

AKATEEMINEN VÄITÖSKIRJA  
MAAN MUODON MÄÄRITTÄMISESTÄ  
HEILUREIDEN AVULLA

Osa II

PUHEENJOHTAJA

M. GUST. GABR. HÄLLSTRÖM

FILOSOFIAN MAISTERIN ARVON SAAVUTTAMISEKSI

RESPONDENTTI

JACOB ÖSTERBLAD

Matematiikan auditoriossa 8. kesäkuuta 1810

TURKU

Latinasta suomentanut  
Jukka Nyblom  
6. toukokuuta 2019

Esitetyillä menetelmillä (Ks. Häl10, Suom. huom.) tuotetut heilureiden pituudet on korjattava ja palautettava sellaisiksi, että niitä voidaan keskenään verrata. Kun on kysymys maapallon muodon määrittämisestä heilureiden avulla, nähtäköön vaivaa ennen kaikkea erityisesti kahdessa asiassa. Ensiksikin heilureiden erilaisten lämmöstä johtuvien laajenemisten ja supistumisten takia on välttämätöntä palauttaa ne jonkin normilämpötilan mukaiseen pituuteen. Normilämpötilaksi valitsemme mieluiten veden jäätymislämpötilan. Toiseksi heilureiden pituudet on korjattava vastaamaan pituuksia tyhjiössä, ettei jää epäilystä heilahdusten altistumisesta ilmakehän vaihtelevalle hydrostaattiselle vaikutukselle. Mutta aluksi on mainittava Bordan Pariisin observatoriossa tekemä heilurimittaus, jonka olemme jo korjattuna asettaneet normiksi. Kuusikymmenjärjestelmän mukaan korjattuna tuon sekuntiheilurin pituus on 440,5595 Pariisin lineaa.<sup>1</sup> Se on siinä määrin tarkasti määritetty, että mahdollisuuksien mukaan siihen nähdään kaikkia muita verrattavan.

Bouguer teki jo itse omiin havaintoihinsa tyhjiö- ja lämpötilakorjauksen samaan lämpötilaan (Bou49, vrt. s. 337 &c.). Tällä tavalla hän sai keskenään vertailukelpoisia arvoja: Päiväntasaajalla, Amerikan länsiosassa lähellä merenpintaa, 439,21 Pariisin lineaa (havaittu pituus 439,07), Portobellossa 439,30 (havaittu pituus 439,16), Pikku Goavalla St. Domingon saaren pohjoisosassa 439,47 (havaittu pituus 439,33) ja Pariisissa 440,67 (havaittu pituus 440,58). Koska Bouguerin Pariisissa havaitsema heilurin pituus on todellakin suurempi kuin tuo Bordan oikea arvo<sup>2</sup>, niin mitä todennäköisimmin muutkin samalla menetelmällä määritetyt ovat liian suuria. Tämän takia lukemia pienennetään osamäärän  $440,67/440,5595$  suhteessa<sup>3</sup>, jotta ne saataisiin oikeiksi tai ainakin todennäköisemmiksi. Suhteutettuna Pariisin mittaukseen saamme siis yksinkertaisen heilurin pituuksiksi tyhjiössä: Päiväntasaajalla Amerikan Perussa 439,10, Portobellossa 439,1899 ja Pikku Goavalla 439,3599.<sup>4</sup> Tämä Goavan lukema ei paljokaan poikkea siitä yksinkertaisen heilurin arvosta, jonka Godin on esittänyt (God35, s. 517)<sup>5</sup>. Ilmoituksensa mukaan hän oli tehnyt heilurinsa aaloen rihmasta, jossa riippui pieni kuparikuula. Sillä hän mittasi yksinkertaisen sekuntiheilurin pituudeksi Pariisissa 440,65 lineaa lämpötilassa  $+8^{\circ}\frac{1}{3}R$  ja Goavalla 439,375 lämpötilassa  $25^{\circ}R$ . Hänen heilurinsa pituus on mitattu rautaviivoittimella, minkä takia sen korjauskerroin on  $1 + \psi(m) = 1 + 0,00000994m + 0,000000024m^2$  (Häl05, s. 270). Aaloen rihman lämpölaajenemista ei tunneta, mutta sitä ei tarvitse ottaa huomioon, joten  $\phi(m) = 0$ . Barometrin lukemaa ei ole merkitty muistiin, minkä takia otamme keskimääräisen arvon  $h = 25,6$ . Yllä mainituin korjauksin näitä arvoja käyttämällä edellä esitetty kaava antaa heilurin pituudeksi Goavalla  $p(0) = 439,5724$  ja Pariisissa  $p(0) = 440,756$  Pariisin lineaa. Havaitsemme siis vähenemisen suhteessa  $440,756/440,5595$ . Näistä havainnoista saadaan selville Goavan heilurin pituus 439,3765 tyhjiössä. Tämä arvo

<sup>1</sup>Vrt. (Lap02, Teil 2, s. 182), (Zac98, 1 Band, s. 92) ja (Lac99, s. 79).

<sup>2</sup>Bordan mittaama yksinkertaisen heilurin pituus 0,993827 metriä Pariisissa on mainittu mittakomitean raportissa (Lac99, s. 79). Saatu pituus vastaa 440,5595 Pariisin lineaa. Suom. huom.

<sup>3</sup>So. Pituudet 439,21, 439,30 ja 439,47 jaetaan osamäärällä  $440,67/440,5595$ . Suom. huom.

<sup>4</sup>Jos heilureiden arvot muutetaan niihin arvoihin, joiden muunnossuhteen Laplace kirjassaan (Lap02, s. 179) määritti, saadaan heilurin pituuksiksi Päiväntasaajalla 439,1013, Portobellossa 439,1894 ja Pikku Goavalla 439,3612, jotka sopivat varsin hyvin yhteen tässä saatujen kanssa.

<sup>5</sup>Alkuperäisen tekstin sivunumerot 682 &c. Suom. huom.

poikkea Bouguerin mittaamasta vähemmän kuin 2/100 lineaa<sup>6</sup>. Se siis sisältyy siihen vaihteluväliin, jonka Bouguer kokeissaan havaitsi olevan pituudeltaan 4/100 lineaa. Condaminekin (Con35) mittasi Goavalla heilurin pituuden +25°R:n lämpötilassa ja sai tulokseksi 439,35. Kun suhteutetaan nyt tämä Godinin Pariisin heiluriin ja lisäksi tehdään sekä tyhjiö- että lämpötilakorjaus 0° asteeseen, saadaan pituudeksi 439,3515. Keskiarvo näistä kolmesta hyvin yhteensopivasta mittauksesta<sup>7</sup> tuottaa Goavan yksinkertaisen heilurin pituudeksi 439,3626 Pariisin lineaa.

Juanin ja Ulloan havainnot osoittavat, että yksinkertaisen heilurin pituus Guaricossa (Cap François) on 439,32 Pariisin lineaa +23°R:n lämpötilassa (Jua52, T.II, s. 251 &c.). Lämpötila- ja tyhiökorjauksen jälkeen saadaan pituudeksi 439,5118.

Grahamin Lontoossa ja Campbellin Jamaikalla tekemät havainnot toivat tiedoksi vakioheilurin, joka teki 86401,2 heilahdusta Lontoossa 24 tunnissa ja samassa ajassa ja lämpötilassa Jamaikalla 86284 heilahdusta (Gra34, s. 302 &c.). Samanlainen instrumentti, joka Lontoossa teki 86402,1 heilahdusta +14½°R:n lämpötilassa, tuotti Pariisissa samassa lämpötilassa ja samassa ajassa 86394,4 heilahdusta sekä edelleen Lapin Pellossa 86453,5 heilahdusta. Tämä tieto on peräisin Maupertuisilta (Mau38, s. 200 &c.). Jos siis barometrin lukema, josta ei mitään ole merkitty muistiin, on ollut kaikkialla sama, ehkä keskimäärin 25,6 Ruotsin tuumaa, niin tulee tyhjiössä sekuntiheilurin pituudeksi<sup>8</sup>

$$\begin{aligned} \text{Lontoossa} & \quad \left(\frac{86402,1}{86394,4}\right)^2 \cdot 440,5595 = 440,638, \\ \text{Jamaikalla} & \quad \left(\frac{86284}{86401,2}\right)^2 \cdot 440,638 = 439,4435, \\ \text{Pellossa} & \quad \left(\frac{86453,5}{86394,4}\right)^2 \cdot 440,5595 = 441,1625. \end{aligned}$$

Niissä havainnoissa, jotka Maupertuis on toimittanut, voi olla enintään 1¼ heilahduksen virhe.

Myös Condamine (Con70, s. 25, 28, 31) käytti vakioheiluria, jonka varsi oli terästä ja linssi lyijyä. Se teki 24 tunnin aikana Amerikan Parassa<sup>9</sup> keskimäärin 98740 heilahdusta ja +15°R:n lämpötilassa Pariisissa 98891, Genevessä 98852 ja Pietarissa 98941 heilahdusta, ja vielä Lapin Ponoissa 98964 heilahdusta myös +15°R:n lämpötilassa. Koska Pariisin heilurin pituus tunnetaan, siihen voidaan verrata muiden paikkakuntien lukemia. Paran heilurin tapauksessa tieto ilman lämpötilasta kuitenkin puuttuu. Mutta koska tämä kaupunki, jonka sijainti on 1° 20' eteläistä leveyttä Atlantin rannalla, nähdään vertailut ainakin Cumanan kaupungin ja St. Batholomeuksen saaren kanssa mahdollisiksi. Edellinen on myös merenrantakaupunki, jonka sijainti on 10°27'

<sup>6</sup>Tässä viitataan ilmeisesti edellä esitettyyn Bouguerin mittauksesta johdettuun arvoon 439,3599 eikä Bouguerin alunperin raportoimiin arvoihin 439,47 ja 439,33. Suom. huom.

<sup>7</sup> $(439,3599 + 439,3765 + 439,3515)/3 = 439,3626$ . Suom. huom.

<sup>8</sup>Alkuperäisessä tutkielmassa Lontoon heilurin pituutta laskettaessa on heilahdusten lukumäärässä painovirhe: 86401,2 kun pitäisi olla 86402,1. Laskutoimitus on tehty käyttämällä oikeaa arvoa, joka on verrattavissa Pariisin heilahdusten määrään 86394,4 kuten edellä on kerrottu. Tämän perusteella voidaan sitten käyttää saatua Lontoon heilurin pituutta 440,638 Jamaikan heilurin pituuden laskemisessa. Suom. huom.

<sup>9</sup>Lienee sama kuin Brasilian osavaltio Pará. Suom. huom.

pohjoista leveyttä. Siellä von Humboldt on havainnut keskimääräiseksi lämpötilaksi  $+28^{\circ}\text{C}$ , (Hum00, s. 191) ja (Hum01, s. 345). Fahlberg on ilmoittanut St. Batholomeuksen saarella keski- ja tavallisen lämpötilan olevan  $+28^{\circ}$  ja  $+29^{\circ}\text{C}$  (Fah87, s. 143). Olettamalla siis Parassa lämpötilaksi  $29^{\circ}\text{C}$  ja Pariisissa  $15^{\circ}\text{R} = 18,76^{\circ}\text{C}$ , mutta barometrin arvoksi molemmissa paikoissa 25,6 Ruotsin tuumaa, edellä esitetty yhtälö antaa Paran sekuntiheilurin pituudeksi 439,2486 Pariisin lineaa tyhjiössä ja  $0^{\circ}$  asteessa. Tämä arvo ei voi suuruudeltaan poiketa oikeasta arvosta enempää kuin 0,0134 lineaa, koska Condamine (Con45, s. 476)<sup>10</sup> kokeissaan havaitsi suurimman vaihtelun olevan vain kolmen eli molempiin suuntiin puolentoista heilahduksen verran. Jos Geneven mittaus olisi tehty samassa lämpötilassa  $+15^{\circ}\text{R}$  kuin Pariisissa, niin ilmoitettujen havaintojen perusteella tyhjiökorjattuna Geneven heilurin pituus olisi 440,2121 lineaa, Pietarin heilurin 441,005 lineaa ja Ponoïn heilurin 441,2101 lineaa (Laplacen arvo on 441,2116). Kuitenkin tämän Pietarin arvon suhteen on kiinnitettävä huomiota siihen, että se sopii erittäin hyvin yhteen Laplacen käyttämän arvon<sup>11</sup> 441,0044 kanssa verrattuna niihinkin, jotka saadaan La Caillen ja Grischowin tekemistä havainnoista. Vakioheiluri, jonka varsi oli rautaa ja linssi lyijyä ja joka oli rakennettu ja säädetty Pariisissa  $+6,5^{\circ}\text{R}$ :n lämpötilassa, teki La Caillen mukaan 98908 heilahdusta 24 tunnin aikana. Mutta Pietarissa, jonne Condamine oli sen kuljettanut, se teki 98947 heilahdusta  $+16^{\circ}\text{R}$ :n lämpötilassa. Grischowin mukaan (Gri61, s. 449, 514) tästä saadaan Pietarin heilurin pituudeksi 440,9433. Samoin Grischow on väittänyt, että kello, joka Pariisissa kiinteässä ajassa ja  $+16\frac{2}{3}^{\circ}\text{C}$ :n lämpötilassa kävi 23 h 56 min 12 s, Pietariin vietyinä samassa ajassa ja lämpötilassa kävi 23 h 57 min 14 s (Gri61, s. 519). Tästä saadaan Pietarin heilurin pituudeksi arvo 441,1935. Sitä vastoin Hyväntoivonniemessä aaloen rihmasta valmistetulla heilurilla La Caille mittasi Pariisissa 86454 heilahdusta  $+12,5^{\circ}\text{R}$ :n lämpötilassa. Pietarissa samaan lämpötilaan korjattuna se teki 86508,75 heilahdusta 24 tunnissa, (Gri61, s. 475 ja 514) ja (LC54b, s. 56), mikä tuottaa tyhjiössä heilurin pituudeksi 441,1178 lineaa. Missään ei ole pantu merkille, mikä selittäisi tällaisen arvojen eron. On kuitenkin ilmeistä, että kysymys on joko havaintovirheistä tai pikemminkin siitä, että laitteet ovat jotenkin vahingoittuneet pitkän matkan aikana. Se, joka haluaa kuitenkin ottaa huomioon kaikki nämä arvot, vaikka ne poikkevatkin liikaa toisistaan, voi ottaa heilurin pituudeksi Pietarissa keskiarvon<sup>12</sup> 441,0649. Se poikkeaa arvosta 441,005, joka on ehkä todennäköisempi, mutta se ei juurikaan ylitä niitä rajoja, joiden puitteissa muillakin paikkakunnilla määritetyt tämänkaltaiset arvot ovat. Niihin voi halutessaan lisätä arvon 441,08, jonka Henry (Hen98, s. 524) määrittä Pietarissa aaloen rihmasta tehdyn heilurin avulla  $+14^{\circ}\text{R}$ :n lämpötilassa. Tosin kun tehdään tyhjiökorjaus ja muunnos lämpötilaan  $0^{\circ}$ , saadaan paljon suurempi arvo kuin vakioheilurin havainnoista saatu.

Hyväntoivonniemessä La Caille havaitsi vakioheilurin tekevän keskimäärin 98790,5

<sup>10</sup>Alkuperäisessä virheellisesti sivu 683. Suom. huom.

<sup>11</sup>On ilmeistä, että Laplacen kirjassa (ainakin sen saksannoksessa) on Pietarin ja Kuussaaren heilureiden pituudet väärinpäin, sillä Pietari on pohjoisemmassa, joten siellä heilurin pitäisi olla pidempi. Samalla perusteella myös Ponoïn ja Pellon pituudet ovat päinvastoin. Kun oletetaan, että Pariisin heilurin pituus on 440,5595 lineaa, niin näillä korjauksilla saadaan Laplacen mukaan heilurin pituudeksi Pietarissa 441,0045 ja Ponoïssa 441,2115, (Lap02, ks. s. 179) Suom. huom.

<sup>12</sup>So. keskiarvo luvuista: 441,005, 440,9433, 441,1935, 441,1178. Suom. huom.

heilahdusta 24 tunnissa ja  $+13^{\circ}\text{R}$ :lämpötilassa. Koska hän uskoi tuon heilurin olevan isokroninen sen Condaminen käyttämän heilurin kanssa, joka samassa ajassa Pariisissa teki 98891 heilahdusta  $+15$  asteessa, tulee Hyväntoivonniemessä tyhjiö- ja lämpötilakorjausten jälkeen sekuntiheilurin pituudeksi 439,6567, (LC51, s. 438)<sup>13</sup>. Käy kuitenkin ilmi, että tuo vakioheiluri ei ollut oikeasti isokroninen Condaminen heilurin kanssa, koska on tiedossa, että Etelä-Amerikan kaupungissa Rio de Janeirosa, jonka sijainti on  $22^{\circ} 54' 10''$  eteläistä leveyttä, se on tehnyt 98728 heilahdusta (LC54a, s. 108)<sup>14</sup>. Tämä on vähemmän kuin mitä Condamine heilurillaan havaitsi Parassa, mistä seuraa, että Hyväntoivonniemessä heiluri on aikaisemmin ilmoitettua pidempi, minkä myös aaloen rihmaheilurilla saadut havainnot vahvistavat. La Caille nimittäin päätteli, että  $+13^{\circ}\text{R}$ :n lämpötilassa, kun barometrin lukema on 25,72 Ruotsin tuumaa, pituus on 440,069 lineaa (LC51, s. 438)<sup>15</sup>. Tämän arvon hän havaitsi olevan niiden useimpien arvojen välissä, jotka eivät poikkea siitä kumpaankaan suuntaan enempää kuin  $\frac{1}{50}$  lineaa. Kun se sitten korjataan vastaamaan tyhjiötä ja 0 asteen lämpötilaa saadaan arvo 440,2125. Silloin toki oletetaan, että rihman pituus pysyy ennallaan eikä siihen lämmön vaihtelu vaikuta. Mutta tämäkään arvo ei näytä kyllin luotettavalta. On tunnettua, että tällaisen heilurin oikeaa pituutta ei ole helppo määrittää hyvin tarkasti, minkä takia nimenomaan saman havaitsijan eri paikoissa laskemien heilahdusten vertailujen kautta parhaiten saadaan lopputulokseksi jotakin varmaa. Kun siis La Caille havaitsi heilurinsa tekevän keskimäärin 86406,79 heilahdusta 24 tunnissa Hyväntoivonniemessä lämpötilan ollessa  $+13^{\circ}\text{R}$  ja barometrin lukeman 25,72 Ruotsin tuumaa, niin Port Louisin kaupungissa hän havaitsi 86367 heilahdusta lämpötilassa  $+20,5^{\circ}\text{R}$  ja samassa ilmanpaineessa. Edelleen hän havaitsi Pariisissa 86453 heilahdusta lämpötilassa  $+12,5^{\circ}\text{R}$  ja barometrin lukeman ollessa 25,27 Ruotsin tuumaa (LC51, s. 668, 797)<sup>16</sup> ja (LC54b, s. 54, 56)<sup>17</sup>. Näistä seuraa, että sellaisen yksinkertaisen heilurin pituus, jonka heilahdus tyhjiössä ja 0 asteessa kestää yhden sekunnin, on Hyväntoivonniemessä 440,0898 ja Port Louisissa 439,6821. Ei ole selvää, mitä havaintoja Laplace on käyttänyt saadessaan Hyväntoivonniemessä heilurin pituudeksi 440,0177. Tämän ansiosta voidaan myös määrittää heilurin pituus Etelä-Amerikan Rio de Janeirosa, missä LaCaille (LC54a, s. 108)<sup>18</sup> lasi keskimäärin 98728 täydellistä heilahdusta 24 tunnissa. Hänen vakioheilurinsa oli rautavartinen, jossa riippui lyijykuula. Ilman lämpötila oli  $+23,5^{\circ}\text{R}$ . Hyväntoivonniemessä hän lasi 98790,5 heilahdusta samassa ajassa ja  $+13^{\circ}\text{R}$ :n lämpötilassa. Rio de Janeirosa pituudeksi tulee 440,0636 tyhjiössä ja 0 asteen lämpötilassa.

<sup>13</sup>Alkuperäisessä virheellisesti sivu 663. Suom. huom.

<sup>14</sup>Alkuperäisessä virheellisesti sivu 166. Suom. huom.

<sup>15</sup>Alkuperäisessä virheellisesti sivu 665 &c. S. 438 antaa oikeaksi pituudeksi 440,07.

<sup>16</sup>Sivunumerot virheellisiä. Oikeita sivuja en ole löytänyt. Suom. huom.

<sup>17</sup>Alkuperäisessä virheellisesti s. 84 ja 86. Suom. huom.

<sup>18</sup>Alkuperäisessä virheellisesti s. 166. Suom. huom.

## Viitteet

- [Bou49] Bouguer, P.: *La figure de la Terre*. Jombert, Paris, 1749.  
<https://gallica.bnf.fr/ark:/12148/bpt6k1051288w>.
- [Con35] Condamine, C. M. de la: *De la mesure du pendule a Saint-Domingue*. Histoire de l'Académie royale des sciences, avec les memoires de mathématique et de physique, Memoires de mathématique et de physique: 529–544, 1735.  
<https://biodiversitylibrary.org/page/27404614>.
- [Con45] Condamine, C. M. de la: *D'un Voyage fait dans l'intérieur de l'Amérique méridionale, depuis la Côte de la Mer du Sud, jusques aux Côtes du Brésil & de la Guiane, en descendant la rivière des Amazones*. Histoire de l'Académie royale des sciences, avec les memoires de mathématique et de physique, Memoires de mathématique et de physique: 391–492, 1745.  
<https://biodiversitylibrary.org/page/27469272>.
- [Con70] Condamine, C. M. de la: *Observationes Petropoli et Ponoï institutæ ad longitudinnem penduli minuta secunda indicantis determinandam*. Novi Commentarii Academiæ Scientiarum Imperialis Petropolitane pro Anno MDCCLXIX, Tomus XIV, P. II: 24–33, 1770.  
<https://biodiversitylibrary.org/page/36915211>.
- [Fah87] Fahlberg, S.: *Observationer öfver Varmen, Vinden och Väderleken på Ön Barthelemi i Vest-Indien*. Kongliga Vetenskapliga Academiens Nya Handlingar för år 1787, Tomen VIII: 143–154, 1787.  
<https://biodiversitylibrary.org/page/46987488>.
- [God35] Godin, L.: *La longueur du pendule simple, qui bat les seconds du temps moyen*. Histoire de l'Académie royale des sciences, avec les memoires de mathématique et de physique, Memoires de mathématique et de physique: 505–521, 1735.  
<https://biodiversitylibrary.org/page/27404590>.
- [Gra34] Graham, G. & Campbell, C.: *An Account of some Observations made in London and at Black-River in Jamaica. Communicated by J. Bradley*. Philosophical Transactions, XXXVIII For the Years 1733, 1734: 302–314, 1734.  
<https://biodiversitylibrary.org/page/49562564>.
- [Gri61] Grischow, A. N.: *Relatio observationum et experimentorum, quorum instituendorum iter anno MDCCLVII in insulam Osiliam susceptum occasionem præbuit*. Novi Commentarii Academiæ Scientiarum Imperialis Petropolitane pro Annis MDCCLVIII et MDCCLIX, Tomus VII: 445–520, 1761.  
<https://biodiversitylibrary.org/page/36913058>.
- [Häl05] Hällström, G. G.: *Afhandling om jerns utvidgning af värme*. Kongliga Vetenskaps Academiens nya Handlingar, för år 1805: 253–272, 1805.

- [Häl10] Hällström, G. G. & Reilin, A.: *De figura Telluris ope pendulorum determinanda Part. I. Pro Gradu Philosophico*, Academia Aboënsis, Maius 1810. <http://urn.fi/urn:nbn:fi:fv-12629>.
- [Hen98] Henry, M.: *Essais sur détermination de la longueur du pendule simple, sous la latitude de Saint-Petersbourg*. *Novi Commentarii Academiae Scientiarum Imperialis Petropolitanae — Præcedit historia eiusdem academiae ad annum MDCCXCIII*, Tomus XI:524–530, 1798. <https://biodiversitylibrary.org/page/36978140>.
- [Hum00] Humboldt, A. von: *Neuere physikalische Beobachtungen im spanischen Amerika*. *Annalen der Physik*, Band 6, St. 2: 185–193, 1800. <https://gallica.bnf.fr/ark:/12148/bpt6k15016r/f197.item>.
- [Hum01] Humboldt, A. von: *Neue physikalische Beobachtungen im spanischen Amerika. Aus Briefen an Fourcroy und Lalande*. *Annalen der Physik*, Band 7, St. 3: 329–347, 1801. [http://www.deutschestextarchiv.de/book/view/humboldt\\_lalande\\_1801?p=2](http://www.deutschestextarchiv.de/book/view/humboldt_lalande_1801?p=2).
- [Jua52] Juan, G. & de Ulloa, A.: *Voyage Historique de l'Amérique Meridionale*, Tome II. Amsterdam, 1752. [https://archive.org/details/gri\\_voyagehistor02ullo/page/n5](https://archive.org/details/gri_voyagehistor02ullo/page/n5).
- [Lac99] La comission des poids et mesures: *Rapport sur la mesure de la méridienne de France, et les résultats qui en ont été déduits pour déterminer les bases du nouveau système métrique*. *Memoires de l'Institut National des Sciences & arts. Sciences Mathematiques et Physiques.*, Tome II, Histoire: 23–80, 1799. <https://biodiversitylibrary.org/page/16302865>.
- [Lap02] Laplace, P. S. de: *Mechanik des Himmels*, Teil 2. La Garde, Berlin, 1802. Übersetzt von J. C. Burckhardt. <https://www.e-rara.ch/zut/content/pageview/449281>.
- [LC51] La Caille, N. L.: *Diverses observations astronomiques et physiques faites au cap de Bonne-Espérance, pendant les années 1751 & 1752 & partie de 1753*. *Histoire de l'Académie royale des sciences, avec les memoires de mathématique et de physique*, *Memoires de mathématique et de physique*: 398–456, 1751. <https://biodiversitylibrary.org/page/27575685>.
- [LC54a] La Caille, N. L.: *Diverses observations faites pendant le cours de trois différentes traversées pour un Voyage au cap de Bonne-Espérance & aux Isles de France & de Bourbon*. *Histoire de l'Académie royale des sciences, avec les memoires de mathématique et de physique*, *Memoires de mathématique et de physique*: 94–130, 1754. <https://biodiversitylibrary.org/page/27781075>.



- [LC54b] La Caille, N. L.: *Observations astronomiques faites a l'Isle de France pendant l'année 1753*. Histoire de l'Académie royale des sciences, avec les mémoires de mathématique et de physique, Mémoires de mathématique et de physique: 44–56, 1754.  
<https://biodiversitylibrary.org/page/27781019>.
- [Mau38] Maupertuis, P. L.: *La figure de la Terre*. Amsterdam, 1738.  
<https://archive.org/details/lafiguredelater00maupgoog/page/n5>.
- [Zac98] Zach, F. von: *Exposition du Système du Mond, Tome II, par Pierre-Simon Laplace*. Buch Recension. Allgemeine Geographische Ephemeriden, Erster Band: 89–96, 1798.  
<https://archive.org/details/allgemeinegeogr04bertgoog/page/n99>.