de sa pesanteur, estant son inclination deboutée et empeschée par la violence de la revolution circulaire" (traduction d'Amiot).

³⁾ A la p. 2 du recueil „Anecdota" (voir sur ce Manuscrit la note 4 de la p. 8 de notre T. XV) Huygens écrit encore à propos de ces Théorèmes: „De vi centrifuga extant, sed non demonstrata... Galileus deceptus (comparez le deuxième alinéa de la note 8 de la p. 241). Newtonus applicuit feliciter ad motus ellipticos Planetarum. Hinc quanti sit hæc vis centrifuga cognitio apparet".