

**Un metre és un metre?**



## Índex:

1. Introducció.....	6
2. Hipòtesi del treball.....	7
3. Objectius del treball.....	8
4. Per què el metre?.....	9
5. Antigues unitats de mesura a França i Catalunya.....	15
6. Context històric.....	15
7.1. La Comissió de Pesos i Mesures.....	15
7.1.1. Membres de la Comissió.....	15
7.1.1.1. Antoine-Laurent de Lavoisier.....	15
7.1.1.2. Marie Jean Antoine Nicolas de Caritat Condorcet.....	16
7.1.1.3. Pierre-Simon Laplace.....	16
7.1.1.4. Joseph-Louis Lagrange.....	17
7.1.2. Funció de la Comissió.....	17
7.2. Jean-Baptiste-Joseph Delambre.....	18
7.3. Pierre-François-André Méchain.....	19
7.4. Jean-Charles de Borda.....	20
8. Una mica de teoria.....	22
8.1. Triangulació en trigonometria plana.....	22
8.2. Triangulació en trigonometria esfèrica.....	24
8.3. Reduccions.....	27
8.3.1. Reducció al centre de l'estació.....	27
8.3.2. Reducció d'angles a l'horitzó.....	29
8.4. Determinació de la latitud i l'azimut.....	31
8.5. Projeccions dels triangles al meridià.....	33
9. Com ho van fer?.....	35
9.1. Cercle de Borda.....	36



9.1.1. Parts més importants.....	37
9.1.2. Mesura dels angles.....	40
9.2. Les estacions i les mesures desde aquestes.....	41
9.2.1. Les estacions.....	41
9.2.1.1. Criteris per la tria de les estacions .....	41
9.2.2. Mesures desde les estacions .....	41
9.2.2.1. Dificultats a l'hora de mesurar .....	42
9.3. Mesures de les bases.....	43
9.3.1. Instrument utilitzat per a la mesura .....	44
9.3.2. Com mesuraven .....	46
9.3.3. Perpinyà i Salses.....	46
9.4.3.1. Perpinyà.....	47
9.4.3.2. Salses.....	47
9.5. Mesures de latitud i azimuts.....	48
9.5.1. Latitud .....	49
9.6.1. Azimut.....	50
9.6.2. La projecció al meridià .....	51
10. La forma de la Terra .....	53
11. Continuació de les mesures fins a Formentera.....	58
11.1. Segon viatge de Méchain .....	58
11.2. Francesc d'Aragó.....	59
12. La implantació de les noves mesures .....	62
12.1. Patrons de les noves mesures .....	63
12.1.1. El quilogram.....	63
12.2. Sistema mètric decimal.....	64
12.3. Mesures de superfície .....	65
12.4. Mesures de capacitat.....	66

12.5. Mesures de pes .....	67
12.6. Mesures d'angles .....	68
12.7. Nova duració del dia .....	68
13. El metre a Catalunya .....	69
13.1. Les principals estacions a Catalunya .....	70
13.1.1. Pic l'Estella.....	70
13.1.2. Mare de Déu del Mont .....	72
13.1.3. Rocacorba.....	73
13.1.4. Puigsacalm.....	74
13.1.5. Puig Camelles .....	75
13.1.6. Puig Rodós .....	76
13.1.7. Matagalls .....	77
13.1.8. Montserrat (Sant Jeroni).....	78
13.1.9. Mont Matas (Puig de Galceran).....	79
13.1.10. Vallvidrera (Turó d'en Pascual) .....	80
13.1.11. Barcelona.....	80
13.1.11.1. Montjuïc.....	81
13.1.11.2. Fontana d'or.....	82
13.1.11.3. Catedral.....	83
13.1.11.4. La Torre del rellotge .....	83
14. Triangulació Puig estella – Mare de Déu del Mont – Puigsacalm .....	84
15. Quant mesura un metre? .....	102
15.1. El metre segons Delambre i Méchain, el metre definitiu .....	102
15.1.1. L'aplanament de la Terra .....	103
15.1.2. Quant mesura un quart de meridià.....	103
15.1.3. El metre .....	104
15.2. L'error de Méchain .....	105



15.4. Mesures i formes del meridià actuals .....	106
16. Entrevista a Anton Aubanell .....	108
16.1. Petita introducció a l'entrevistat.....	108
16.2. L'entrevista.....	108
17. Conclusions.....	112
<b>18. Bibliografia i webgrafia.....</b>	<b>114</b>
<b>18.1. Bibliografia .....</b>	<b>114</b>
<b>18.2. Webgrafia.....</b>	<b>114</b>
<b>Annexes.....</b>	<b>116</b>
<b>A.1. Mesures a Catalunya.....</b>	<b>116</b>
A.1.1. Mesures de longitud.....	116
A.1.2. Mesures de superfície.....	116
A.1.3. Mesures de volum.....	117
A.1.4. Mesures de masa.....	118
<b>A.2. Mesures a França.....</b>	<b>119</b>
A.2.1. Mesures de longitud i de superfície .....	119
A.2.3. Mesures de volum i de massa .....	120
Annex B .....	120
B.1. La revolució francesa.....	120
B.1.1.1. Causes econòmiques.....	121
B.1.1.2. Causes socials .....	121
B.1.1.3. Causes ideològiques .....	121
B.1.2. Les tres etapes.....	122
B.1.2.1. 1a etapa.....	122
B.1.2.2. 2a etapa.....	123
B.2. La guerra amb Espanya.....	125
B.2.1. La Primera Coalició .....	126

B.2.2. La guerra amb Espanya .....	126
<b>Annex C</b> .....	127
<b>Pic l'Estella</b> .....	127
<b>Mare de déu del mont</b> .....	129
<b>Rocacorva</b> .....	132
<b>Puigsacalm</b> .....	133
<b>Puig Camelles</b> .....	136
<b>Puig Rodós</b> .....	137
<b>Matagalls</b> .....	138
<b>Montserrat</b> .....	139
<b>Mont Matas</b> .....	140
<b>Vallvidrera</b> .....	140
<b>Barcelona</b> .....	141
Montjuïc .....	141

## 1. Introducció.

Pensar un tema per un treball de recerca no és gens fàcil. Jo mateixa vaig canviar de tema tres cops fins a trobar un que m'interessés i es pogués dur a terme.

Des de petita, a casa meva, he viscut d'una manera molt propera les matemàtiques i les ciències en general, i és per això, que he volgut que el meu treball de recerca tractés sobre un tema que, a més d'afectar-nos històricament, va néixer a partir de la Terra i les matemàtiques. Finalment, el meridià i el càlcul del metre va ser el tema que vaig escollir.

El metre va suposar una revolució en el sistema de mesures, aquest canvi, que es va fer fa més de 200 anys, va tenir una precisió increïble si tenim en compte l'època que era. Aquesta importància no sempre és reconeguda com ho hauria de ser, però, sense el metre el món encara seria un caos de mesures diferents que canviaven de poble a poble.

Té un punt de poesia que triessin la deumilionèsima part de la distància des de l'equador de la Terra al pol Nord (la quarta part del meridià de la Terra), ja que es volia una mesura que fos terrenal i que no beneficiés a ningú en concret. Tot i que l'any 1983 es va tornar a definir el metre com la longitud del camí que recorre la llum al buit en un interval de temps d' $\frac{1}{299\,792\,458}$  segons.

A més, com que és un tema que ens interessa tant al meu pare com a mi, podem fer les mesures junts i convertir la part pràctica del meu treball de recerca en una activitat familiar.



## 2. Hipòtesi del treball

A l'hora de plantejar-me aquest treball he desenvolupat dues hipòtesis principals:

- La primera és: serè capaç de calcular la distància per triangulació i els resultats obtinguts per a mi seran els mateixos o molt semblants als obtinguts per Méchain.
- La segona és que un metre, és a dir, el metre que utilitzem actualment no mesura exactament un metre com a la definició que li van donar a l'acadèmia francesa de pesos i mesures.

Per a demostrar-les i explicar-les correctament aquest treball constarà de 17 parts, entre les quals m'agradaria destacar: un context històric, una breu explicació sobre les persones que van dur a terme els passos necessaris per arribar fins al metre, l'explicació de com es va mesurar el metre, les estacions principals per a mesurar el metre a Catalunya, la part pràctica on reproduiré una triangulació feta per Méchain i visitaré els senyals posades a Catalunya i les explicacions matemàtiques de les mesures entre d'altres.

### 3. Objectius del treball

Els objectius que vull assolir amb aquest treball són dos:

- El primer és aprendre i entendre tota la història que hi ha a dins d'aquesta mesura que utilitzem tant.
- El segon és ser capaç de calcular per triangulació un dels triangles que van mesurar per fer el metre.

Per assolir el primer objectiu llegiré diferents llibres i miraré diverses pàgines web (que apareixen marcades a la bibliografia i webgrafia i al peu de pàgina com a fonts de cada apartat) i a partir del que llegiré aniré resumint i assolint tots els coneixements que apareixien i que em puguin resultar útils pel treball.

Per assolir el segon objectiu aprendré a calcular mesures per triangulació, per aprendre a calcular aquestes mesures necessitaré assolir coneixements matemàtics que actualment no tinc, com per exemple trigonometria esfèrica (ja que els triangles es mesuren sobre la Terra i no sobre un pla). Per demostrar que he aconseguit complir el segon objectiu, faré les mesures a un dels triangles que va utilitzar Méchain (especificat més endavant a l'apartat de la part pràctica) en el seu pas per Catalunya.

## 4. Per què el metre?

Que la nova mesura única per a França fos la deumilionèsima part de la quarta part del meridià de la Terra no va ser la primera opció. Molt abans, el 1670, Gabriel Moutou, el vicari de la parròquia de Saint Pau de Lyon, va proposar una mesura també estreta de la natura. Aquesta nova mesura es basaria en la longitud d'un minut d'arc de meridià terrestre i va suggerir la longitud del pèndol que té com a període un segon<sup>1</sup> la manera de preservar la mesura.

Però abans de Moutou, ja s'havien intentat unificar les mesures de tot el país: Francesc I en un decret de 1540 i Enric II en un decret de 1557. Però aquests intents d'unificació no van funcionar perquè els senyors feudals tenien dret a canviar la mida de les mesures amb les quals pagaven els feus, segons una decisió del *Grand Conseil*<sup>2</sup> de 1565.

Però no va ser fins a la revolució francesa que el poble ho va veure realment necessari i així ho va expressar a *les chartes de doléances*<sup>3</sup> on 310 delegacions dels estats ho van introduir reclamant una reforma en els pesos i mesures. L'abril de 1789 Lalande<sup>4</sup> va proposar com a mètode d'unificació estendre les mesures de París a tota França. Però el març de 1790 va entrar a la política francesa Charles-Maurice de Talleyrand<sup>5</sup> que va rebutjar aplicar les mesures de París per tota França i va proposar dur a terme un nou prototip agafat de la natura i que la feina es dugués a terme per l'Assemblea Nacional i l'Acadèmia Francesa conjuntament amb el Parlament anglès i la Royal Society, internacionalitzant la nova mesura.

El desenvolupament de les idees de Talleyrand les podem trobar en el que s'ha considerat el primer document oficial del nou sistema de pesos i mesures *Proposition faite a l'Assemblée Nationale sur les poids et mesures par M. l'Evêque d'Autun*: Presentada a l'Assemblea nacional el 27 de març de 1790.

*“Quan una nació decideix fer una gran reforma, ha d'evitar deixar-la a mitges per així no haver de tornar enrere, i si es tracta d'una reforma en els pesos i les mesures, no n'hi ha prou amb reduir-los a un únic pes a una sola mesura, com es podria fer*

---

<sup>1</sup>El període d'un pèndol depèn de la seva longitud.

<sup>2</sup>A França, sota l'Antic Règim, el Gran Consell era una formació jurisdiccional del Consell del Rei.

<sup>3</sup>Els “quaderns de les doléances” documents d'una longitud d'entre 1 i 80 pàgines on l'assemblea escrivia les seves peticions i queixes per l'estat.

<sup>4</sup>Joseph Jérôme Lefrançais Lalande fou un matemàtic i astrònom francès del segle XVIII.

<sup>5</sup>Polític i diplomàtic francès a més d'un antic bisbe revolucionari, de procedència aristocràtica i el 1791 a causa de les idees revolucionàries va abandonar la seva professió com a bisbe.



*fàcilment pels mitjans indicats; és necessària que la solució del problema sigui perfecte, que aquesta reducció es refereixi a un model invariable pres de la natura, de manera que totes les nacions puguin utilitzar-lo en cas que els patrons estàndards que s'adoptin es perdin o es modifiquin: l'estàndard de pes que es troba a París no s'ha determinat des de cap mesura natural; fins i tot no s'ha conegut fins ara si la naturalesa pot proporcionar un model a aquest respecte. Quant a la toisa, ha estat, és cert, relacionada per M. de Mairan, a la longitud del pèndol que bat a segons a París; però aquesta operació, tot el grau de confiança que ha adquirit entre nosaltres, no s'ha fet amb la solemnitat necessària per convèncer irrevocablement l'opinió de totes les nacions il·lustrades.*

*És apropiat fer-ho en aquest moment, i aquest és el desig conegut per un gran nombre de científics, realitzar una nova operació que tingui una precisió basada en proves i testimonis irrefutables i que els seus resultats es puguin presentar als ulls de tota Europa com un model inalterable de pesos i mesures.*

*Famosos acadèmics d'aquest segle han indicat dos mètodes principals per assolir aquest objectiu.*

*El primer seria adoptar com a base de les nostres mesures la seixanta mil·lèsima part de la longitud d'un grau de meridià tallat en dues parts iguals pel paral·lel quaranta-cinc, la longitud del qual ha sigut determinada en 57030 toisas pel Sr. De la Caille. Aquesta mesura elemental és de 5 peus i 8 polzades i quart; s'anomenaria una milliaire. Mil milliaires haurien fet una milla, tres mil farien una llegua; i vint llegües compondran un grau. La milliaire ocuparia el lloc de la toisa, de la qual diferia tan sols 42 línies i 3 quarts, i dividida així en sis parts, cadascuna de les quals representaria un peu.*

*Aquesta idea és correcta; però l'execució no promet una exactitud rigorosa. Les persones més experimentades en aquest tipus d'operacions, acorden que no es pot respondre per un error de 34 toisas; que produiria una variació sensible, és a dir, d'una mitja línia, sobre la longitud del milliaire mesurat en diferents moments. A més, seria necessari una col·laboració d'homes singularment hàbils i instruments treballats amb una perfecció infinitament rara.*

*El segon mètode ofereix més facilitats per la seva execució. Els seus partidaris van aconsellar prendre com a mesura bàsica la longitud del pèndol simple que bat a segons a una latitud de 45 graus, prefereixen aquest punt com a punt mitjà entre l'equador i el pol. A continuació, agafem com a patró la mesura exacta d'aquest pèndol, la nostra toisa el doble d'aquesta mesura i la toisa es divideix en peus, polzades i línies, seguint els criteris coneguts d'aquestes subdivisions. La longitud del pèndol per la latitud de 45 graus ja s'ha calculat; era de 36 polzades 8 línies de 52 centèsimes, però com que no ha estat determinat per un experiment realitzat sota aquest paral·lel, i pot haver-hi un error d'una desena part d'una línia, s'ha de repetir sota la mateixa latitud.”<sup>6</sup>*

Com bé diu el text citat, Talleyrand va proposar que la unitat bàsica de longitud es basés en el pèndol que bat en segons<sup>7</sup> a 45 graus. Però el 16 de febrer de 1791 l'Acadèmia de Ciències per proposta de Borda<sup>8</sup> crea una nova comissió, la Comissió de Pesos i Mesures dirigida pel mateix Borda i composta també per a Lavoisier, Condorcet, Laplace i Legendre, que el 19 de març del mateix any van presentar un informe on diuen que no es pot basar la nova mesura en una altra (com seria el temps en aquest cas), ja que, què passaria amb la nova mesura si s'haguessin de canviar les mesures del temps? I com a solució alternativa proposaven la deumilionèsima part de la quarta part del meridià de la Terra al·legant que d'aquesta manera tindrien una mesura que vindria de la Terra i estaria feta per a tots els seus habitants. Sobre aquesta elecció, Ken Alder escriu:

*“Era molt raonable que una mesura per a tots els habitants de la terra es basés en un mesurament de la Terra. Es corresponia amb les aspiracions universals de la Revolució. Com assenyalaria més tard Laplace, un metre basat en la mida de la Terra donaria dret a dir fins al terratinent més humil: "El camp que alimenta als meus fills*

---

<sup>6</sup>Cita traduïda de: TEN A.E. (1993) L'Académie des sciences et les origines du système métrique décimal. en TEN A.E., DEBARBAT S. (Eds.) (1993) Metre et système métrique. Paris/Valencia, Observatoire de Paris/IEDHC. V. esp. pp. 26-30.

<sup>7</sup>Un pèndol que bat en segons és un pèndol el període del qual són exactament 2 segons, un segon d'anada i un altre de tornada. Com que el període d'un pèndol depèn de la llargada de la corda d'aquest, amb la següent fórmula podem determinar la longitud necessària pel període desitjat:  $T = 2\pi \sqrt{\frac{l}{g}}$  on  $l$  és la longitud del pèndol,  $g$  l'acceleració de la gravetat i  $T$  el període.

<sup>8</sup>Jean-Charles, chevalier de Borda (Dacs, 4 de maig de 1733 – París, 19 de febrer de 1799) va ser un físic, mariner i matemàtic francès. El seu cognom apareix inscrit a la torre Eiffel.

*és una porció coneguda del planeta; i sóc així, en proporció, un copropietari de la Terra””<sup>9</sup>*

Tot i això el canvi de la proposta de Talleyrand per la de Borda no va ser ben rebut per a tothom, sobretot pels anglesos, que es van negar a col·laborar en una nova mesura si no era la proposada prèviament, i van sorgir diferents protestes i objeccions contra aquesta nova mesura "natural" com bé podem veure en aquest fragment d'un informe presentat per Lalande:

*“La toisa de París és tan famosa en tot l'univers que no crec que sigui necessari canviar-la i substituir-la pel pèndol a segons ... L'únic avantatge que veiem, seria fer adoptar a Anglaterra una mesura presa de la natura ...; però una revolució general en les dues nacions em sembla impossible, l'operació seria molt llarga, molt incomoda, molt incompleta. Ella posarà una confusió en les operacions d'aquells que calculen i seran absolutament indiferents per a aquells que no calculen.”<sup>10</sup>*

En aquest decret, Lalande<sup>11</sup> es queixa de la nova mesura del metre dient que serà completament inútil, ja que és molta feina i molt llarga i les mesures es quedaran igual després d'haver anat a triangular el meridià o utilitzar el pèndol que bat en segons i, per tant, s'hauria d'utilitzar la seva proposta inicial d'aplicar les mesures de París per tota França i la resta del món gràcies a la suposada simpatia de París.

Enmig de tota aquesta discussió sobre el patró a triar com a mesura universal va passar una altre fet rellevant. Jean-Xavier Bureau de Pusy<sup>12</sup> va proposar per primera vegada a l'Assemblea, el 8 maig de 1790, l'adopció d'una escala decimal per les noves mesures. Bureau de Pusy ho tenia clar, el sistema decimal, malgrat les dificultats que suposava per la gent analfabeta, era amb una petita preparació, millor que els sistemes que coexistien en aquell moment, sistemes duodecimals i vigesimalms que s'aplicaven segons el que s'havia de mesurar i segons la regió. L'Assemblea va encomanar l'Acadèmia de ciències estudiar la nova escala de mesura. Finalment l'octubre de 1790 va fer un informe sancionant el sistema decimal com el sistema que havia de regir les noves mesures.

---

<sup>9</sup>Cita traduïda: Alder, Ken (2002), *La medida de todas las cosas*, Madrid. pàg. 104

<sup>10</sup>Cita traduïda: MA VIDAL & LAURENT (1888) Archives parlementaires. París, Paul Dupont, T .XII, p. 486.

<sup>11</sup>Joseph Jérôme Lefrançais Lalande fou un matemàtic i astrònom francès del segle XVIII.

<sup>12</sup>Enginyer militar i polític Francès va presidir l'Assemblea Constituent durant diversos períodes entre 1790 i 1791.



Finalment, el 19 de març de 1791, l'Acadèmia va presentar a l'Assemblea la proposta de Borda i l'acceptació del sistema decimal com a mètode de divisió de les noves mesures.

*“El quart de meridià esdevé la unitat real de mesura, i la deu milionèsima part d'aquesta longitud la unitat usual. La mesura directa d'un quart de meridià és impracticable, però podem arribar a determinar la seva mida mesurant un arc ampli per concloure el valor de l'arc total, sigui immediatament o bé deduint-lo d'aquesta mesura, la mida d'un arc de meridià corresponent a la centèsima part de l'arc celeste de 90°, i portat perquè una meitat d'aquest arc es trobi al sud, i l'altre al nord, del paral·lel 45. De fet aquest és el valor mitjà d'aquells que, des de l'equador fins als pols, divideixen a parts iguals l'arc celeste, o cosa que és el mateix, a igual distància de latituds, multiplicant aquesta mesura per cent, encara tindrem el valor d'una quarta part del meridià. L'increment d'aquests arcs terrestres segueixen la mateixa llei que el pèndol, i l'arc que respon a aquest paral·lel és el mitjà entre tots els altres de la mateixa manera que el pèndol a 45° està al mig de tots els altres pèndols.*

*Es pot objectar aquí que, la llei dels graus augmentant cap al pol no és igual que l'augment del pèndol, encara que tant un com l'altre tenen la mateixa suposició, l'el·lipticitat dels meridians, que encara no ha sigut prou confirmada per les observacions. Però, 1. No hi ha cap altra forma d'obtenir el valor d'una quarta part d'un cercle de la terra. 2. No hi ha cap inexactitud real en el resultat, ja que tenim la longitud immediata de l'arc mesurat, amb el que hem deduït, sempre estarà en una relació coneguda. 3. L'error que es pot fer en la determinació de la centèsima part del quart d'un meridià no seria sensible. La hipòtesi el·líptica no pot allunyar-se de la realitat, a l'arc, la grandària del qual es mesurarà immediatament, necessàriament representarà amb prou precisió la petita part de la corba, gairebé circular, i una mica aplanada que fa aquest arc. 4. Finalment si aquest error pot ser sensible, pot ser corregit per les mateixes observacions, només poden quedar els errors que no es puguin estimar.*

*Com més gran sigui l'arc mesurat, més precisos seran els resultats, de fet els errors comesos en la determinació de l'arc terrestre o en les mesures tindran menys influència com més gran sigui l'arc. Finalment hi ha l'avantatge que els punts extrems són al nord i al sud del paral·lel 45, i que les distàncies a aquest encara que no són iguals no són desproporcionades. Per tant proposem mesurar immediatament un arc*

*de meridià de Dunkerke a Barcelona que inclou una mica més de 9 graus i mig. Aquest arc seria d'una extensió suficient i tindria sis graus al nord i tres i mig al sud del paral·lel mitjà. A aquests avantatges s'uneix el de tenir els dos punts extrems al nivell del mar, aquesta última condició dóna l'avantatge de tenir punts a un nivell invariable i determinat per la natura, per augmentar la grandària de l'arc mesurat i per finalitzar més enllà dels Pirineus i escapar de les incerteses que poden afectar els instruments, proposem ampliar la mesura fins a Barcelona.”<sup>13</sup>*

Immediatament l'Assemblea Nacional Francesa adoptà el quart de meridià com a unitat de mesura i la deumilionèsima part com la mesura usual. Es posarà en marxa tota la maquinària administrativa per fer realitat el metre.<sup>14</sup>

---

<sup>13</sup>Histoire de l'Académie Royale des Sciences. MDCCLXXXVIII p 7-16

<sup>14</sup>Fonts:

Escalona . M (2012) *Sistema métrico sistema internacional*, Sevilla.

Ten. A.E. (1996) *Medir el metro*. València

<https://www.biografiasyvidas.com/biografia/t/talleyrand.htm>

## 5. Antigues unitats de mesura a França i Catalunya

Aquest apartat es troba a l'annex A.

## 6. Context històric

Aquest apartat es troba a l'annex B.

## 7. Els protagonistes

### 7.1. La Comissió de Pesos i Mesures

El 16 de febrer de 1791 Borda va proposar a l'Acadèmia de Ciències crear una nova comissió: la Comissió de Pesos i Mesures.

Aquesta Comissió, estava dirigida per Borda<sup>15</sup> i formada per Lavoisier, Condorcet, Laplace i Legendre.

#### 7.1.1. Membres de la Comissió

##### 7.1.1.1. Antoine-Laurent de Lavoisier

<sup>16</sup>Va néixer a París el 1743 i va morir a París el 1794. Va ser un químic francès i és considerat el pare de la química moderna.



Inicialment volia estudiar dret i va estudiar al Collège Mazarino on va adquirir fonaments tant de ciències com humanístics. Es va graduar a la facultat de dret de París el 1764 però es va dedicar a les ciències i el 1766 va rebre la medalla d'or de l'Acadèmia de les Ciències francesa.

---

<sup>15</sup>Per a la biografia de Borda consultar punt 7.4.

<sup>16</sup>Antonie-Laurent de Lavoiser

Font: [https://www.biografiasyvidas.com/biografia/l/fotos/lavoisier\\_antoine\\_1.jpg](https://www.biografiasyvidas.com/biografia/l/fotos/lavoisier_antoine_1.jpg)



Es va casar amb Marie Paulze el 1771, va ser una gran col·laboradora de la seva feina i fins i tot va traduir alguns escrits d'ell a l'anglès.

De les seves múltiples aportacions a la química m'agradaria destacar que va ser un dels pares de la nomenclatura química que s'utilitza actualment.

Quan Lluís XVI, va passar a l'oposició i va ser guillotinat durant l'època del terror (segona etapa de la revolució).<sup>17</sup>

### 7.1.1.2. Marie Jean Antoine Nicolas de Caritat Condorcet

<sup>18</sup>Va néixer el 1743 a Ribemont i va morir el 1794 a Bourg-la-Reine. Va ser educat a escoles



jesuïtes a Reim i al Collège de Navarre a París i, finalment, al Collège Mazarin de París.

El 1769 va ser escollit com a membre de l'Acadèmia de Ciències francesa i el 1777 va ser anomenat secretari d'aquesta. El seu treball més important va ser la probabilitat i la filosofia de les matemàtiques i va ser realment important alhora durant l'elaboració de la teoria de la probabilitat.

Quan va esclatar la revolució francesa es va sumar al bàndol liberal i el 1792 s'havia convertit en un dels líders de la causa republicana unint-se als girondins, però quan els jacobins van arribar al poder es va haver d'amagar.<sup>19</sup>

### 7.1.1.3. Pierre-Simon Laplace

<sup>20</sup> Va néixer el 1749 a Beaumont-en-Auge i va morir el 1827 a París. Va estudiar a una escola prioral benedictina a Beaumont-en-Auge entre els 7 i els 16 anys, quan va ingressar a la

---

<sup>17</sup>Fonts:

<https://www.biografiasyvidas.com/biografia/l/lavoisier.htm>

<https://www.encyclopedia.cat/EC-GEC-0036710.xml>

<sup>18</sup>Marie Jean Antoine Nicolas de Caritat Condorcet.

Font:<https://previews.agefotostock.com/previewimage/medibigoff/0402913e1775f644c53894fb9e4b4108/iam-0390001980.jpg>

<sup>19</sup>Fonts:

<http://www-history.mcs.st-andrews.ac.uk/Biographies/Condorcet.html>

<http://www.mcncbiografias.com/app-bio/do/show?key=caritat-marie-jean-antoine-nicolas>

<sup>20</sup>Pierre-Simon Laplace.

Font: <https://images.gr-assets.com/authors/1397188666p5/324846.jpg>

Universitat de Caen on es va inscriure per estudiar teologia però durant els dos anys que va



estar a Caen va descobrir la seva passió i habilitat per les matemàtiques de manera que va deixar Caen i es va mudar a París per a seguir amb la seva passió i un cop allà amb l'edat de 19 anys va impressionar ràpidament a d'Alembert que va començar a ser el seu mestre i li va buscar un lloc de treball perquè es pogués mantenir a París. El 31 de març de 1773 va ser escollit membre adjunt de L'Acadèmia i el 1785 va ser ascendit dins l'Acadèmia.

Durant la segona etapa de la revolució es va mudar de París evitant així la guillotina.<sup>21</sup>

#### 7.1.1.4. Joseph-Louis Lagrange

<sup>22</sup> Va néixer el 1736 a Turín i va morir el 1813 a París. El seu interès per les matemàtiques va



començar el 1763 i va decidir fer la carrera de matemàtiques per a ell mateix. El 1756 va entrar a l'Acadèmia de Berlín i el 1787 es va fer membre de l'Acadèmia francesa abandonant l'Acadèmia de Berlín i es va fer membre de la Comissió de Pesos i Mesures el 1790 i durant el regnat del terror es va convertir en president de la Comissió quan altres membres van ser expulsats.<sup>23</sup>

---

<sup>21</sup>Fonts:

<http://www-history.mcs.st-andrews.ac.uk/Biographies/Laplace.html>

<https://www.biografiasyvidas.com/biografia/l/laplace.htm>

[https://www.ecured.cu/Pierre\\_Simon\\_Laplace](https://www.ecured.cu/Pierre_Simon_Laplace)

<sup>22</sup>Joseph-Louis Lagrange.

Font: <https://www.biografiasyvidas.com/biografia/l/fotos/lagrange.jpg>

<sup>23</sup>Fonts:

<http://www-history.mcs.st-andrews.ac.uk/Biographies/Lagrange.html>

<https://www.biografiasyvidas.com/biografia/l/laplace.htm>

### 7.1.2. Funció de la Comissió

Com ja he dit anteriorment, la Comissió va ser creada per un suggeriment de Borda i la seva funció va ser primerament proposar la idea del metre i més tard revisar l'expedició, fer els càlculs necessaris i presentar i defensar el metre davant de tot el món.<sup>24</sup>

### 7.2. Jean-Baptiste-Joseph Delambre

Va néixer el 1749 a Amiens i va morir el 1822 a París. Era el germà gran de la família i als 15 mesos va patir verola, cosa que va provocar que als 20 anys encara no fos capaç de llegir la seva pròpia lletra. Va estudiar a l'escola dels jesuïtes a Amiens on la seva visió va anar



millorant lentament i va aprendre anglès i alemany. Quan el 1764 els jesuïtes van ser expulsats de França va seguir estudiant a Amiens però amb professors que venien directament de París, gràcies als ànims donats per un professor va decidir fer l'examen d'accés a la universitat però quan va anar a fer l'examen el seu problema de vista va provocar que no pogués llegir correctament l'examen i per tant no pogués obtenir la beca universitària.

<sup>25</sup> Fins llavors, Delambre no havia après matemàtiques, cosa que va canviar quan per necessitat de feina va començar a fer de tutor d'un nen i va haver d'aprendre matemàtiques per a poder ensenyar al nen. El 1780 va llegir sobre l'astronomia per primer cop i va despertar el seu interès, de manera que va començar a assistir a conferències que donava Joseph-Jérôme Lalande, un reconegut astrònom i filòsof de l'època que més tard es convertiria en el seu mestre i el 1783, quan Lalande necessitava un nou ajudant, va recórrer al seu millor alumne, Delambre. Finalment, el 15 de febrer de 1792 va ser escollit membre de l'Acadèmia francesa de les ciències.

Va ser l'astrònom encarregat de les mesures en el sector del nord del meridià (des de Dunkerque fins a Rodez) que es va dur a terme entre 1792 i 1799. Tot i que al desembre 1793 va ser retirat de cop de les mesures per culpa d'un nou decret que deia que els funcionaris públics havien de delegar les seves funcions a aquells que s'hagués demostrat que eren dignes

---

<sup>24</sup>Font:

Escalona . M (2012) *Sistema métrico sistema internacional*, Sevilla.

<sup>25</sup>Jean-Baptiste-Joseph Delambre

<http://www.fotoseimagenes.net/jean-baptiste-joseph-delambre>

de confiança per les seves accions republicanes i la seva ferma negació a la monarquia. Però el maig de 1795 va poder continuar amb les mesures i acabar-les ràpidament i el 1799 va presentar els resultats d'aquestes mesures a la Comissió Internacional de Pesos i Mesures.

Finalment, el 1801, Napoleó I el va nomenar com Secretari Permanent de les Ciències Matemàtiques, feina que va conservar fins a la mort.<sup>26</sup>

### **27.3. Pierre-François-André Méchain**



Va néixer el 1744 a Laon i va morir el 1804 a Castelló de la Plana. Igual que Delambre, Méchain va ser educat pels jesuïtes i quan era jove el seu objectiu era convertir-se en arquitecte tot i el seu gran interès per l'astronomia. Tot i això, quan els seus mestres van veure la seva gran habilitat per les matemàtiques, el van impulsar per a estudiar a l'École Nationale des Ponts et Chaussées a París, una important escola que tenia els millors astrònoms de l'època com a mestres però aquella escola era cara i el pare de Méchain no tenia recursos suficients així que el seu fill va deixar els estudis i va començar a treballar de tutor. Aquesta feina va provocar que Méchain tingués una base financera més segura i estable i pogués comprar instruments per dedicar-se a l'astronomia que seguia sent la seva gran afició. Malauradament, el seu pare va perdre molts diners i Méchain (no sabem si gustosament o no) va vendre els seus instruments per a ajudar al pare. Això realment va ser un cop de sort, ja que aquests van ser comprats per a Joseph-Jérôme Lalande i aquest, impressionat per les seves habilitats li va donar feina al departament de cartografia al Depôt de la Marine, a Versalles.

---

<sup>26</sup>Fonts:

Alder, K (2002) *La medida de todas las cosas*, Madrid

<http://www.mcnbiografias.com/app-bio/do/show?key=delambre-jean-baptiste-joseph>

<http://www-groups.dcs.st-and.ac.uk/history/Biographies/Delambre.html>

<sup>27</sup>Pierre-François-André Méchain.

Font: [http://aprender-mat.info/history/photos/Méchain\\_2.jpeg](http://aprender-mat.info/history/photos/Méchain_2.jpeg)

El 1777 es va casar amb Barbe-Thérese Marjou i va tenir dos fills: el fill gran, Jérôme Isaac, va participar en l'expedició de Napoleó a Egipte i el petit, Agustin, el va ajudar a la seva segona missió a Espanya de la qual no va tornar.

Va ser l'astrònom encarregat de dur a terme les mesures del sector sud del meridià (des de Rodez fins a Barcelona) amb l'ajuda de l'enginyer cartògraf Jean-Joseph Tranchot. Va sortir de París el 18 de juny de 1792 i va viatjar fins a Barcelona per a començar la mesura. El març de 1794 va descobrir que havia comès un error que comentarem més tard pel que fa a la latitud de Montjuïc i a partir de llavors va començar a fugir per evitar presentar la seva feina, segons ell tan terriblement feta, i va marxar a Itàlia on va viure durant un any.

Al final amb l'ajuda de la seva dona i Delambre va acabar les observacions el novembre de 1798.

Després de la presentació del metre, Méchain va ser anomenat director de l'observatori de París cosa que va aprofitar per intentar tornar a Catalunya a tornar a fer les mesures de Montjuïc però els espanyols s'hi van oposar i a canvi li van donar un passaport per poder anar a les Illes Balears per mesurar el meridià fins a Formentera. Finalment va acabar anant a la costa valenciana on va contraure la malària i va morir al cap de 10 dies.<sup>28</sup>

---

<sup>28</sup>Fonts:

Alder. K (2002) *La medida de todas las cosas*, Madrid  
<https://www.biografiasyvidas.com/biografia/m/Méchain.htm>  
<https://www.enciclopedia.cat/EC-GEC-0041648.xml>  
<http://www.daviddarling.info/encyclopedia/M/Méchain.html>  
<http://www-history.mcs.st-andrews.ac.uk/Biographies/Méchain.html>

#### **297.4. Jean-Charles de Borda**

Jean-Charles de Borda va néixer el 1733 i va morir el 1799 a París. Era el petit de 10 germans (cinc germans i quatre germanes) en una família noble ben acomodada.



Quan tenia 7 anys va entrar al Collège des Barnabites a Dax on va estudiar grec i llatí fins que va tenir 11 anys quan el van enviar a l'escola jesuïta La Flèche on va estudiar clàssics, ciències, matemàtiques i metafísica, cosa que el va portar a fer una carrera a l'exèrcit. Va acabar els estudis a La Flèche amb l'edat de 15 anys i va

tornar a casa seva per a intentar que el seu pare li deixés seguir una carrera dins del cos d'enginyeria militar, el seu pare va acabar accedint de manera que va començar la carrera de matemàtic dins l'exèrcit.

Al maig 1756 va enviar un treball estudiant la memòria dels projectils a *l'Académie des Sciences* a París, un treball tan complet que aquell mateix any va ser nomenat membre de l'Acadèmia i més tard seria nomenat membre en ple dret.

El setembre de 1758, impulsat per la guerra dels 7 anys, Borda es va interessar per la marina. Va completar un curs de dos anys en un i va continuar la seva carrera com a enginyer militar a la marina.

Un dels seus aparells: el cercle de Borda, del qual parlarem més endavant, va ser utilitzat per a les mesures del meridià. Quan Borda va ser nomenat president de la Comissió de Pesos i Mesures va proposar el seu aparell per mesurar el meridià i crear una nova mesura a partir d'aquest, en lloc de la nova mesura proposada anteriorment que venia a partir d'un pèndol.

A principis del 1793, quan la mesura va ser aturada per reclutar funcionaris verdaderament republicans i antimonàrquics i semblava que no s'anava a acabar, la Comissió de Pesos i

---

<sup>29</sup>Jean-Charles de Borda.

Font:[http://3.bp.blogspot.com/\\_Iv6SNFziqII/SyFbrQBeHI/AAAAAAAAAAvE/WWonpF4\\_aMA/s320/borda0.jpg](http://3.bp.blogspot.com/_Iv6SNFziqII/SyFbrQBeHI/AAAAAAAAAAvE/WWonpF4_aMA/s320/borda0.jpg)

Mesures (la qual recordem que liderava Borda) va fer una estimació del metre a partir d'unes mesures realitzades anteriorment per Cassini de Thury.

Gràcies a tots aquests treballs va arribar a ser un dels físics més reconeguts de tota França.<sup>30</sup>

---

<sup>30</sup>Fonts:

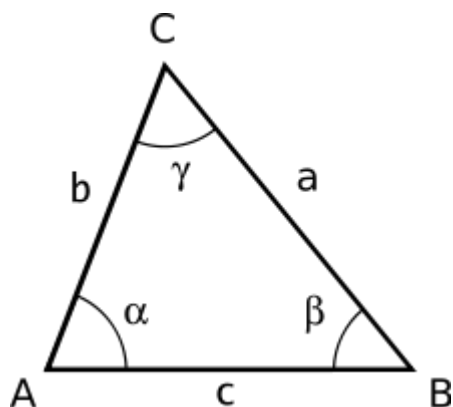
Alder. K (2002) *La medida de todas las cosas*, Madrid  
<http://www-history.mcs.st-andrews.ac.uk/Biographies/Borda.html>  
<https://www.encyclopedia.cat/EC-GEC-0011310.xml>  
<https://www.britannica.com/biography/Jean-Charles-de-Borda>



## 8. Una mica de teoria

### 8.1. Triangulació en trigonometria plana

Donat un triangle qualsevol tenim 6 elements, tres costats i tres angles.



Aquests 6 elements estan relacionats per un seguit d'igualtats que no demostrarem perquè aquest no és l'objectiu d'aquest treball.

Aquestes relacions són:

La suma dels angles d'un triangle:  $\alpha + \beta + \gamma = 180^\circ$

Teorema del sinus:  $\frac{a}{\sin\alpha} = \frac{b}{\sin\beta} = \frac{c}{\sin\gamma}$

Teorema del cosinus:

$$a^2 = b^2 + c^2 - 2bccos\alpha$$

$$b^2 = a^2 + c^2 - 2accos\beta$$

$$c^2 = a^2 + b^2 - 2abcos\gamma$$

Així doncs tenim 6 elements (costats i angles) i tres equacions els relacionen. Si coneixem tres d'aquests elements (sempre que no siguin els tres angles) utilitzant les equacions poden trobar els altres tres.

Per exemple, si coneixem dos angles  $\alpha$  i  $\beta$  i un costat a.

$$\text{Lavors } \gamma = 180 - \alpha - \beta, b = \frac{a \sin\beta}{\sin\alpha}, c = \frac{a \sin\gamma}{\sin\alpha}$$

Aquestes relacions són útils si volem calcular distàncies entre objectes que no estiguin molt allunyats entre ells, perquè la curvatura de la Terra no influeix.



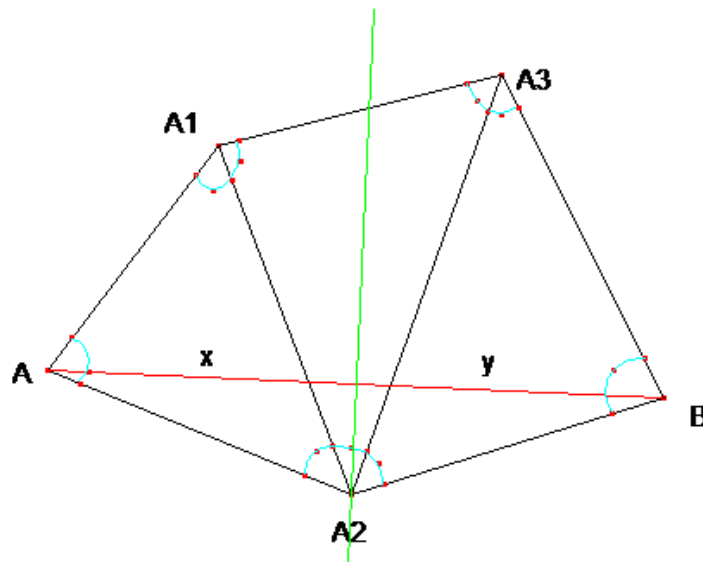
Per exemple:

Suposem que volem calcular la distància entre A i B però no podem fer-ho directament per qualsevol raó, (obstacles, estan massa lluny...).

Però triem uns punts A1, A2 i A3 de manera que sí que podem accedir a ells i a més, podem mesurar la distància entre A i A1 i A i A2. ( $AA_1$ ,  $AA_2$ )

Amb un teodolit o qualsevol aparell per mesurar angles podem mesurar l'angle que formen A1 i A2 des de A.

Així doncs, del triangle A, A1, A2 coneixem dos costats  $AA_1$ ,  $AA_2$  i un angle, llavors podem resoldre el triangle i conèixer l'altre costat,  $A_1A_2$  i els altres dos angles



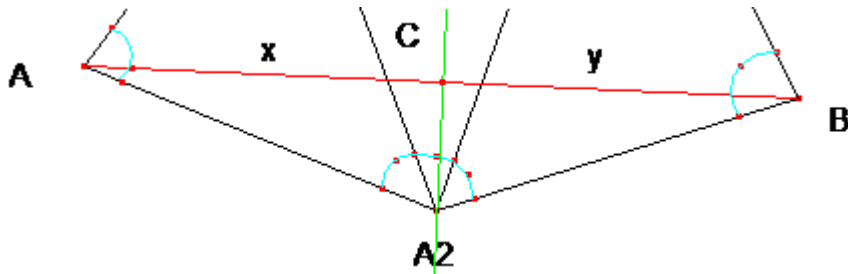
Anem després a A1 i mesurem l'angle que formen A2 i A3. Anem a A2 i mesurem l'angle que formen A1 i A3.

Del triangle, A1, A2, A3 coneixem un costat,  $A_1A_2$  i dos angles que acabem de mesurar, així doncs el podem resoldre i conèixer la resta dels seus elements.

Des de A2 mesurem l'angle que formen A3 i B i des de A3 mesurem l'angle que formen A2 i B.

Del triangle A2, A3, B coneixem un costat  $A_2A_3$  i dos angles que acabem de mesurar, així que el podem resoldre i conèixer la resta d'elements.

Coneixem tots els costats dels tres triangles però encara no hem trobat la distància entre A i B. Ens situem en A i mesurem l'angle que formen A<sub>2</sub> i B, i em situo en B i mesurem l'angle que forma A<sub>2</sub> i A.



Considerem ara els triangles A,C,A<sub>2</sub> i B,C,A<sub>2</sub> on l'angle en C fa 90°.

Lavors la distància x serà igual a  $AA_2 \cdot \cos(\text{angle que fan } A_2 \text{ i } B)$  i la distància  $y = BA_2 \cdot \cos(\text{angle que fan } A_2 \text{ i } A)$ . La distància A,B que busquem serà  $x+y$ .

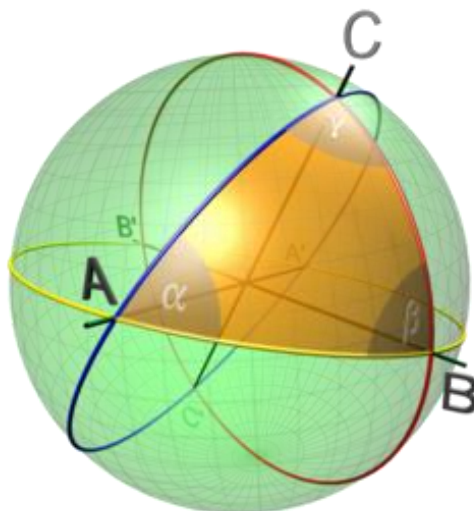
Aquest mètode es pot estendre el que vulguem afegint més triangles, només hem de poder trobar els llocs intermedis adequats per poder fer les mesures.

## **8.2. Triangulació en trigonometria esfèrica**

Un triangle esfèric és un triangle sobre la superfície d'una esfera.

En un triangle esfèric tenim 6 elements. 3 costats AB, AC i CB i 3 angles  $\alpha, \beta, \gamma$ .

Hem de notar que els costats d'un triangle esfèric es mesuren en mesures angulars i aquestes estan relacionades amb els angles que es formen en el centre de l'esfera.



Aquests 6 elements estan relacionats per un seguit d'igualtats que no demostrarem perquè no és aquest l'objecte d'aquest treball.

Aquestes relacions son:

En un triangle esfèric la suma dels angles no és constant sinó que està entre dos valors:

$$180^\circ < \alpha + \beta + \gamma < 540^\circ$$

Teorema del sinus de triangles esfèrics:  $\frac{\sin CB}{\sin \alpha} = \frac{\sin AC}{\sin \beta} = \frac{\sin AB}{\sin \gamma}$

Teorema del cosinus de triangles esfèrics:

$$\cos CB = \cos AC \cdot \cos AB + \sin AC \cdot \sin AB \cos \alpha$$

$$\cos AC = \cos CB \cdot \cos AB + \sin CB \cdot \sin AB \cos \beta$$

$$\cos AB = \cos CB \cdot \cos AC + \sin CB \cdot \sin AC \cos \gamma$$

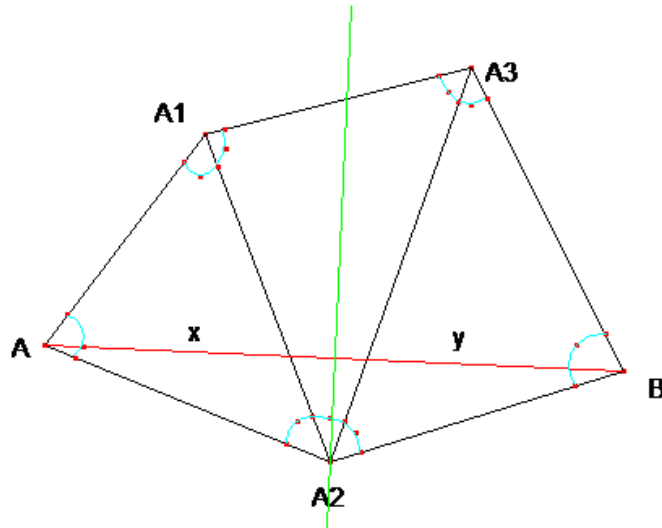
Així doncs tenim 6 elements (costats i angles) i dues equacions que els relacionen. Si coneixem quatre d'aquests elements, utilitzant les equacions poden trobar els altres dos.

Per exemple, si coneixem tres angles  $\alpha, \beta, \gamma$  i un costat AB.

Lavors  $\sin AC = \frac{\sin AB \cdot \sin \beta}{\sin \gamma}$ ,  $\sin CB = \frac{\sin AB \cdot \sin \alpha}{\sin \gamma}$  i podem trobar els costats AC i CB

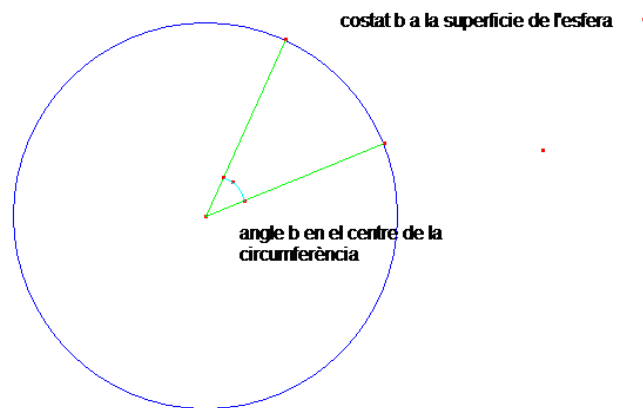
Aquestes relacions són útils si volem calcular distàncies entre objectes que estiguin molt allunyats entre ells, on també entra en joc la curvatura de la Terra.

El mètode de treball serà el mateix que he explicat a la triangulació de la trigonometria plana, però en cada triangle haurem de conèixer com a mínim els tres angles i un costat per trobar els altres.



Hem dit abans que en un triangle esfèric els costats es mesuren en mesures angulars ja que estan relacionats amb els angles que es formen en el centre de l'esfera.

En efecte:



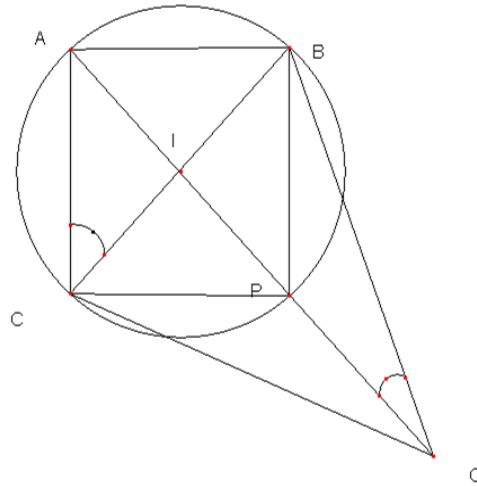
Si  $R$  és el radi de l'esfera, la relació entre l'angle  $b$  i la corda a la superfície de l'esfera és  $\text{corda} = b \cdot R$ , amb l'angle  $b$  expressat en radians.

Així doncs si volem passar les mesures angulars a mesures de longitud només les hem de multiplicar pel radi de l'esfera.

### 8.3. Reduccions

#### 8.3.1. Reducció al centre de l'estació

Quan no es podia mesurar exactament des de la base fixada per un dels extrems del triangle, feien servir la reducció al centre de l'estació.



C=centre de l'estació.

O=lloc des d'on hem observat, ja que no es podia fer des del centre.

A i B=senyals que volem observar.

AOB=angle observat

ACB=angle reduït al centre de l'estació.

Volem trobar ACB a partir d'AOB.

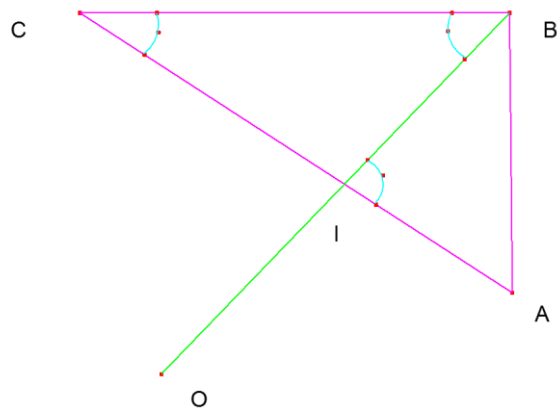
$$ACB=AIB-CBO$$

D'on surt CBO i AIB:

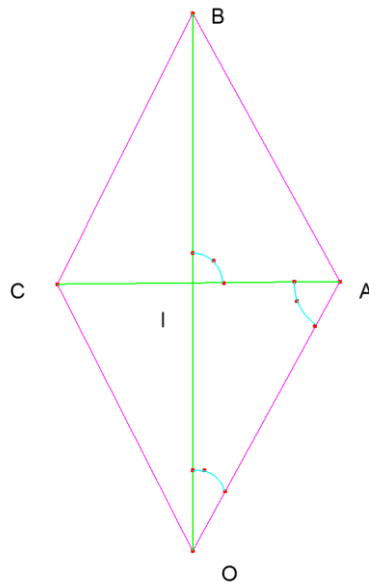
$$ACB+OBC+BIC=180^\circ \quad (BIC=180-AIB)$$

$$ACB+OBC +180-AIB=180$$

$$ACB=AIB-OBC \quad (OBC=CBO)$$



Substituim AIB per AOB+OAC de la manera següent:



$$AOB+OAC+OIA=180^\circ \quad (AIB=180-OIA)$$

$$AOB+OAC+180-AIB=180$$

$$AIB=AOB+OAC$$

De manera que la fórmula queda:

$$ACB=AOB+OAC-CBO$$

I simplifiquem la notació quedant la fórmula així:

$$C=O+A-B$$

Utilitzem el teorema del sinus per trobar A i B:

$$\sin A = \sin CBO = \frac{OC \cdot \sin AOC}{AC} = \frac{(T \cdot \sin(AOB + BOC))}{D} = \frac{(T \cdot \sin(AOB + Y))}{D}$$

$$(Y=BOC \quad T=OC \quad O=AC)$$

$$\sin B = \sin CBO = \frac{(OC \cdot \sin BOC)}{BC} = \frac{T \cdot \sin Y}{G}$$

$$(T=OC \quad Y=BOC \quad G=BC)$$

Quedant finalment:

$$C = O + \arcsin\left(\frac{(T \cdot \sin(O + y))}{D}\right) - \arcsin\left(\frac{T \sin y}{G}\right)$$

C=angle al centre de l'estació.

O=angle observant.

y=angle entre l'objecte que està a l'esquerra i el centre de l'estació.

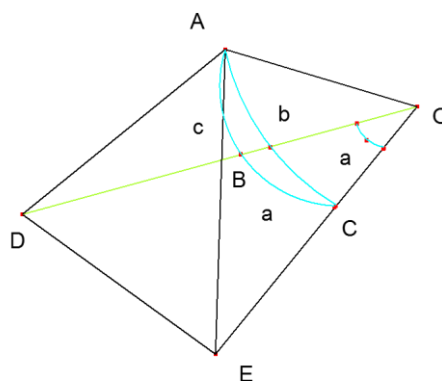
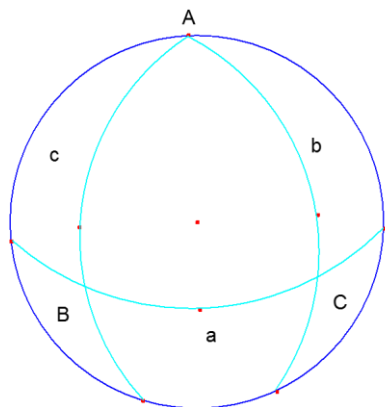
T=distància del centre del cercle al centre de l'estació.

D=distància de l'objecte a la dreta.

G=distància de l'objecte a l'esquerra.

### 8.3.2. Reducció d'angles a l'horitzó

L'angle mesurat entre dues muntanyes de diferents alçades és un angle en un pla inclinat que s'ha de passar a un horitzontal.



31

Si definim A com l'angle mesurat en un pla inclinat i a com A transportat a l'horitzó podem trobar a a partir del teorema del cosinus d'un triangle esfèric<sup>32</sup>. Van haver de modificar la fórmula per a poder realitzar els càlculs (ja que no tenien calculadores i els sinus i cosinus estaven apuntats en unes taules cosa que realitzava molt pesat qualsevol càlcul amb sinus i cosinus):

$$\cos a = \cos A \cdot \cos H \cdot \cos h + \sin H \cdot \sin h$$

H= angle complementari b.

h= angle complementari c.

$$\cos a = \frac{(\cos A - \sin H \cdot \sin h)}{\cos H \cdot \cos h}, a = \arccos\left(\frac{(\cos A - \sin H \cdot \sin h)}{\cos H \cdot \cos h}\right)$$

$a=A+x$ , per tant, substituïm **a** a l'expressió i suposant que els angles  $90-H$  i  $90-h$  són petits podem reduir els sin dels angles ( $\sin x \approx x$  si  $x$  és petit) i si són prou petits com perquè  $\sec H \sec h \approx 1$ , per tant  $\sec x \approx 1/\cos x$ .

$$x = \tan\left(\frac{A}{2}\right) \cdot \sin^2\left(\frac{H+h}{2}\right) - \cotan\left(\frac{A}{2}\right) \cdot \sin^2\left(\frac{H-h}{2}\right)$$

<sup>31</sup>Triangle esfèric

<sup>32</sup>Teorema:

$\cos c = \cos a \cos b + \sin a \sin b \cos \gamma$ .

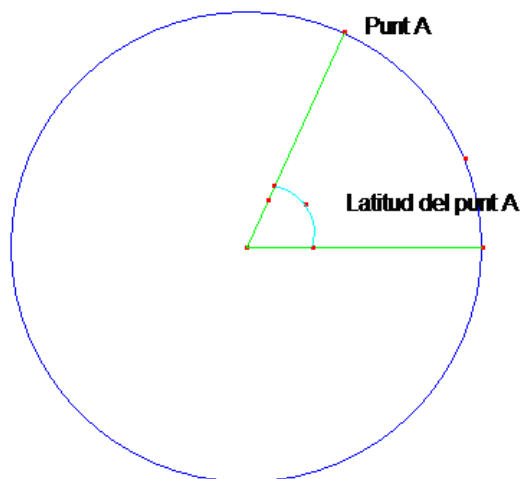


Finalment:

$$a = A + \tan\left(\frac{A}{2}\right) \cdot \sin^2\left(\frac{H+h}{2}\right) - \cotan\left(\frac{A}{2}\right) \cdot \sin^2\left(\frac{H-h}{2}\right)^{33}$$

#### **8.4. Determinació de la latitud i l'azimut**

La latitud d'un lloc determinat de la superfície de la terra és l'angle que formen, en el centre de la terra, el radi que passa per aquest lloc i el radi horitzontal que passa per l'equador.



El Pol Nord, està doncs a latitud 90°. I pel Pol Nord és per on passa l'eix de rotació de la Terra. Aquest eix apunta aproximadament a una estrella, l'estrella Polar.

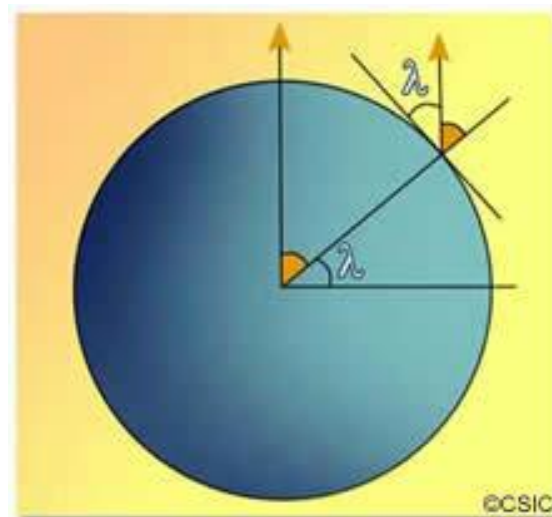
Com l'eix de rotació de la Terra apunta a la Polar, totes les estrelles semblen que giren al voltant d'ella.

---

<sup>33</sup>Delambre J. B. 1799 *Méthodes analytiques pour la détermination d'un arc du méridien* . París



Si nosaltres mesurem l'alçada de l'estrella Polar respecte l'horitzó (angle que fa respecte a l'horitzontal), estarem mesurant la latitud del lloc on fem l'observació.



Però hem apuntat que l'estrella Polar no està ben bé alineada amb l'eix de rotació de la Terra sinó que té una declinació (angle amb l'horitzontal) de  $89^{\circ} 16' 49''$  en lloc de  $90^{\circ}$ . Per això, si volem calcular la nostra latitud amb precisió utilitzant mètodes astronòmics hem d'anotar l'altura de la polar quan està en el lloc més elevat o menys elevat respecte l'horitzó, ja que gira al voltant de l'eix de rotació de la Terra. La Polar estarà en aquestes posicions quan

---

<sup>34</sup>Font imatges:  
CSIC

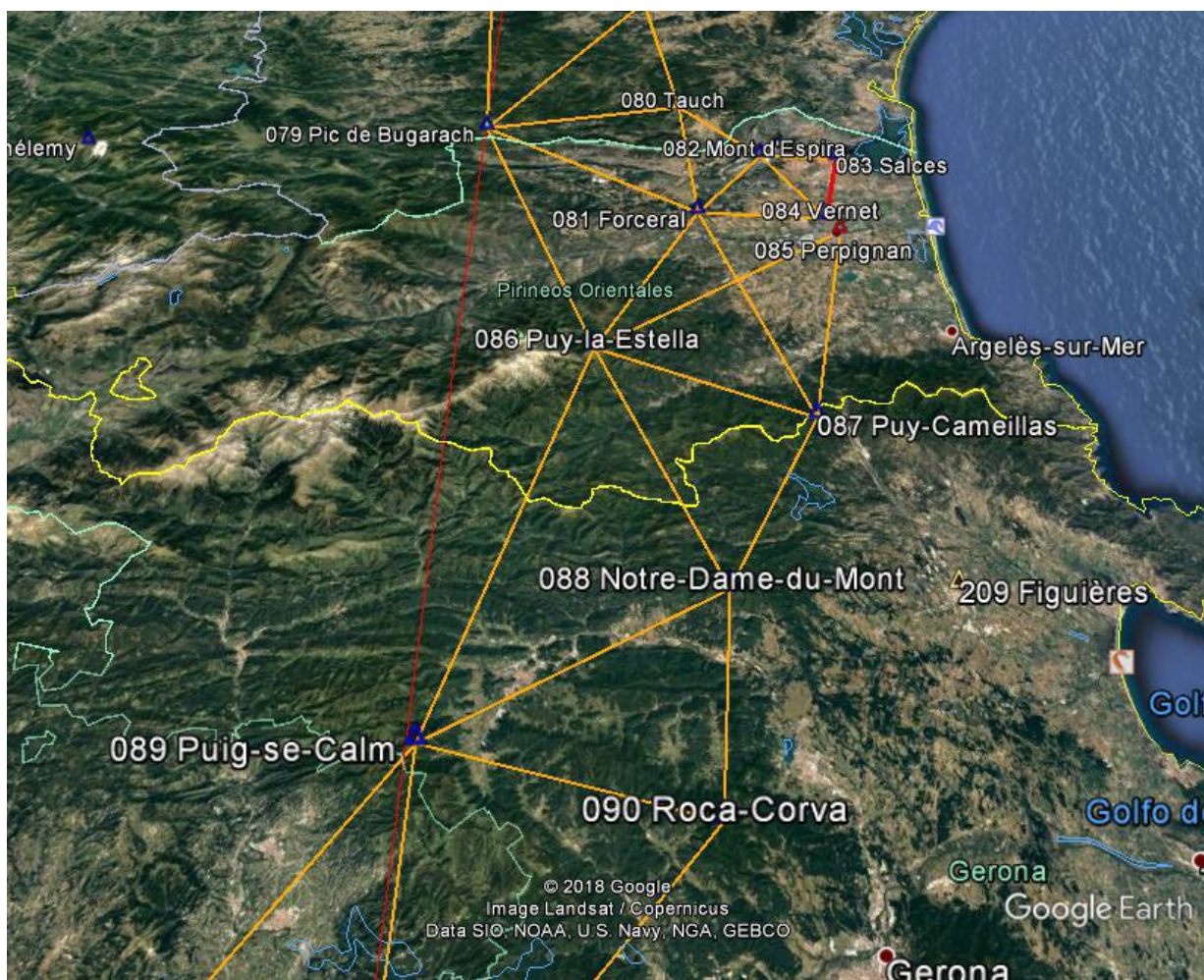
estigui exactament a sobre del meridià nostre, és a dir quan travessi la línia Nord-Sud. Per saber quan estarà en aquestes posicions es fan servir taules astronòmiques.

L'azimut és l'angle que forma una visual amb un senyal amb la línia nord –sud. Per mesurar l'azimut d'un objecte respecte nosaltres necessitem conèixer on està exactament el Sud.

Sabem que quan el Sol està en la seva posició més elevada, està exactament al Sud.

Mitjançant taules astronòmiques podem saber el moment exacte que el Sol passa pel meridià i mesurar l'angle horitzontal que fa amb l'objecte del qual volem mesurar el seu azimut.

### **8.5. Projeccions dels triangles al meridià**



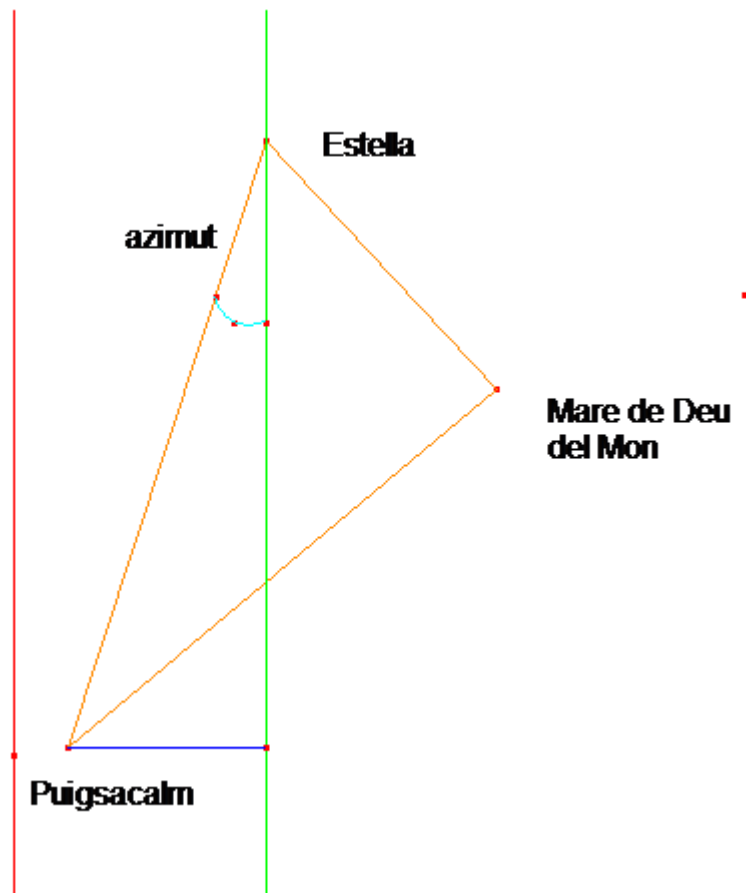
Suposem que hem finalitzat la nostre triangulació i coneixem el valor de tots els costats i tots es angles dels triangles.

Nosaltres volem conèixer la longitud del meridià (línia vermella) i coneixem els costats dels triangles (línies taronges) llavors haurem de projectar els costats a la línia nord-sud, (meridià).

Ho podem veure amb un exemple:

Considerem el triangle format per Puig L'Estella, Mare de Déu del Mont i Puigsacalm. D'aquest triangle coneixem els tres costats, en particular el costat Puig L'estella – Puigsacalm.

Des de el Puig L'estella mesurem l'azimut del Puigsacalm (angle amb la línia nord-sud)



La projecció del costat Estella-Puigsacalm al meridià serà:

$$\text{Projecció} = (\text{Estella-Puigsacalm}) \cdot \cos(\text{azimut}).$$

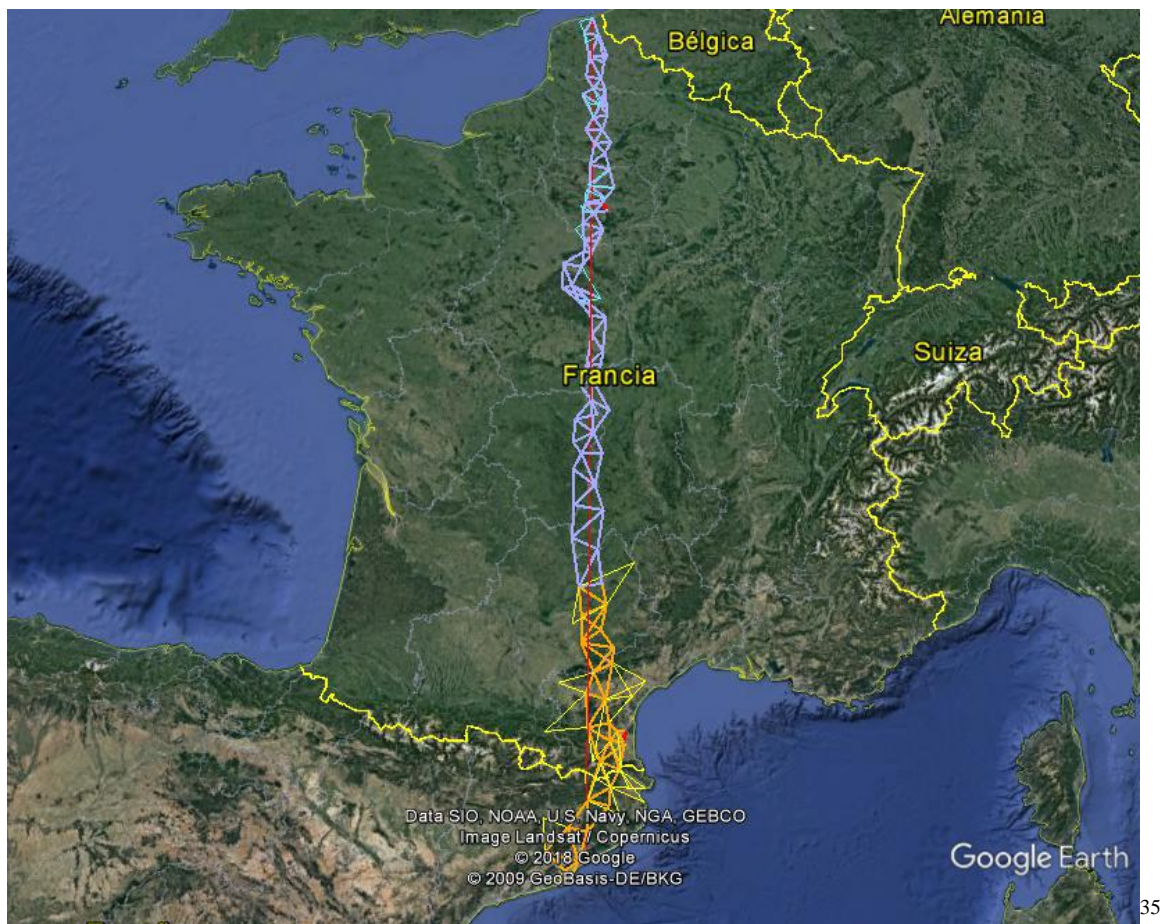
Si anem repetint aquesta operació a tota la cadena de triangles obtindrem la mesura exacta de l'arc de meridià.

## 9. Com ho van fer?

Per poder mesurar de la forma més exacta possible el quart de meridià van seguir els següents passos:

- 1) Tria de l'arc de meridià, en aquest cas ja hem vist que es va triar el meridià que va de Dunkerke a Barcelona.
- 2) Disseny de la triangulació i tria de les estacions que van fer servir per a aquesta triangulació.
- 3) Mesura de dues bases. És necessari mesurar de forma exacta dues bases, amb una ja en tenien prou però al tenir dues també les van fer servir com a control de qualitat. Si la mesura d'una base utilitzant la cadena de triangles era igual que el resultat sobre el terreny el mètode seguit era exacte. Aquestes bases estaven connectades a la cadena de triangles i el seu valor era l'inici per fer tots els càlculs, per això la seva mesura havia de ser molt exacte.
- 4) Mesura dels angles des de les estacions utilitzant el cercle de Borda.
- 5) Mesura de la latitud dels extrems, Dunkerke i Montjuic, per saber la grandària de l'arc mesurat. També es van mesurar latituds intermèdies a París, Evaux, i Carcassone.
- 6) Mesura dels azimuts de les bases per poder fer la projecció dels costats dels triangles als meridians.
- 7) Resoldre tots els triangles de la cadena i les seves projeccions al meridià





## **9.1. Cercle de Borda**

Per a realitzar les mesures va ser utilitzat el cercle de Borda. Aquest cercle, va ser una millora del cercle de refracció creat per Tobias Mayer<sup>36</sup> al qual Jean-Charles de Borda amb l'ajuda d'Étienne Lenoir<sup>37</sup> van realitzar canvis per a millorar-lo, la seva versió definitiva va estar llesta el 1777 i va ser tan diferent del cercle de refracció original que se li va donar el nom de Cercle de Borda. Va ser creat amb la finalitat original d'orientar-se quan es navegava (cosa poc sorprenent, ja que Borda va ser un membre de la marina abans d'entrar a l'Acadèmia).

Estava format per dos petits telescopis col·locats un a sobre l'altre enganxats a dos anells de llautó graduats i que podien girar independentment l'un de l'altre.

---

<sup>35</sup>Triangulació completa de Dunkerke a Barcelona.  
<http://www.prof-hansfroehlich.de/Neuigkeiten-News>

<sup>36</sup>Va ser un matemàtic, cartògraf i astrònom alemany del segle XVII que va dissenyar el cercle de repetició en el que es va basar Borda per a crear el seu.

<sup>37</sup>Va ser un dels majors fabricants d'instruments científics del segle XVII, va ajudar a Borda amb la construcció del seu cercle.

### 9.1.1. Parts més importants.

A la primera imatge, podem veure un esbós del cercle de Borda, marcades amb lletres hi ha les parts més importants:

a: Aquest cargol era utilitzat per a fixar el cercle amb una posició inclinada.

b,b: La seva funció era fer contrapès i regular a la velocitat del moviment.

c: Cargol de pressió per a fixar les fulles.

d: El vernier<sup>38</sup>.

e: Cargol de pressió per a fixar el cercle i el tronc al cercle azimutal.

f: Quan e es deixa anar, guia l'aliada al punt desitjat del cercle azimutal.

A la segona imatge, podem veure un esbós més general amb les parts més grans:

Figura 1: Cercle de Borda en la seva totalitat.

Figura 2: Palanca utilitzada per a activar els cargols més grans.

Figura 3: Cercle vist des de dalt.

Figura 4: Objecte que dona a la columna una posició vertical.

Figura 5: Cercle azimutal<sup>39</sup>.

Figura 6 i figura 7: Abraçadores que s'implanten al cercle de Borda.

Figura 8: Vernier.

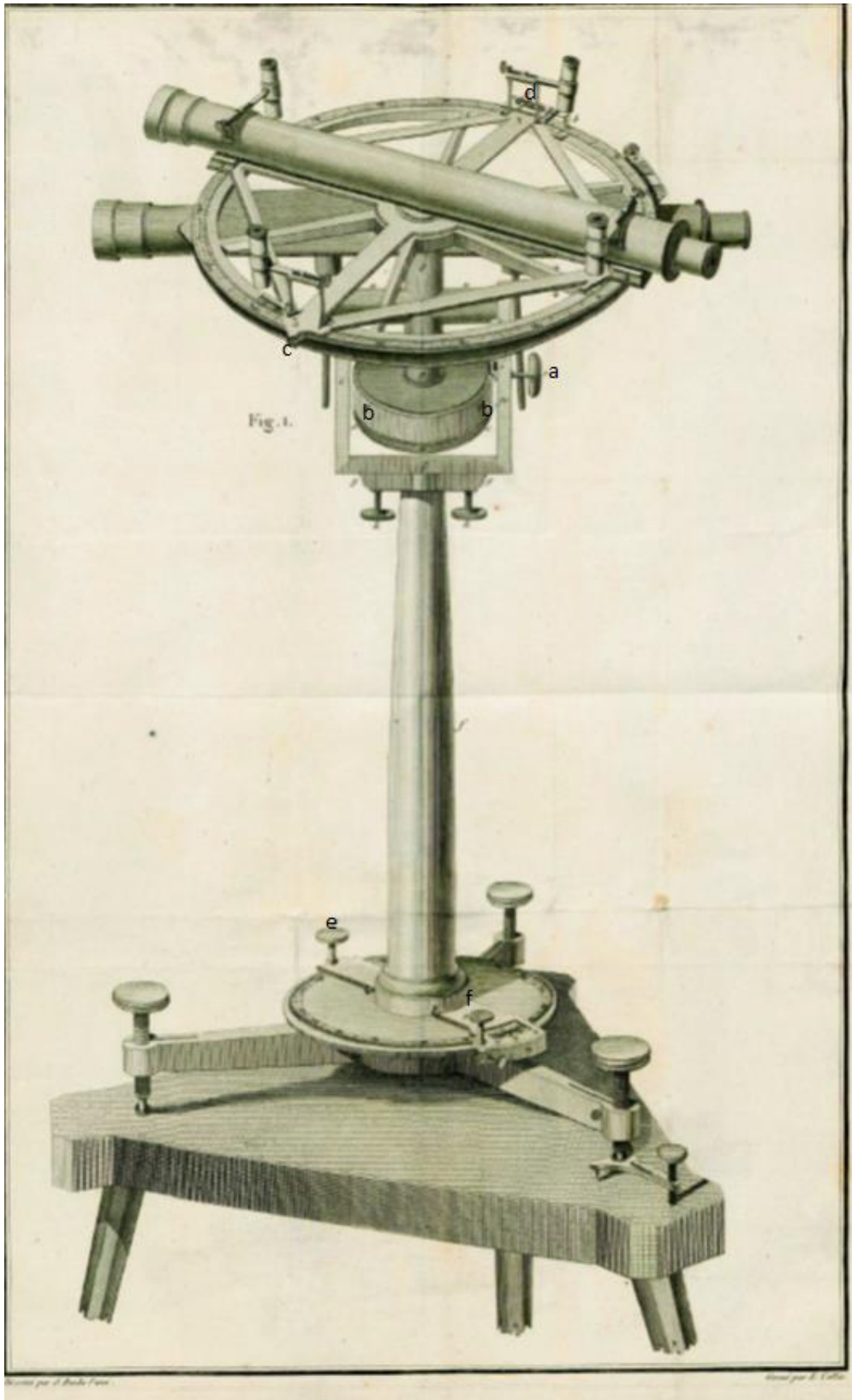
Figura 9: Pressiona el cargol contra el tambor.

Figura 10: Figura 9 però oberta de manera que no fa pressió.

---

<sup>38</sup>Escala auxiliar per augmentar la precisió.

<sup>39</sup>Calcula angles horitzontals, els azimuts.



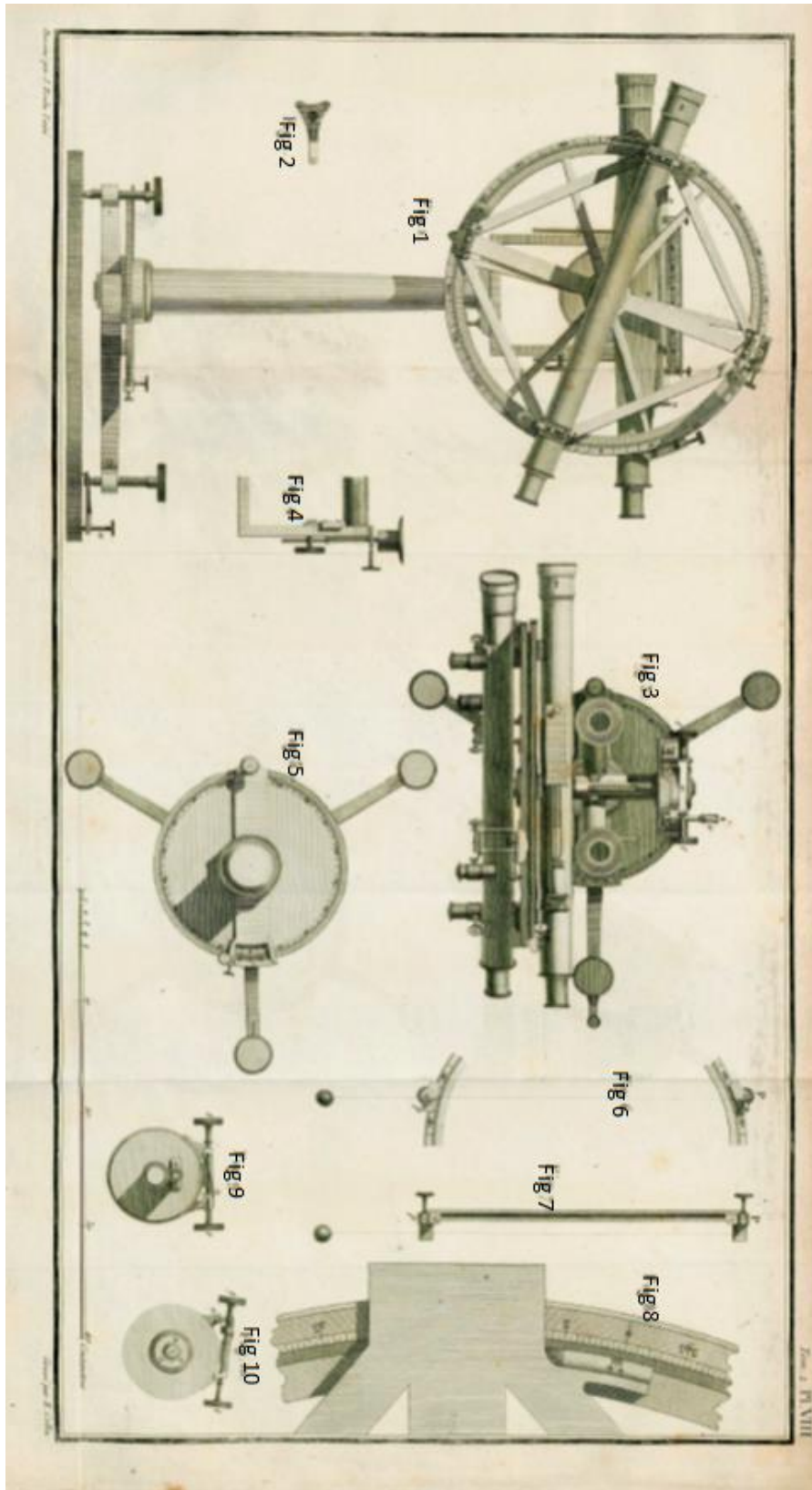
40

---

<sup>40</sup>El cercle de Borda.

Font: Delambre J.B., Méchain P (1806). *Base du système métrique décimal* París.





<sup>41</sup>Cercle de Borda

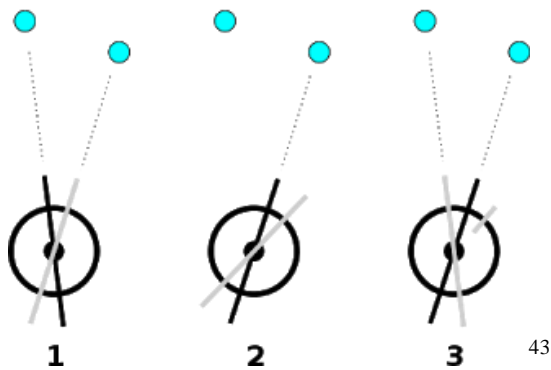
Font: Delambre J.B., Méchain P (1806). *Base du système métrique décimal* Paris.

### 9.1.2. Mesura dels angles

Com es mesurava l'angle entre dos punts (A i B) amb el cercle de Borda:

1. Se situa un dels telescopis fins que apunta a A i l'altre fins que apunta a B i es llegeix l'angle entre A i B.
2. Es fixen els dos cercles de rotació fins utilitzant els cargols necessaris i es gira l'aparell de manera que el primer telescopi apunti a B.
3. Es gira el segon telescopi de manera que aquest apunti a A.

Amb aquest mètode s'obté dos cops l'angle mesurat inicialment.<sup>42</sup>



Aquest procediment el podem repetir les vegades que volem així obtenim múltiples de la mesura angular. Després dividim i d'aquesta forma els possibles errors queden disminuïts ja que no els farem sempre en el mateix sentit (excés o defecte).

<sup>42</sup>Fonts:

Delambre J.B., Méchain P (1806). *Base du système métrique décimal* París.  
<http://tierradetopos.blogspot.com/2010/01/el-ciculo-de-borda.html>  
<http://dicci-eponimos.blogspot.com/2010/07/circulo-de-borda.html>  
[http://www.naucher.com/es/hemeroteca/un-circulo-de-reflexion-de-borda/\\_h:59/](http://www.naucher.com/es/hemeroteca/un-circulo-de-reflexion-de-borda/_h:59/)  
[https://ca.wikipedia.org/wiki/Cercle\\_de\\_reflexi%C3%B3](https://ca.wikipedia.org/wiki/Cercle_de_reflexi%C3%B3)  
[http://www.cordouan.culture.fr/accessible/fr/uc/03\\_03\\_01-L%E2%80%99appareil%20de%20Borda%20et%20Lenoir%20pour%20Cordouan](http://www.cordouan.culture.fr/accessible/fr/uc/03_03_01-L%E2%80%99appareil%20de%20Borda%20et%20Lenoir%20pour%20Cordouan)

<sup>43</sup>Explicació gràfica del procés.

Font:[http://2.bp.blogspot.com/\\_ZAqahv\\_ot2U/SzOV7oVm4AI/AAAAAAAAAFw/Uryom9oIsc0/s320/454px-Borda-repeating-circle.svg.png](http://2.bp.blogspot.com/_ZAqahv_ot2U/SzOV7oVm4AI/AAAAAAAAAFw/Uryom9oIsc0/s320/454px-Borda-repeating-circle.svg.png)

## **9.2. Les estacions i les mesures desde aquestes**

### **9.2.1. Les estacions**

Les senyals eren mesurades des de les estacions<sup>44</sup> que col·locaven als vèrtexs dels triangles.

Aquestes estacions tenien l'aspecte d'una tenda blanca de forma cònica (per poder destacar durant el dia i protegir el cercle de Borda). En aquesta tenda dormia normalment l'encarregat de mesurar (Méchain o el seu ajudant en el cas de Catalunya i Delambre en el cas de França).

#### **9.2.1.1. Criteris per la tria de les estacions**

Per la tria de les estacions per mesurar es tenien en compte diferents criteris:

- La localització de la muntanya: és de les més importants i obvies, la localització de la muntanya havia de ser bona per poder-la connectar als triangles fets i havia de tenir relativament a prop possibles noves estacions o estacions ja decidides anteriorment.
- Visibilitat des de l'estació: era important que des de l'estació escollida hi hagués una bona visibilitat per a poder veure possibles noves estacions o les ja determinades i realitzar les mesures necessàries.
- Accessibilitat de l'estació: l'estació havia de ser accessible de manera relativament fàcil, ja que havien de transportar el cercle de Borda, les provisions... Tot el necessari es transportava a partir d'animals de càrrega o carros però el fet de tenir les estacions en la seva majoria localitzades en muntanyes impedia per general l'ús de carros.
- L'alçada de la localització: és més que evident que l'alçada de la localització era realment important per aconseguir una millor visibilitat dels voltants. El lloc havia de ser relativament alt per a poder veure les altres estacions.

### **9.2.2. Mesures desde les estacions**

Des de les estacions es mesurava la latitud i l'azimut<sup>45</sup> i l'angle entre les estacions amb les quals s'havia de formar el triangle.

---

<sup>44</sup>Aquestes estacions estan esmentades i explicades correctament a l'apartat 13.

<sup>45</sup>Explicat a l'apartat 9.4.

Els angles entre senyals es mesuraven amb el cercle de Borda<sup>46</sup>. Per tal de facilitar la lectura es duïen a terme certs procediments:

- Els senyals eren tendes còniques blanques per a poder destacar durant el dia entre la malesa.
- Quan s'havia de mesurar durant la nit, es col·locava una persona a cada senyal i encenia un foc que després creava un reflex amb un mirall perquè el senyal fos visible des del lloc de mesura.

#### 9.2.2.1. Dificultats a l'hora de mesurar

A l'hora de mesurar es van trobar amb un nombre considerable de dificultats, algunes de les quals s'enfrontaven diàriament:

- Boira: hi ha cims, per exemple el Matagalls, on la boira és molt comuna i costa molt trobar un dia clar o bé s'ha de pujar molt d'hora i amb sort podràs veure alguna cosa abans que la boira s'ho empassi tot.
- Aquest era un problema amb el qual es van trobar freqüentment i l'única solució és la que ja he anomenat: començar a realitzar les mesures molt d'hora.
- Inaccessibilitat d'una estació: a vegades s'utilitzaven com a senyals per a mesurar llocs que després es trobaven que eren inaccessibles però que ja havien estat mesurats. Quan això passava s'havia de mesurar des d'algun lloc proper al senyal ja triada i utilitzar la reducció al centre de l'estació<sup>47</sup>.
- L'absència de llocs elevats: dels primers problemes que es va trobar Delambre quan va començar a mesurar a França va ser la falta de llocs elevats a pobles i ciutats, ja que la guerra de la revolució francesa havia destruït tots els campanars. La seva única solució possible va ser fer una petita reparació a aquells que no estaven molt ruïnats però quan ho va fer el van acusar d'espionatge.
- La inestabilitat política: com ja he comentat en el context històric ens trobem en un moment de molta inestabilitat, ja que som en ple auge de la revolució francesa.

---

<sup>46</sup>Explicat a l'apartat 9.1.

<sup>47</sup>Explicada a l'apartat 9.3.

Aquesta situació va ser la causant que Méchain i Delambre estiguessin dos anys sense mesurar (1793-1795), perquè quan els jacobins van arribar al poder van anunciar un decret que deia que tot aquell que no fos un republicà plenament comprovat no era apte per a dur a terme cap mena de treball per a l'estat (com per exemple les mesures pel metre). Però abans de 1793 ja es van trobar problemes:

- Quan Delambre va arribar al primer lloc on havia de realitzar la mesura es va trobar envoltat de gent del poble que li demanava explicacions. Quan ell i els seus ajudants van haver ensenyat els papers i explicat que estaven en una missió oficial per a l'Acadèmia de les Ciències francesa els habitants del poble van respondre a crits que ja no existia tal acadèmia<sup>48</sup>. Delambre i els seus ajudants es van veure obligats a passar la nit a una posada retinguts fins que es pogués comprovar que realment estaven treballant per l'Acadèmia. Després d'aquest incident els hi van proporcionar un passaport en nom del rei que els hi donava permís per a realitzar totes les mesures necessàries.
- Quan el rei va ser decapitat el passaport els hi va resultar inservible, ja que estaven complint una missió per a un rei mort.
- Un altre dels problemes que es van trobar, aquest cop Méchain, va ser que la guerra entre Espanya i França<sup>49</sup> que li va impedir realitzar les mesures necessàries als Pirineus.

Tot i les dificultats van ser capaços de dur a terme les mesures correctament però es va trigar més de l'esperat.<sup>50</sup>

---

<sup>48</sup> Amb aquest crit volien expressar que la superioritat que se solia donar a l'Acadèmia ja no havia d'existir, ja que amb la revolució tots eren iguals i per tant el tracte exclusiu pel sol fet d'estar realitzant una missió oficial ja no existia.

<sup>49</sup> Ja explicada a l'apartat 6.2.

<sup>50</sup> Fonts:

Delambre J.B., Méchain P (1806). *Base du système métrique décimal* París.

Ten. A.E. (1996) *Medir el metre*. València

Alder. K (2002) *La medida de todas las cosas*, Madrid.

Escalona . M (2012) *Sistema métrico sistema internacional*, Sevilla.

### **9.3. Mesures de les bases**

Per a començar a mesurar els angles entre estacions i calcular els costats dels triangles havien de tenir una base d'un costat del triangle que haguessin mesurat exactament i des d'allà començar les mesures per a la resta dels triangles.

#### **9.3.1. Instrument utilitzat per a la mesura**

Aquestes bases es mesuraven utilitzant un instrument semblant a un regle però mesurava en toisas<sup>51</sup> i tenia certs elements que el feien molt més precís.

Estava format per quatre regles de platí de dos toisas de llarg, unes sis línies<sup>52</sup> d'ample i amb una línia de gruix aproximadament. Cada regla de platí estava coberta per una altre regla de coure<sup>53</sup> més curta, de sis polzades<sup>54</sup> més o menys. A l'extrem del regle de coure estava situat un vernier<sup>55</sup> previst d'un microscopi per a més precisió.

Cada un d'aquests regles es portava sobre una fusta per assegurar-se de que quan mesuressin estiguessin rectes i cada regla estava cobert amb un sostre de fusta per a garantir que no els hi toqués el sol (ja que això feia que el platí, protegit pel coure i la fusta, s'escalfés molt menys i en conseqüència s'expandís molt més lentament) però sota el sostre hi havia uns centímetres per on podia entrar la llum i l'observador pogués veure contínuament els regles. Cada peça de fusta portava, a més a més, dos trípodcs de ferro que portaven unes peces de fusta, la part superior de les quals acabava amb tres puntes de ferro per poder-se clavar al terra.

---

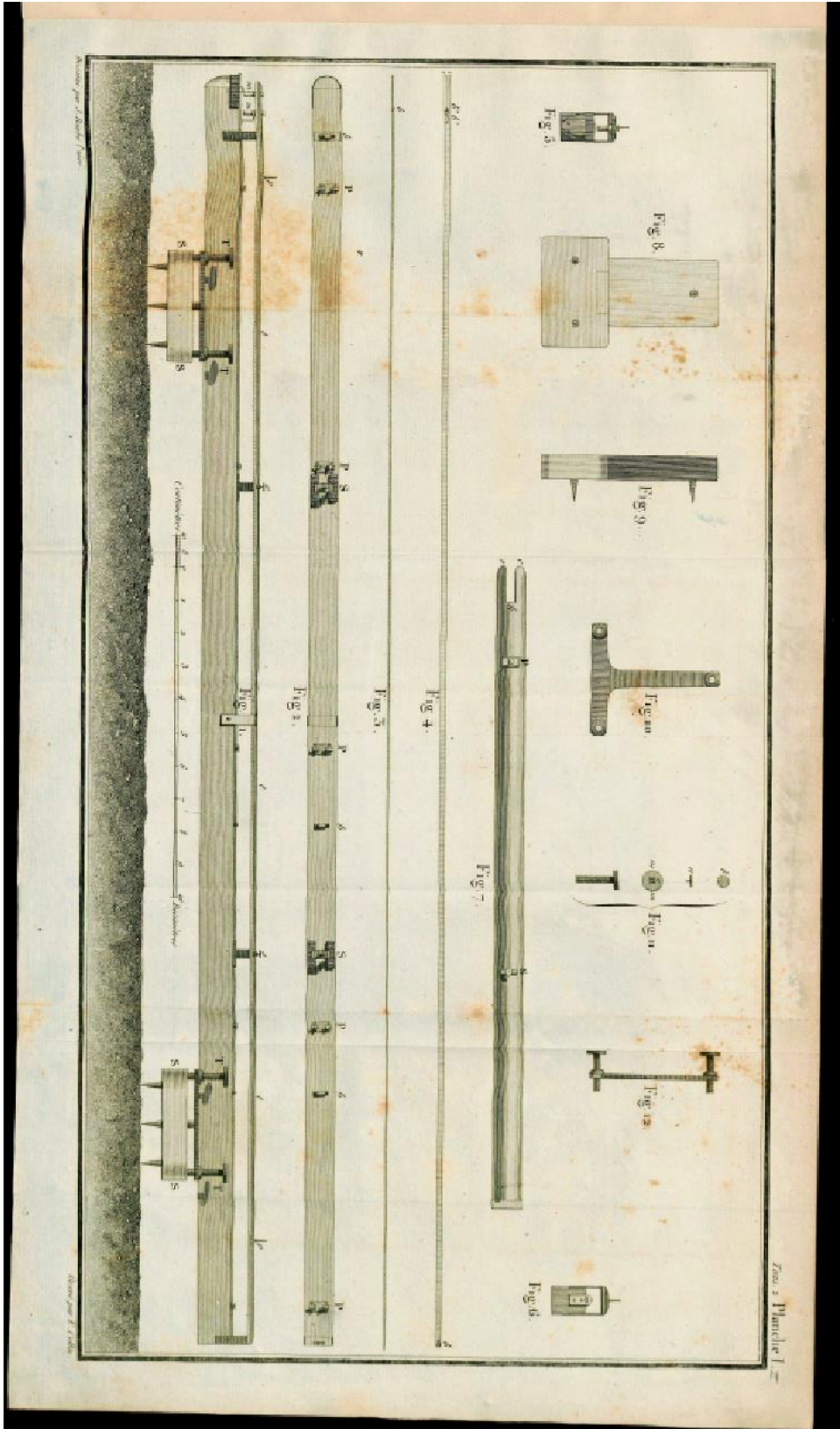
<sup>51</sup>Antiga mesura francesa, 1 toisa = 1,949 m

<sup>52</sup>Antiga mesura francesa, 1 linea = dotzena part d'una polzada = 2,255877 mm

<sup>53</sup>La utilitat del regle de coure era mesurar la dilatació del regle de platí.

<sup>54</sup>Antiga mesura francesa, 1 polzada = 27,07 mm

<sup>55</sup>La utilitat del vernier ja ha estat explicada a l'apartat 9.1.



56

<sup>56</sup>Instrument utilitzat per a mesurar les bases.  
 Font: Delambre J.B., Méchain P (1806). *Base du système métrique décimal* París.

### 9.3.2. Com mesuraven

La mesura de la base exacte va ser una feina relativament senzilla (si ho comparem amb la mesura total del meridià) però molt pesada. El mètode de mesura era el següent:

- 1) Es van triar dues bases, una a Melun i l'altre a prop de Perpinyà (entre Vernet, un barri de Perpinyà, i Salses). Ens centrarem en aquesta darrera, ja que va ser la que vaig estudiar i visitar.
- 2) Es clavaven 4 regles al terra comprovant que tots estiguessin perfectament alineades, les regles s'havien de tocar per l'extrem i a partir d'un petit regla retràctil.
- 3) Repetien l'operació anant canviant les regles de lloc, la primera passava a ser la cinquena, fins que arribaven al final de la base. Cada regle mesurava 2 toisas, sabent que les bases mesuraven 6000 toisas aproximadament, volia dir que repetien l'operació com a mínim 3000 vegades.
- 4) Solien repetir cada tram dues vegades o més per a poder assegurar-se de que les mesures fetes eren les correctes. A més havien de suportar les inclemències meteorològiques, per mesurar una base empraven aproximadament 3 mesos.
- 5) Finament van comprovar la mesura d'una base a partir de la mesura de l'altre i utilitzant la cadena de triangles que les unien. Una mena de control de qualitat. La base de Perpinyà calculada a partir de la cadena de triangles i prenen coma base Melun, és de 6006.249 toises, el resultat mesurat directament sobre el terreny va ser de 6006,247848 toises. La diferència és mínima tenint en compte que un resultat es va mesurar directament sobre el terreny i l'altre es va deduir a partir d'una cadena de 53 triangles i la mesura de la base de Melun.
- 6) És sorprenent i d'admirar la precisió obtinguda veient els mitjans de l'època.

Així doncs veiem que era una feina força pesada que requeria molta dedicació i concentració.<sup>57</sup>

---

<sup>57</sup>Font: Delambre J.B., Méchain P (1806). *Base du système métrique décimal* París



### 9.3.3. Perpinyà i Salses

Perpinyà i Salses són dues ciutats franceses situades a 11 minuts amb cotxe i 12'2Km de distància.

La distància calculada per a ells durant la mesura de les bases va ser de 6006,247848 toisas (11706,17706 m) per la de Perpinyà i de 6075,90338 toisas per la de Melun (11841,93568762 m).

#### 9.4.3.1. Perpinyà.

L'extrem sud de la bases està a Vernet, un barri de les afores de Perpinyà, a prop de l'església de Sant Bartolomé.

Sobre la base posada a Perpinyà trobem:

*“Aquesta base s'estén per la carretera principal de Perpinyà a Narbona entre Vernet i Salses. Vaig preferir aquesta ubicació a la de la platja del mar on vam mesurar una base el 1701 i una altra el 1739 perquè aquesta platja està plena de desigualtats perquè el terreny és molt mòbil i canviant pel transport de sorra.”<sup>58</sup>*



59



60

<sup>58</sup>Cita traduïda: Delambre J.B., Méchain P (1806). *Base du système métrique décimal* París.

<sup>59</sup>Monument en honor a la base de la mesura del metre a l'extrem sud de la base a Perpinyà.

<sup>60</sup>Mural en honor de Delambre i Méchain, al costat de l'extrem sud de la base.

#### 9.4.3.2. Salses

L'extrem nord de la base està situat a l'entrada de Salses a l'esquerra de la carretera al costat d'un rec.

Sobre la base posada a Salses trobem:

*“Aquesta senyal va ser establida com la de Vernet, en el revés de la tanca occidental de la carretera i es van fer les mateixes reparacions”<sup>61</sup>*

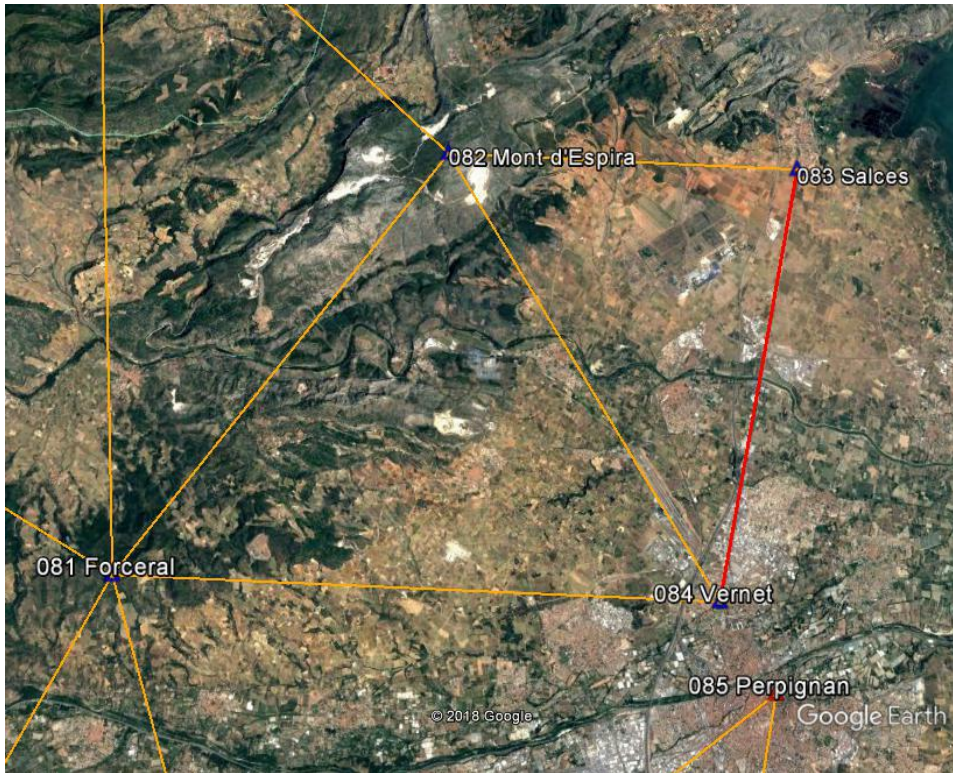


62

---

<sup>61</sup>Cita traduïda: Delambre J.B., Méchain P (1806). *Base du système métrique décimal* París.

<sup>62</sup>Monument en honor a la base de la mesura del metre a l'extrem nord de la base a Salses.



63

## **9.5. Mesures de latitud i azimuts**

Als senyals, a més de mesurar la distància entre els senyals dels triangles es mesurava la latitud<sup>64</sup> i l'azimut<sup>65</sup> de cada senyal, la teoria de les mesures ja ha estat explicada a l'apartat 8.3 així que aquí explicaré les mesures portades a la part pràctica.

La latitud era necessària per a determinar quants graus totals feia la secció d'arc de la Terra mesurat i l'azimut era necessari per a saber els graus respecte al meridià per a després poder-ho projectar correctament.

### **9.5.1. Latitud**

Càlcul de la latitud:

- 1) Es fixava una estrella per a observar (normalment es triava una que estigués situada a prop de l'eix de rotació de la Terra, per exemple l'estrella polar o una altre estrella de l'osa menor

<sup>63</sup>Base (en vermell) de Perpinyà a Salses i la seva connexió a la cadena de triangles.  
<http://www.prof-hansfroehlich.de/Neuigkeiten-News>

<sup>64</sup>Latitud: posició respecte amb l'estrella polar.

<sup>65</sup>Azimut: angle horitzontal mesurat respecte la línia nord-sud.

- 2) Es mesurava (utilitzant el cercle de Borda) l'angle que feia l'estrella triada amb el zenit quan l'estrella estava en el seu punt més alt, ja que això indicava que passava per sobre el meridià.
- 3) Es mesurava l'angle que feia l'estrella triada amb el zenit quan l'estrella estava en el seu punt més baix, ja que això indicava que tornava a passar per sobre el meridià.
- 4) Es feia la mitjana entre les dues mesures i l'angle resultant era la latitud.



Aquí podem veure un exemple d'una taula amb els càlculs de la latitud:

---

<sup>66</sup>Font: Wikipedia



*Résumé du passage supérieur.*

1796.	NOMB.	LATITUDE.	NOMB.	LATITUDE.	dm	+ $\frac{1}{10}$
17 janvier .	44	51° 2' 15" 64	44	51° 2' 15" 64	+ 0" 18	
19 . . . . .	46	18.01	90	16.98	+ 0.06	
20 . . . . .	24	16.23	114	16.82	+ 0.07	
22 . . . . .	20	14.31	134	16.44	+ 0.06	
24 . . . . .	20	12.01	154	15.89	+ 0.11	- 0" 72
		Par . .	154	51 2 15.89	+ 0.10	- 0" 72

Du 17 au 24 la parallaxe en déclinaison, s'il y en a une, n'a pas dû varier sensiblement, et a dû être fort petite. Soit  $P$  la parallaxe et  $\sin. P = \frac{\text{distance de la terre au soleil}}{\text{distance de la terre à l'étoile}}$ , la parallaxe en déclinaison a varié de  $- 0.28 P$  à  $- 0.40 P$ . Telle seroit la correction de latitude.

67

### 9.6.1. Azimut

Càlcul de l'azimut:

- 1) A unes taules que portaven tenien apuntat a cada lloc a quina hora passava el sol pel meridià (ja que quan passa pel meridià està passant per la línia nord-sud), l'hora es mirava amb un rellotge de pèndol que portaven sempre.
- 2) Quan el sol passava pel meridià (amb el cercle de Borda) mesuraven l'angle horitzontal entre el senyal i el sol.
- 3) L'angle mesurat era l'azimut.

Aquestes mesures eren repetides diverses vegades.<sup>68</sup>

A continuació podem veure una taula amb un resum de les mesures azimuthals:

<sup>67</sup>Taula amb mesures de latitud.

Font Delambre J.B., Méchain P (1806). *Base du système métrique décimal* París

<sup>68</sup>Fonts:

Delambre J.B., Méchain P (1806). *Base du système métrique décimal* París.

Escalona . M (2012) *Sistema métrico sistema internacional*, Sevilla.

Nombre des observ.	TEMPS VRAI.	ANGLE HORAIRE vrai.	DISTANCE observée.	AZIMUT.
	H. M. S. T.	SIG. D. M. S.	D. M. S.	D. M. S.
16	6 35 16 56.4	3 8 49 14.0	50 2 7.4	20 20 54.9
8	7 0 44 54.0	3 15 11 13.5	44 54 0.1	20 20 54.0
	Milieu . . . . .			20 20 54.45

Ces observations s'accordent fort bien ; cependant un vent incommode les rendoit un peu suspectes.

69

### 9.6.2. La projecció al meridià

Una vegada ja s'havien calculat tots els triangles i es disposava de totes les dades d'azimut van haver de projectar els costats dels triangles a la línia nord-sud, el meridià.

El mètode matemàtic per fer-ho està explicat a l'apartat 8.4, una mica de teoria , projeccions dels triangles al meridià.

Per exemple al triangle format per Dunkerke Watten –Cassel

N <sup>os</sup> .	ANGLES	ANGLES.	SINUS des angles.	SINUS des côtés opposés.	ARCS PARTIELS ET TOTAUX. Logarithmes de l'arc partiel.
1	<i>W Da</i>	25° 19' 42" 14	9.63124.637	3.75411.245	<i>Da</i> = 12785' 981 <i>log. Da</i> = 4.10673.405
	<i>D Wa</i>	74 28 45.28	9.98386.686	4.10673.294	
	<i>Da W</i>	80 11 33.27	9.99360.631	4.11647.240	
	Dunkerque.	0.69			
1	<i>C ab</i>	80 11 33.27	9.93360.631	4.07515.321	<i>ab</i> = 11875.247 <i>log. ab</i> = 4.07464.265 <i>Db</i> = 24661.228
	<i>a Cb</i>	70 48 35.35	9.99309.481	4.07464.170	
	<i>ab C</i>	19 59 51.85	9.53400.453	3.61555.143	
	Cassel.	0.47			

70

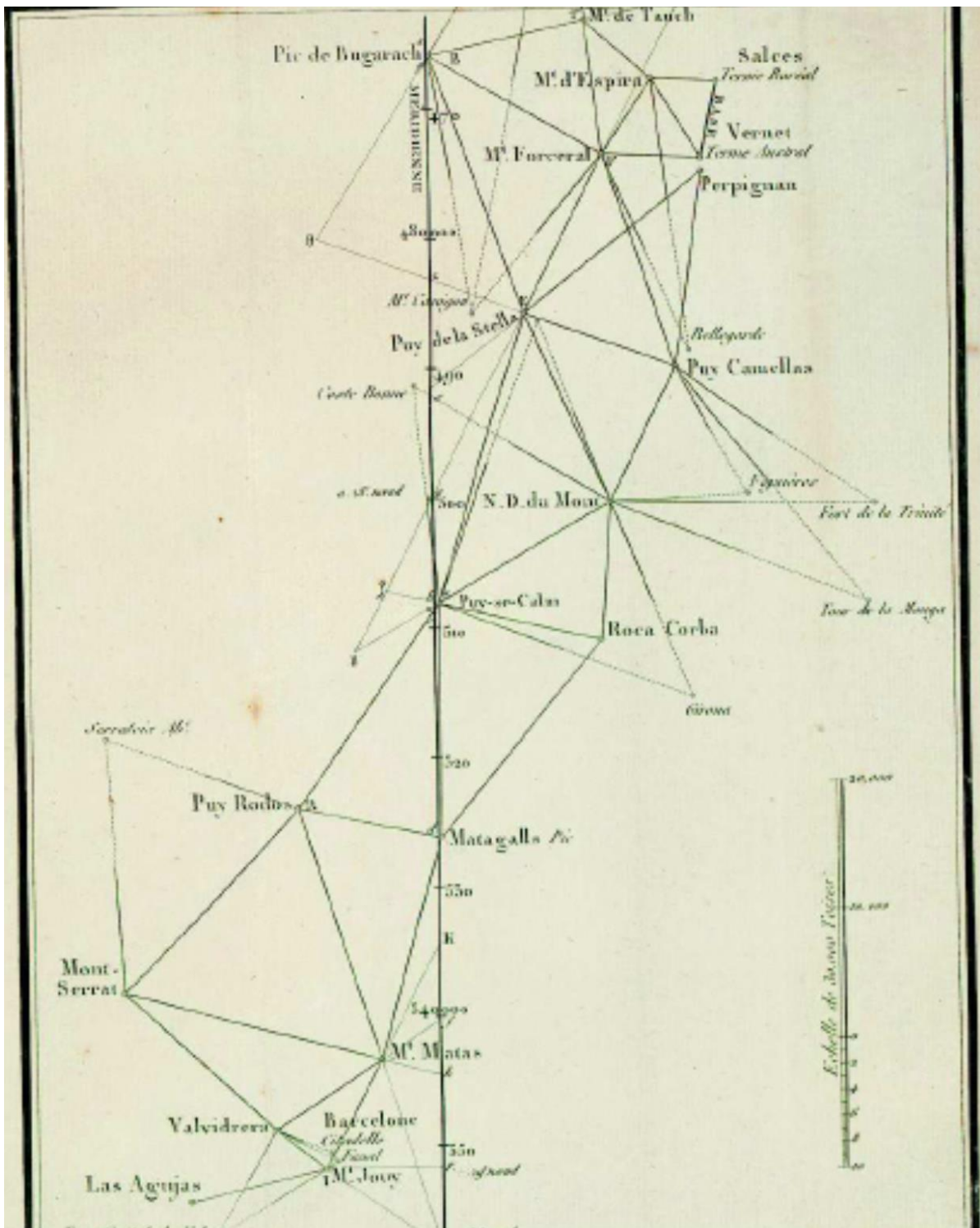
a, i b correspondria a les diferents projeccions al meridià d'aquest triangle.

<sup>69</sup>Resum de les mesures dels azimuts.

Font: Delambre J.B., Méchain P (1806). *Base du système métrique décimal* París.

<sup>70</sup>Delambre J.B., Méchain P (1806). *Base du système métrique décimal* París

I així ho van repetir fins completar tota la cadena de triangles.

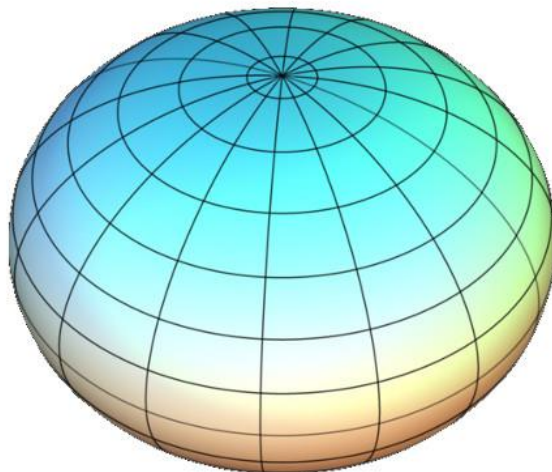


71

<sup>71</sup>Delambre J.B., Méchain P (1806). *Base du système métrique décimal* París

## 10. La forma de la Terra

La Terra no té forma d'esfera perfecta sinó que està lleugerament bombada per l'equador i aplanada per els pols, aquesta figura semblaria més un esferoide.



Durant molts segles s'havia suposat que la Terra tenia forma esfèrica, va ser a finals del segle XVII quan en diverses expedicions al llarg del planeta es va notar que el rellotge de pèndol anava més lent quan estava més a prop de l'equador. Aquest retard no era gaire gran però si prou significatiu.

La manera de comprovar-ho era senzilla, es construïa un pèndol amb període dos segons, és a dir en un dia, dues culminacions successives del Sol, el pèndol havia de batre 86400 vegades. Com el període del pèndol depenia de la longitud del fil es va estudiar la variació d'aquesta longitud.

En aquesta taula la longitud del fil està expressada en línies<sup>72</sup>

Autor	Lloc	Any	Latitud	Longitud
Richer	Paris	1673	48° 50'	440,60
Varin	Paris	1682	48° 50'	440,56
Picard	Paris	1671	48° 50'	440,50
Chazelles	El Cairo	1699	30° 2'	440,25
Des Hayes	S. Domingo	1700	19° 48'	439

<sup>72</sup>Antiga mesura francesa, una línia equival a 2,256 mm.



Des Hayes	S. Cristobal	1700	17° 19'	438,75
Des Hayes	Guadalupe	1682	15° 00'	438,50
Des Hayes	Martinica	1682	14° 44'	438,50
Feuillé	Martinica	1704	14° 44'	437,83
Des Hayes	Goreé	1682	14° 40'	438,56
Feuillé	Portobelo	1704	9° 33'	437,58
Richer	Cayenne	1672	4° 55'	439,35
Des Hayes	Cayenne	1700	4° 55'	438,50

73

Simultàniament a aquests descobriments, en 1687, Isaac Newton va publicar la seva obra *Philosophiae Naturalis Principa Mathematica* on descriu la llei de la gravitació universal. Newton i altres van deduir ràpidament que aquesta anomalia era deguda a la forma de la Terra i que l'explicació més plausible era que la Terra, degut al seu moviment de rotació, té una forma esfèrica lleugerament aplanada pels pols, una forma d'esferoide semblant a un el·lipsoide de revolució. Es a dir la distància al centre de la Terra és més gran a l'equador que als pols.<sup>74</sup>

Aquest aplanament també influïa en les mesures d'arcs de la Terra, en efecte, quan es van començar a fer mesures sobre un meridià que agafaven un grau de latitud, es va veure que aquestes no eren regulars, així doncs, es van enviar diverses expedicions per mesurar l'arc de meridià que comprèn un grau de latitud.

Al 1739, Picard i Cassini va mesurar amb exactitud el valor del grau entre Paris i Amiens amb un resultat de 57183 toisas<sup>75</sup>. Paral·lelament, una expedició a Lapònia comandada per Maupertius va mesurar el grau en 57437,9 toisas. Al 1743 La Condomine al Perú va mesurar el grau en 56750 toisas.<sup>76</sup> Això donava un aplanament de la Terra de 177/178 mesurat com la relació entre l'eix polar i l'eix equatorial, o 1/178 mesurat com a parts de la unitat.

<sup>73</sup>Font. Lafuente A., Mazuecos A. (1987) *Los caballeros del punto fijo* CSIC

<sup>74</sup>El moviment del rellotge de pèndol depèn de la gravetat. Si un punt està més allunyat del centre de la Terra que un altre la força gravitatòria serà diferent.

<sup>75</sup>Antiga mesura francesa, una toisa equival a 1,949 metres.

<sup>76</sup>Maupertius P, (1739) *La Figure de la Terre* Paris 1739.

Ten. A.E. (1996) *Medir el metro*. València

Totes aquestes mesures mostraven que l'arc d'un grau de meridià no mesurava el mateix a diferents punts de la Terra i que aquesta mesura semblava disminuir a prop de l'equador i augmentar a prop dels pols. En efecte un grau de meridià a prop de l'equador mesura 110,6 km i a prop dels pols 111,7 km.

Llavors, la forma el·lipsoïdal de la Terra ja era coneguda en l'època en que Méchain i Delambre van mesurar el metre, però no estava clar quin era el grau d'aplanament de l'esfera de la Terra. Les mesures publicades per Maupertius donava un aplanament de la Terra de 177/178 mesurat com la relació entre l'eix polar i l'eix equatorial, o 1/178 mesurat com a parts de la unitat.<sup>77</sup>

El valor de l'aplanament de la Terra no era, però, un problema resolt, Newton va deduir que era de 1/230. Això va fer que Delambre i Méchain haguessin d'estimar el grau d'aplanament a partir de les seves mesures i d'altres per poder deduir el valor del metre.

*“Veiem ara quina llei segueixen les variacions del grau.*

*L'arc entre Dunkerke i el Panteon és 124944,8 toises i la diferència de latitud és de 2° 11' 19,83", el grau promig mesurà doncs 57082,63 toises a la latitud promig de 49° 56' 29,30" que difereix molt poc del que es va trobar al 1740.*

*L'arc entre el Panteón i Evaux és 152293 toises per 2° 40' 6,83". El grau serà 57069,31 a una latitud promig de 47° 30' 45,91".*

*L'arc entre Evaux i Carcassonne és 168846,7 toises per un arc celest de 2° 57' 48,24". El grau serà de 56977,8 toises per una latitud mitjana de 44° 41' 48,37".*

*Finalment l'arc entre Carcassonne i Montjoux és de 105499 toises per un arc celest de 1° 51' 9,34". El grau serà de 56946,60 toises per una latitud mitjana de 42° 17' 19,6'.”<sup>78</sup>*

---

<sup>77</sup> Aquest grau d'aplanament es mesura calculant la diferencia dels radis, (radi equatorial-radi polar) i dividint després per el radi més gran (en aquest cas el radi equatorial).

<sup>78</sup> Delambre J.B., Méchain P (1806). *Base du système métrique décimal* París

	LATITUDES	INTERVAL.	INTERV. en toises.	DEGRÉS.	LATITUDE moyenne.	ARC d'une seconde.	Diminut. par 1 <sup>o</sup> .
Dunkerque..	51° 2' 9 <sup>o</sup> / <sub>20</sub>						
Panthéon.....	48 50 49.37	2 11 19.83	124944.8	57° 22' 63	49 56 29.30	15.856283	5.5
EvauX.....	46 10 42.54	2 40 6.83	152293.1	57° 09' 31	47 30 45.91	15.852586	32.4
Carcassonne..	43 12 54.30	2 57 48.24	168846.7	56° 57' 80	44 41 48.37	15.827167	12.9
Montjoui ....	41 21 44.90	1 51 9.34	105499.0	56° 46' 68	42 17 19.60	15.818508	

79

Veiem que el grau va disminuint a mesura que disminueix la latitud, això ens indica un aplanament, però no ho fa de forma uniforme.

Al seu llibre , Delambre i Méchain intenten trobar una explicació d'aquesta irregularitat, dedueixen que si augmentem en 3,24”<sup>80</sup> la latitud de Montjuic, la disminució seria més regular però al final ho atribueixen a irregularitats de la Terra.

Amb aquestes dades l'aplanament de la Terra seria de 1/150 segons Laplace o de 1/148 segons Legendre<sup>81</sup>, però el mateix Legendre fa notar que si augmentem la latitud de Montjuic en 3,24” l'aplanament seria de 1/320. Legendre, per no criticar les mesures fetes per Méchain ho atribueix a “atraccions locals que van desviar lleugerament el fil de la plomada”<sup>82</sup>.

La forma de la Terra era, doncs, determinant per calcular la longitud del quart de meridià. En el llibre *Méthodes analytiques pour la détermination d'un arc de méridien* (1799) escrit per el mateix Delambre i que serveix de base matemàtica per tots els càlculs, Delambre, després d'analitzar el problema i amb les matemàtiques de l'època arriba a una expressió per calcular el valor del quart de meridià de la Terra:

$$Q = \frac{(A - A') \cdot 90^\circ}{(L - L')} \cdot \left( 1 + \left( \frac{3}{4}e^2 + \frac{3}{8}e^4 \right) \cdot \frac{\sin(L - L') \cdot \cos(L + L')}{(L - L')} - \frac{15}{128}e^4 \frac{\sin 2(L - L') \cdot \cos 2(L + L')}{(L - L')} \right)$$

<sup>79</sup>Delambre J.B., Méchain P (1806). *Base du système métrique décimal* París

<sup>80</sup>Aquesta magnitud és l'error que Méchain creia haver comés en la mesura de la latitud de Barcelona.

<sup>81</sup>Laplace i Legendre eren dels millors matemàtics de l'època i membres de l'Acadèmia de ciències.

<sup>82</sup>Delambre J.B., Méchain P (1806). *Base du système métrique décimal* París

On Q és el quart de meridià, A-A' la longitud de l'arc mesurat (en toises), L,L' les latituds dels extrems de l'arc mesurat, i e l'excentricitat o aplanament de la Terra.

APLATISSEM.	MÈTRE.	DIFFÉRENCE.
1 : 150	443 <sup>1</sup> 22487	
1 : 200	443.26368	
1 : 250	443.28797	
1 : 300	443.30459	
1 : 310	443.30730	0.00271
1 : 320	443.30985	0.00255
1 : 330	443.31225	0.00240
sphère.	443.39271	

83

Finalment Méchain i Delambre van suposar un aplanament entre 1/300 i 1/320 que donava com a resultat del valor del metre de 443,3 línies.

Actualment sabem que el radi equatorial és de 6378,1366 km i el radi polar de 6356,7519 que dona un índex d'aplanament de  $1/298,25642$ <sup>84</sup>

<sup>83</sup>Delambre J.B., Méchain P (1806). *Base du système métrique décimal* París

<sup>84</sup>NASA

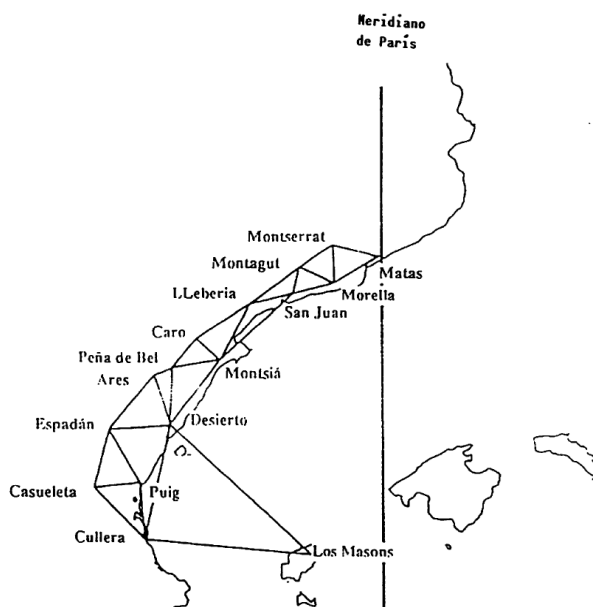
## 11. Continuació de les mesures fins a Formentera

### 11.1. Segon viatge de Méchain

Méchain se sentia terriblement culpable pel seu error comès a Montjuïc<sup>85</sup>, de manera que, quan va ser nomenat director de l'observatori va intentar utilitzar tota la seva influència per a procurar que es fes una segona expedició per a allargar la mesura del meridià fins a Formentera.

Finalment el 26 d'abril de 1803 surt de París camí a Barcelona per a dur a terme les operacions de triangulació per allargar el meridià mesurat. Van arribar a Barcelona el 5 de maig del 1803 però no van poder començar a mesurar fins al 24 d'agost del mateix any, ja que no tenien els permisos necessaris per poder moure's lliurement per terres catalanes.

A continuació podem veure el pla original de mesura de Méchain:



Durant els següents 6 mesos, Méchain mesura un total de cinc triangles a la costa i es disposava a anar a Eivissa, Formentera i Mallorca per a mesurar però, quan per fi va arribar el vaixell que l'havia de portar a Eivissa, la meitat dels tripulants van morir de febre groga impedit així el viatge a les illes. A causa d'una epidèmia de febre van tancar la ciutat de Barcelona deixant a Méchain a dintre sense possibilitat de sortir fins al gener de 1804 quan va aconseguir passatges per anar a Eivissa on va trigar quatre dies a aconseguir entrar a causa de

<sup>85</sup>Va detectar un error de 3,24'' en la mesura de la latitud de Montjuïc. Aquest error afectava la latitud d'un dels extrems de l'arc.

<sup>86</sup>Pla original de Méchain per a la mesura dels triangles.  
Font: Ten. A.E. (1996) *Medir el metro*. València

la por general que hi havia de l'epidèmia. Un cop a Eivissa va escollir una estació adequada per a les mesures, no troba cap estació des de la qual es vegi la costa catalana i es troba amb un dilema, ja que té dues opcions: tornar i seguir triangulant per València des d'on poder es veuria Eivissa o triangular d'illa en illa passant per Mallorca, com que no sap per quina opció decantar-se envia una carta a Delambre a París i mentre espera resposta va fins a Mallorca. Finalment, al cap de dos mesos, es decanta per la primera i l'abril de 1804 va posar rumb cap a València on no va poder començar a mesurar fins al juliol perquè no tenia els permisos necessaris. Finalment, va morir a València el 20 de setembre de 1804 després d'haver completat 2 triangulacions.<sup>87</sup>

## **11.2. Francesc d'Aragó**

Francesc d'Aragó va ser un català que va continuar el que Méchain va deixar a mitges a València amb la seva mort.

Va néixer el 26 de febrer de 1786 a Estagell, va anar a l'escola de primària d'Estagell, més endavant, quan la seva família es va traslladar a Perpinyà, va entrar com a alumne extern al col·legi comunal de la ciutat on es va centrar sobretot en estudis literaris però això va canviar quan, per casualitat, va conèixer a un oficial anomenat Cressac, aquest li va explicar que per ser oficial tant jove havia estudiat a l'Escola Politècnica. Des de llavors l'objectiu de Francesc va ser entrar a l'Escola Politècnica així que va deixar les classes a l'Escola Central (on només estudiava lletres) i va començar a assistir a un curs de matemàtiques però es va adonar que els coneixements apresos en aquell curs no serien suficients per a entrar a l'Escola Politècnica i es va començar a instruir a ell mateix llegint els llibres de Legendre, Lacroix i Garnier.

A l'edat de 16 anys va anar a Montpeller a examinar-se per a entrar a l'Escola però un dels monjos que havia d'avaluar-lo no va poder presentar-se de manera que van canviar el lloc d'examen a París i Francesc no hi va poder anar. A partir de llavors es va preparar per a entrar a l'exèrcit estudiant música, esgrima i dansa pel matí mentre que per la tarda se seguia preparant per a tornar a fer les proves d'accés. Més endavant es va tornar a presentar a la prova d'accés de l'Escola Politècnica i aquest cop va poder fer l'examen i va aconseguir entrar a finals del 1803.

---

<sup>87</sup>Fonts:

Alder, Ken (2002), *La medida de todas las cosas*, Madrid.  
Ten. A.E. (1996) *Medir el metro*. València

Quan per fi va arribar a la carrera militar se li va oferir un lloc com a secretari de l'observatori cosa que ell va acceptar amb la condició que pogués tornar a l'exèrcit si ho considerés necessari.

Poc després d'entrar a l'Observatori va col·laborar amb Biot<sup>88</sup> i junts van decidir continuar les mesures de València que Méchain havia deixat a mitges al morir. El 1806, un cop van tenir el permís de l'Acadèmia van començar.

Les mesures de València no van ser fàcils degut a dos factors: la mala posició de les senyals que dificultava molt la tasca i les tensions entre Espanya i la França napoleònica que feien que els miressin amb desaprovació i fossin mal acceptats dins de la comunitat. Mentre Francesc mesurava València, Biot mesurava Formentera i Eivissa.

Tot i els contratemps que van tenir van poder completar les mesures a València i es va dirigir cap a Mallorca.

La triangulació entre Formentera, Mallorca i Eivissa la van fer amb un sol triangle, cosa que va fer la feina molt més pràctica ja que només restaria anar a Mallorca per a poder realitzar les mesures de latitud i azimuts.

Aquestes mesures les va dur a terme Francesc d'Aragó sol ja que Biot ja havia tornat a París perquè tenia por d'haver agafat unes febres.

Francesc d'Aragó es va trobar amb molts problemes a Mallorca ja que es va situar en un lloc idoni per l'espionatge i en cert moment va haver de demanar que l'empresonessin al castell de Bellver perquè els habitants de les illes estaven disposats a matar-lo. Finalment el juliol de 1808 va fugir i va arribar a Alger (que creien que estava presa pels francesos) a l'agost d'aquell mateix any. Alger estava ocupada pels espanyols però van aconseguir arribar al consolat francès i l'agost de 1808 van aconseguir passaports falsos i van embarcar rumb a Marsella però el 16 d'agost de 1808 van ser capturats per un vaixell espanyol a prop de Roses. Quan van arribar-hi els van posar en quarantena en un molí de vent desmantellat al costat de la carretera de Figueres, un cop passada la quarantena, els van portar empresonats al castell de Roses i va restar presoner dels espanyols fins al cap de tres mesos quan, gràcies a un acord amb el rei d'Alger, va aconseguir el seu alliberament. S'està un temps a Alger per problemes de temps que li impedeixen navegar, però finalment, el juny de 1809, torna a Marsella.<sup>89</sup>

---

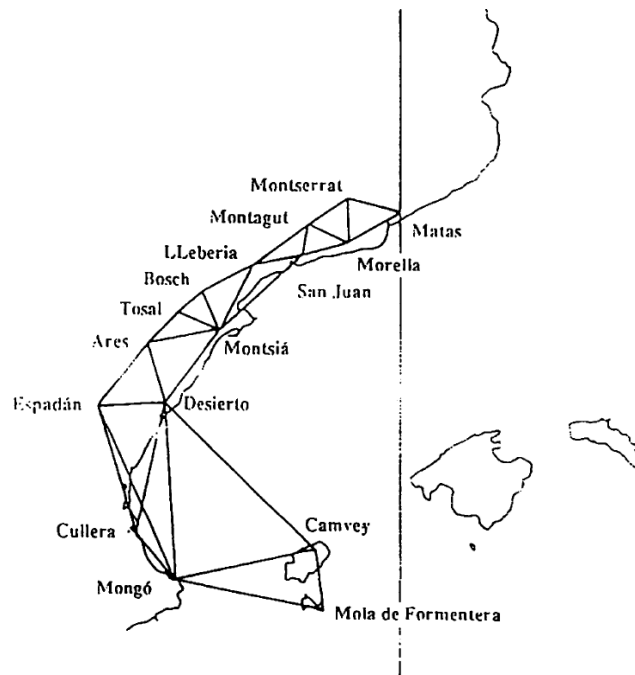
<sup>88</sup>Jean Baptiste Biot (1774-1862), físic, astrònom i matemàtic francès.

<sup>89</sup>Fonts:

Aragó, F (1854) *Histoire de ma jeunesse* Paris.  
Ten. A.E. (1996) *Medir el metro*. València

Quan torna a París finalment des de Marsella (sense cap contratemps) poden acabar de completar els càlculs amb les mesures fetes per ell i obtenen com a resultat que la mesura feta per Méchain i Delambre no era completament correcte però ho consideren una diferència insignificant i decideixen no canviar el metre tal i com s'explica en aquest fragment:

*“Quan les observacions es van presentar a l’oficina de longituds es va encarregar una comissió perquè les examinés i les calculés. El resultat d’aquesta feina, comparat amb les observacions del senyor Delambre a Dunkerke, va donar al metre un valor gairebé exactament igual a l’establert per la llei francesa, segons les primeres determinacions. La diferència estava per sota de la deumil·lèsima part d’una línia: només canviaria quatre dècimes de metre, unes 176 línies de la longitud de l’arc terrestre entre Dunkerke i Formentera. Un error tan petit és realment sorprenent; podria haver sigut quaranta o cinquanta vegades més gran, el que mai hauria resultat cap inconvenient significatiu en les operacions més delirants de les arts. Aquest acord demostra que el metre, deduït de la mida de la Terra, és ara ben conegut i que les altres operacions d’aquest tipus que es puguin dur a terme posteriorment, si és que es duen a terme, no suposaran canvis considerables.”*<sup>90</sup>



91

<sup>90</sup>Cita traduïda: *Mémoires de l'Institut National*, Al ser una espècie de diari no té autor propi ja que s'anaven afegint escrits segons es considerés necessari per a diferents persones.

<sup>91</sup>Triangulació feta per a Biot i Aragó.

Font: Ten. A.E. (1996) *Medir el metre*. València



## 12. La implantació de les noves mesures

Quan es va obtenir el valor del metre, el van haver d'implantar i no només per França, com ja he comentat anteriorment, volien que fos una mesura universal i per això la van basar en la Terra.

Portar la mesura per tot el món no va ser fàcil, ja que al ser francesa molts països (sobretot Anglaterra) es negaven a utilitzar-la.

A l'estudi preliminar de *Instruction sur les mesures déduites de la grandeur de la terre, uniformes pour toute la République, et sur les calculs relatifs a leur division décimale*<sup>92</sup> podem destacar un patriotisme que feia que molts països es neguessin a utilitzar-la, en aquest fragment del llibre podem llegir:

*“La determinació d'un pes i una mesura uniformes, inclús si tan sols es basa en l'elecció de les espècies de mesura i pes, amb les precaucions necessàries per garantir que seran invariables asseguraria una gratitud eterna als legisladors del país; però els medis dels quals desitjaven que es fes dependre aquesta mesura, alhora que multipliquen els avantatges, li donen aquell caràcter de grandesa i dignitat, en conformitat amb la situació de tots i cadascun dels països. S'està preparant una nova glòria i un nou triomf i la poderosa veu de la física i la geometria mesura la distància des de l'equador fins al pol i d'aquesta gran unitat surten totes les unitats de mesura actuals. França, per la seva posició, és l'únic país que reuneix les condicions necessàries per a obtenir la precisió més gran possible en la mesura immediata de l'arc a partir del qual deduïm el càlcul de la longitud d'un quart de meridià; com si la natura, en oferir en tot moment als diferents pobles el regal de la unitat de mesura invariable com ella, hagués reservat als francesos la glòria de ser els primers a rebre'l”*<sup>93</sup>

---

<sup>92</sup>Llibre amb les instruccions per a utilitzar la nova mesura correctament.

<sup>93</sup>Cita traduïda: Rene J. (1794) *Instruction sur les mesures déduites de la grandeur de la terre, uniformes pour toute la République, et sur les calculs relatifs a leur division décimale*, París.

NOMBRES des divisions du quart du MÉRIDIEN.	RAPPORTS avec le quart du MÉRIDIEN.	RAPPORTS avec le MÈTRE.	N O M S des M E S U R E S.
0 . . . . .	1 . . . . .	1 0 0 0 0 0 0 .	QUART DU MÉRIDIEN, ou <i>unité prise dans la nature.</i>
1 . . . . .	$\frac{1}{12}$ . . . . .	1 0 0 0 0 0 .	
2 . . . . .	$\frac{1}{100}$ . . . . .	1 0 0 0 0 .	GRADE, ou degré déci- mal du Méridien.
3 . . . . .	$\frac{1}{1000}$ . . . . .	1 0 0 0 .	
4 . . . . .	$\frac{1}{10000}$ . . . . .	1 0 0 .	MILLAIRE.
5 . . . . .	$\frac{1}{100000}$ . . . . .	1 0 0 .	MÈTRE, ou <i>unité des</i> <i>Mesures usuelles.</i>
6 . . . . .	$\frac{1}{1000000}$ . . . . .	1 0 .	
7 . . . . .	$\frac{1}{10000000}$ . . . . .	1 .	D É C I M È T R E .
8 . . . . .	$\frac{1}{100000000}$ . . . . .	$\frac{1}{10}$ .	C E N T I M È T R E .
9 . . . . .	$\frac{1}{1000000000}$ . . . . .	$\frac{1}{100}$ .	M I L L I M È T R E .
10 . . . . .	$\frac{1}{10000000000}$ . . . . .	$\frac{1}{1000}$ .	

94

## 12.1. Patrons de les noves mesures

En aquest apartat veurem com es van decidir i definir les noves mesures de massa (el quilogram).

### 12.1.1. El quilogram

Inicialment es van presentar dos mètodes per a trobar la nova unitat de pes: els dos tenien en comú que la idea general d'aquests era posar aigua en un objecte de volum conegut i el pes del ja determinat volum d'aigua seria la nova unitat de mesura. El que els diferenciava era l'objecte en el qual introduir l'aigua.

En un principi es va escollir el que tenia de cos un cilindre amb una alçada igual al diàmetre de la base, ja que per a l'experiència era més fàcil de mesurar amb més exactitud, aquest cilindre va ser dissenyat per a Fortin. La mesura va ser realitzada per a Lefèvre-Gineau i va mesurar el cilindre amb tota l'exactitud possible si tenim en compte l'època. El volum que va sortir d'aquell cilindre va ser igual a un decímetre cúbic i així es va determinar que un quilogram era el que pesava un decímetre cúbic d'aigua destil·lada a 13° de temperatura en una escala de 80 (escala Reamur).<sup>95</sup>

<sup>94</sup>Taula amb les mesures de longitud (el metre).

Font: Rene J. (1794) *Instruction sur les mesures déduites de la grandeur de la terre, uniformes pour toute la République, et sur les calculs relatifs a leur division décimale*, París.

<sup>95</sup>Font:

Delambre J.B., Méchain P (1806). *Base du système métrique décimal* París

## **12.2. Sistema mètric decimal**

Un cop tenien la mesura del meridià s'havia de decidir com fer els múltiples i divisors fins a crear el sistema mètric que coneixem avui en dia.

Hi havia diferents opcions, però les dues més contemplades eren:

- Utilitzar el sistema duodecimal (la divisió entre unitats seria de 12), aquesta opció estava molt ben vista en l'àmbit del poble, ja que seguia la mateixa progressió que les antigues mesures lineals.
- Utilitzar el sistema decimal (la divisió entre les unitats de mesura seria 10), el sistema decimal havia sigut un sistema utilitzat per antigues grans nacions, per la qual cosa tenia un passat històric important i era més global. A més, Delambre afirma al seu llibre que la inclinació cap al número deu ve donada perquè tenim deu dits a les mans i per tant el número deu és un número que veiem constantment i forma part de la naturalesa humana igual que el metre forma part de la naturalesa de la Terra.

No era una qüestió que es pogués prendre a la lleugera, d'aquesta decisió depenia el futur de les mesures així que es van comparar les dues escales veient els pros i contres i cadascuna:

- En la llista de pros de l'escala duodecimal deien que:
  - Permetia expressar la meitat, la tercera i la quarta part de la unitat en números rodons: per ex, el número 10 en aquesta escala equivaldria al 12 de manera que la meitat seria 6, la tercera part 4 i la quarta part 3 quedant tot en números rodons sense decimals.
  - Com que les unitats serien més fàcils de dividir seria molt més fàcil comparar les divisions, facilitant així la vida de la gent de poble que l'havia d'utilitzar (com comerciants per exemple).
- En la llista de contres de l'escala duodecimal diem que:
  - Per tal de poder adaptar-se perfectament a l'escala duodecimal pel dia a dia s'hauria de modificar l'aritmètica coneguda en aquells temps i ensenyar-la al poble.
- En la llista de pros de l'escala decimal deien que:
  - Tot i que és veritat que les divisions amb el sistema duodecimal serien senzilles i fàcils de comprendre i comparar, és cert que les fraccions resultants de les divisions amb el sistema decimal són molt més senzilles i visuals.
  - L'aritmètica ja coneguda s'adaptava perfectament a l'escala decimal.
- En contra de l'escala decimal s'argumentava que:

- A l'escala decimal sí que seria possible expressar la meitat de la unitat (posem per ex que la unitat és igual a 100) en números rodons (seria 50) i també la quarta part (25) però la tercera part seria impossible d'expressar en números sense decimals.

Finalment, es va decidir que el sistema utilitzat per a múltiples i submúltiples ja fos de distància, superfície, volum o massa seria el sistema decimal, ja que era el més fàcil i natural conegut, com bé ens mostra Delambre en aquest fragment del seu llibre:<sup>96</sup>

*“Finalment es va decidir que els múltiples i submúltiples de cada tipus de mesura, ja sigui de pes, capacitat, superfície o longitud sempre es prendria de progressió decimal, com el sistema numèric més simple, natural i fàcil de calcular que tota Europa ha estat utilitzant durant segles”*<sup>97</sup>

### **12.3. Mesures de superfície**

Es va definir com a nova mesura de superfície el metre quadrat, les mesures de superfície usualment s'utilitzaven per a les mesures agràries així que l'explicació d'aquestes està adaptada al món agrícola.

Per començar, es defineix una mesura agrària com a una àrea o espai que s'estén en llargada i amplada i diu que l'ús d'aquestes mesures es podria considerar el més important, ja que és el que ens porta a estimar el valor de les seves propietats (el que els hi donava menjar) i a definir els límits d'aquestes correctament. Continuen les instruccions considerant les noves ja conegudes mesures agràries formant una branca de les mesures de l'àrea d'un terreny de les quals la unitat habitual és el nou sistema, és a dir, el metre quadrat. A continuació, s'explica que realment el metre quadrat no era prou gran per a mesurar les extensions necessàries per als camps així que explica com ha trobat una mesura pels camps: ho explica com una sèrie de quadrats cadascun dels quals tindria un costat de 10 metres, 100 metres o 1000 metres i així successivament, entre aquesta successió, el que sembla que encaixa millor és el quadrat de costat de 100 metres, que agafa 10.000 metres quadrats al qual anomenen àrea.

De l'àrea surt la deciàrea (1000 metres quadrats) i la centiàrea (100 metres quadrats).<sup>98</sup>

---

<sup>96</sup>Font: Rene J. (1794) *Instruction sur les mesures déduites de la grandeur de la terre, uniformes pour toute la République, et sur les calculs relatifs a leur division décimale*, París.

<sup>97</sup>Cita traduïda: Delambre J.B., Méchain P (1806). *Base du système métrique décimal* París

<sup>98</sup>Font: Rene J. (1794) *Instruction sur les mesures déduites de la grandeur de la terre, uniformes pour toute la République, et sur les calculs relatifs a leur division décimale*, París.

#### **12.4. Mesures de capacitat**

Com que s'havia escollit el metre quadrat per a les mesures de superfície, semblava necessari escollir el metre cúbic per a les mesures de “solidesa”<sup>99</sup>.

Les instruccions indiquen que igual que les mesures agràries (l'àrea) depenen del metre quadrat, les mesures de capacitat son derivades de les mesures de solidesa però que hi ha una diferència que només és apropiada per a algunes substàncies, aquesta diferència és que, per a algunes substàncies, les mesures de solidesa (el metre cúbic) serien apropiades per a l'ús diari perquè les quantitats que necessitem d'elles normalment no són molt elevades. Es continua anomenant algunes de les substàncies que poden utilitzar el metre cúbic (per exemple els líquids i els grans obtinguts de les collites).

Per a més facilitat, es va decidir que les unitats per a mesurar líquids i grans fos la mateixa.

Com que el metre cúbic era massa gran per a dur a terme les mesures quotidianes es va escollir per a la unitat quotidiana la mil·lèsima part d'un metre cúbic. Aquesta unitat s'explica de la següent manera: si suposem que aquesta unitat es troba en forma de cub, el costat d'aquest cub serà el decímetre, en conseqüència la unitat s'anomenarà decímetre cúbic i servirà, òbviament, per a mesurar la capacitat de qualsevol forma encara que no sigui un cub. Així el decímetre cúbic passa a ser la mesura quotidiana per al volum.

Passen a anomenar el decímetre cúbic cadil i al metre cúbic cade i és la considerada per a grans subministres de líquids o grans. Entre el cade i el cadil podem trobar el decicade (100 cadils) i el centicade (10 cadils).<sup>100</sup>

---

<sup>99</sup>L'autor anomena així a les mesures de capacitat.

<sup>100</sup>Font:

Rene J. (1794) *Instruction sur les mesures déduites de la grandeur de la terre, uniformes pour toute la République, et sur les calculs relatifs a leur division décimale*, París.

RAPPORTS avec le Décimètre cubique, ou le Cadil.	VALEURS en parties du Mètre cubique.	NOMS des Mesures.
1000. . . . .	1. . . . .	C A D I L.
100. . . . .	$\frac{1}{10}$ . . . . .	D É C I C A D E.
10. . . . .	$\frac{1}{100}$ . . . . .	C E N T I C A D E.
1. . . . .	$\frac{1}{1000}$ . . . . .	C A D I L, ou unité usuelle des Mesures de capacité.

101

## 12.5. Mesures de pes

Si realment hi havia una mesura que necessitava ser unificada era la unitat de pes, degut a l'aleatorietat que sempre hi ha hagut en les mesures de pes i dient que això feia difícil recordar-les i les seves equivalències. Aquesta diversitat, va contribuir a escampar la confusió que hi havia respecte a les mesures que no tenien res en comú.

Les instruccions indiquen que igual que les mesures agràries es van fer dependre de les lineals i les de capacitat de les agràries, les unitats de pes dependran de les de capacitat així totes en el fons tindran un origen comú (el metre).

Per a facilitar-ho tot, es va prendre com a nova unitat de mesura el pes de l'aigua destil·lada a zero graus que hi havia en un decímetre cúbic d'aigua.<sup>102</sup>

Inicialment, la unitat de pes portava el nom de grave (el que ara seria un Kg era un grave) però al necessitar també unitats molt petites (comparades amb el grave) per mesures del dia a dia, com podrien ser els grans recollits per exemple, així que el grave va passar a anomenar-se quilograde i el que seria el gravet (el nostre gram actual) el grave. Amb el pas del temps la paraula grave es va anar adaptant per a arribar a el que avui coneixem com a gram.<sup>103</sup>

<sup>101</sup>Taula amb les mesures de capacitat (cadil).

Font: Rene J. (1794) *Instruction sur les mesures déduites de la grandeur de la terre, uniformes pour toute la République, et sur les calculs relatifs a leur division décimale*, París.

<sup>102</sup>Com es va determinar el kilogram ja ha estat explicat a l'apartat 12.1.1.

<sup>103</sup>Font: Rene J. (1794) *Instruction sur les mesures déduites de la grandeur de la terre, uniformes pour toute la République, et sur les calculs relatifs a leur division décimale*, París.

R A P P O R T S avec le décimètre cube d'eau distillée.	R A P P O R T S avec le Mètre cube d'eau distillée.	N O M S des Poids.
1000 . . . . .	1 . . . . .	BAR ou MILLIER.
100 . . . . .	$\frac{1}{10}$ . . . . .	DÉCIBAR.
10 . . . . .	$\frac{1}{100}$ . . . . .	CENTIBAR.
1 . . . . .	$\frac{1}{1000}$ . . . . .	GRAVE.
$\frac{1}{10}$ . . . . .	$\frac{1}{10000}$ . . . . .	DÉCIGRAVE.
$\frac{1}{100}$ . . . . .	$\frac{1}{100000}$ . . . . .	CENTIGRAVE.
$\frac{1}{1000}$ . . . . .	$\frac{1}{1000000}$ . . . . .	GRAVET.
$\frac{1}{10000}$ . . . . .	$\frac{1}{10000000}$ . . . . .	DÉCIGRAVET.
$\frac{1}{100000}$ . . . . .	$\frac{1}{100000000}$ . . . . .	CENTIGRAVET.
$\frac{1}{1000000}$ . . . . .	$\frac{1}{1000000000}$ . . . . .	MILLIGRAVET.

104

### 12.6. Mesures d'angles

Es va decidir adaptar també la divisió de la circumferència (els angles) al sistema mètric decimal. A més va ser una cosa necessària perquè la divisió d'un quart del meridià s'havia dividit seguint el sistema decimal.

Segons la graduació antiga, un quart de circumferència estava composta per 90 graus, un grau per 60 minuts i un minut 60 segons. Però si utilitzem el nou sistema, un quart de circumferència passarien a ser 100 graus, un grau passaria a ser 100 minuts i el minut 100 segons. De manera que podem deduir que un grau val 100.000 metres, un minut 1000 metres i un segon 10 metres.<sup>105</sup>

### 12.7. Nova duració del dia

Van esdevenir tan obsessionats que totes les mesures havien de provenir del metre i estar amb sistema decimal que van voler arribar a canviar les mesures del temps, és a dir, van dividir la meitat del dia en deu hores, pel que un dia duraria vint hores. Però no només això, també

<sup>104</sup>Taula amb les mesures de pes.

Font Rene J. (1794) *Instruction sur les mesures déduites de la grandeur de la terre, uniformes pour toute la République, et sur les calculs relatifs a leur division décimale*, París.

<sup>105</sup>Font:

Rene J. (1794) *Instruction sur les mesures déduites de la grandeur de la terre, uniformes pour toute la République, et sur les calculs relatifs a leur division décimale*, París

volien canviar la duració dels minuts i els segons: una hora passarien a ser cent minuts i un minut cent segons.

Per sort aquesta mesura no es va arribar a implantar perquè el govern no ho va permetre (ho va considerar massa extremista).<sup>106</sup>

---

<sup>106</sup>Font:

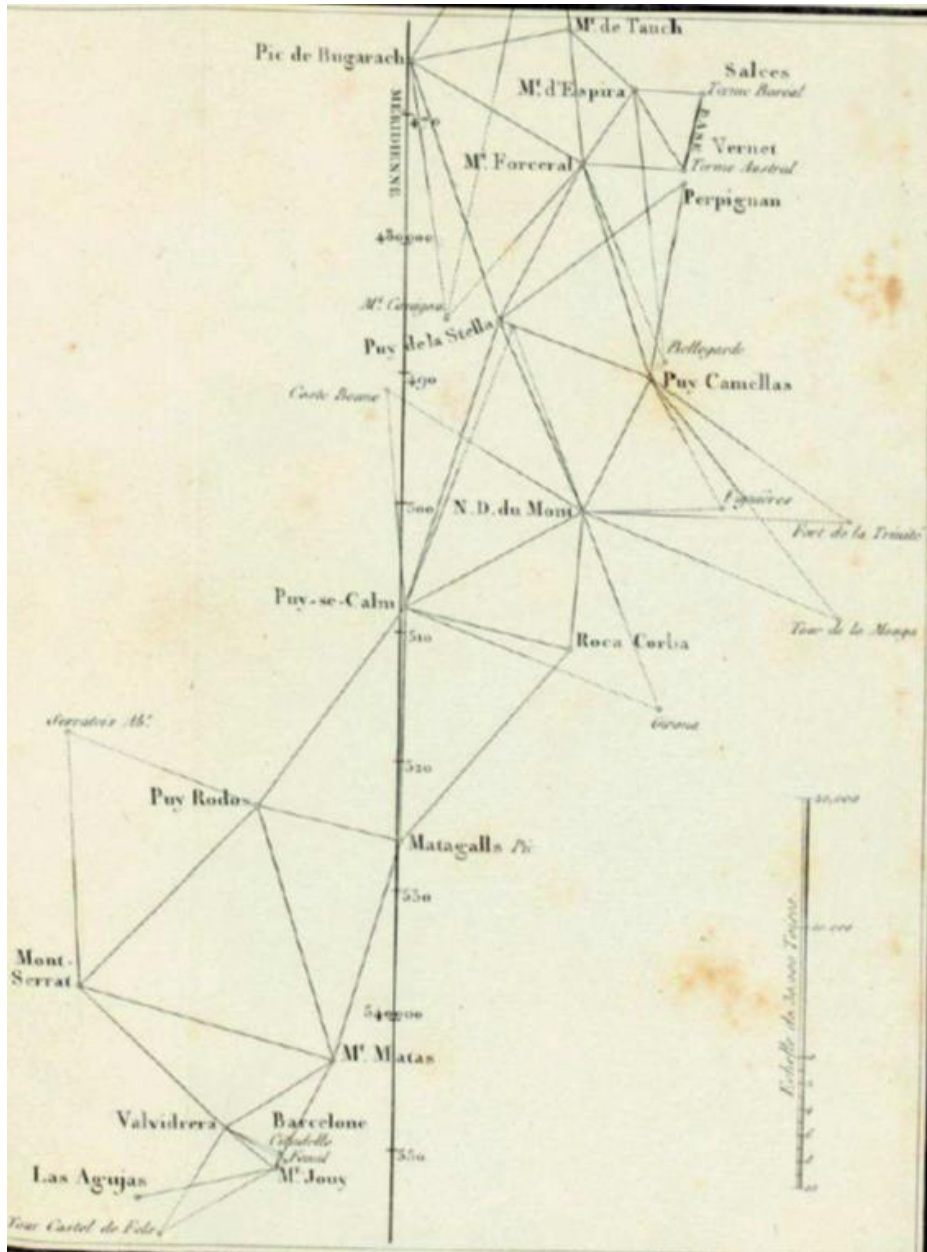
Rene J. (1794) *Instruction sur les mesures déduites de la grandeur de la terre, uniformes pour toute la République, et sur les calculs relatifs a leur division décimale*, París.



### 13. El metre a Catalunya

Catalunya va ser una part del terreny utilitzat per a mesurar el meridià, va ser la meitat de Méchain, i on aquest va cometre l'error del qual he parlat anteriorment.

A continuació posaré una petita descripció amb fotografies de les principals estacions de mesura de Catalunya, les quals he visitat totes.<sup>107</sup>

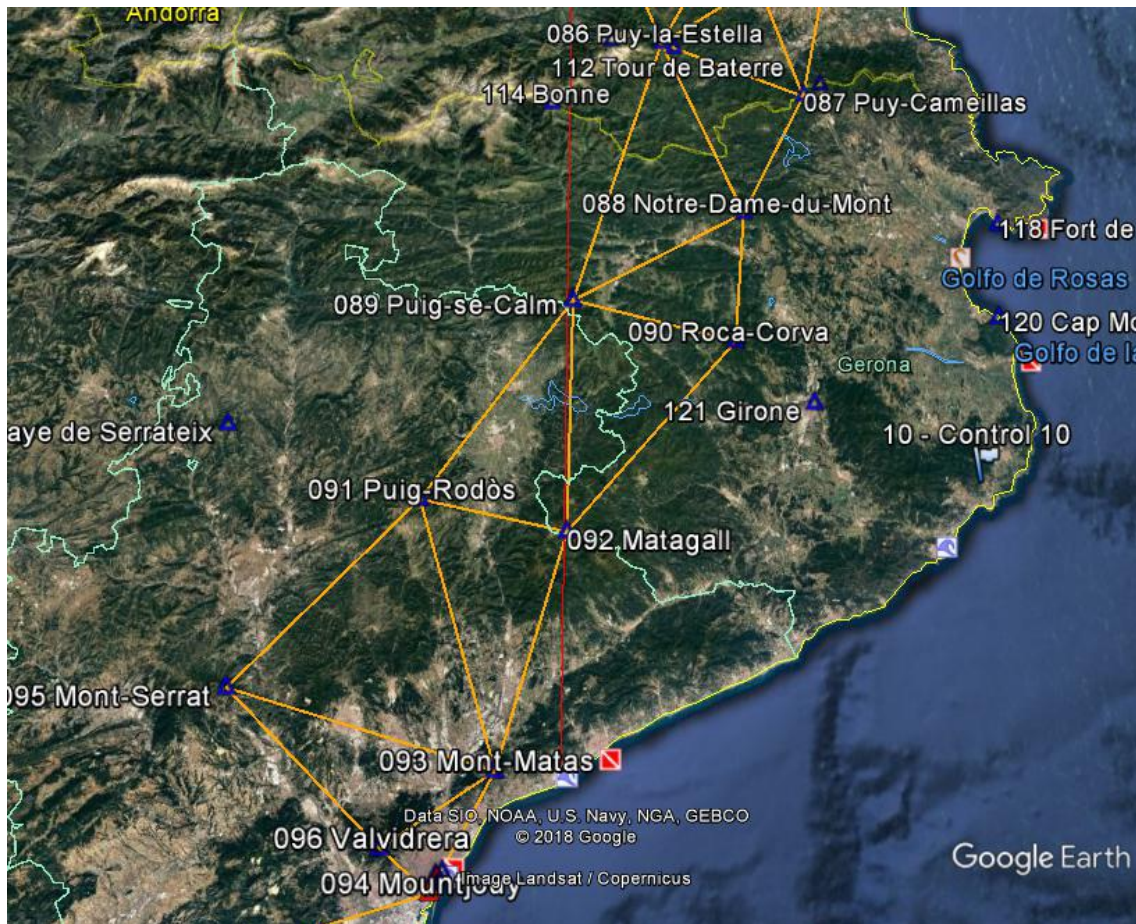


108

<sup>107</sup> Les explicacions de Méchain sobre aquestes senyals es troben a l'annexe A escanejades del llibre original *Base du système métrique décimal*.

<sup>108</sup> Totes les triangulacions fetes a Catalunya.

Font: Delambre J.B., Méchain P (1806). *Base du système métrique décimal* París



## **13.1. Les principals estacions a Catalunya**

### **13.1.1. Pic l'Estella**

Pic l'Estella es troba a França, situat a prop d'un poble anomenat Cortsavi, molt a prop del pic, hi ha les mines de ferro de Batère, les quals ja no estan operatives.

Aquesta estació no va ser mesurada per Méchain degut a la presència dels exèrcits francès i espanyol a la frontera, Pic l'Estella està en territori francès i Méchain havia d'anar acompanyat a totes les mesures que fes per un militar espanyol (per assegurar-se que no era un espia francès enviat amb l'excusa de fer les mesures) i no el volia posar en perill a entrar a territori francès, ja que en aquell moment s'estava duent a terme una guerra entre aquests dos països.<sup>109</sup>

<sup>109</sup>Aquesta guerra ja ha estat explicada al punt 6.2. La guerra amb Espanya.



Sobre l'elecció de Pic l'Estella enlloc del Canigó, tal i com estava originalment previst, Méchain escriu a les seves notes:

*“Vaig preferir l'Estella al Canigó perquè és més baixa i no és tan difícil assentar-se allà.”*<sup>111</sup>



Des de pic l'Estella es van mesurar Mare de déu del mont i Puig se Calm i totes dues són visibles des del cim del pic.<sup>114</sup>

Vaig pujar aquesta senyal per primer cop el 7 d'agost del 2018 i la vaig tornar a pujar el 22 d'agost del 2018 per a dur a terme les mesures.

---

<sup>110</sup>Foto de les vistes treta des del lloc on hi havia la base de les mesures.

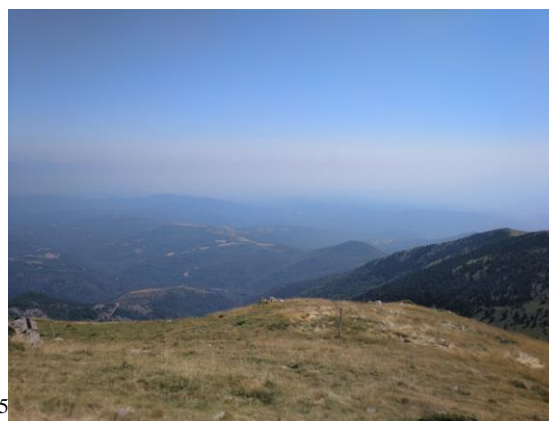
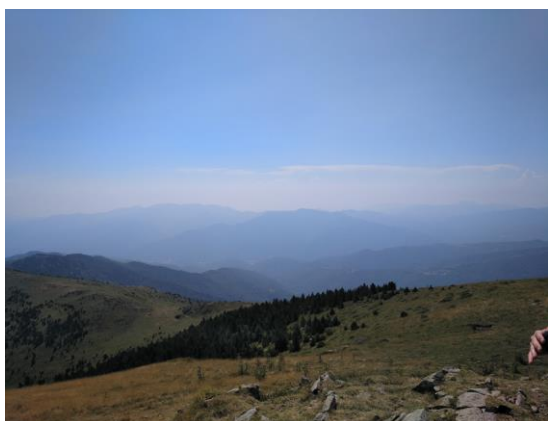
<sup>111</sup>Cita traduïda: Delambre J.B., Méchain P (1806). *Base du système métrique décimal* París

<sup>112</sup>Pic l'Estella.

<sup>113</sup>Lloc des d'on es van mesurar Mare de Déu del mont i Puigsecalm.

<sup>114</sup>Aquesta triangulació ha estat la triada per a les meves medicions i serà explicada a l'apartat 15.



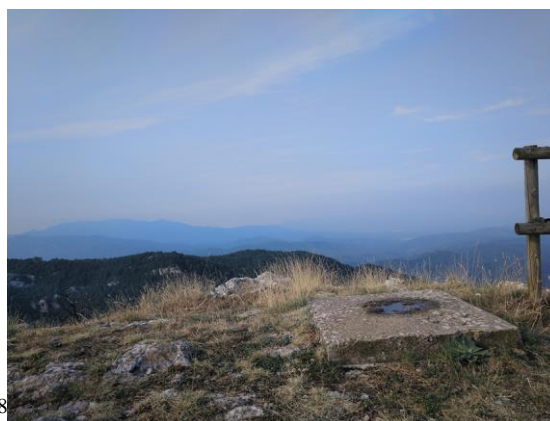


### 13.1.2. Mare de Déu del Mont

Mare de déu del mont va ser la primera estació mesurada a Catalunya, en principi es volia començar pels Pirineus però degut a les tensions prèvies a la guerra es va considerar més prudent endinsar-se més a Catalunya, com bé diu Méchain en aquest fragment:

*“Haviem previst al començar el viatge començar pel cim dels Pirineus però la nostre aparició en aquestes muntanyes i la dels oficials espanyols que ens acompanyaven haurien fet sonar l’alarma als pobles francesos veïns (encara no s’havia declarat la guerra), el capità general de Catalunya havia ordenat als oficials que es retiressin a l’interior de la província i que es comprometessin a aplaçar les meves operacions a les fronteres fins a un moment més pacífic.”<sup>117</sup>*

Segons Méchain la senyal per a la mesura es trobava al costat d’unes ruïnes , lògicament, aquestes ruïnes ja no hi són però encara queden les restes de la senyal:



<sup>115</sup>Mare de déu del Mont vista desde pic l’Estella.

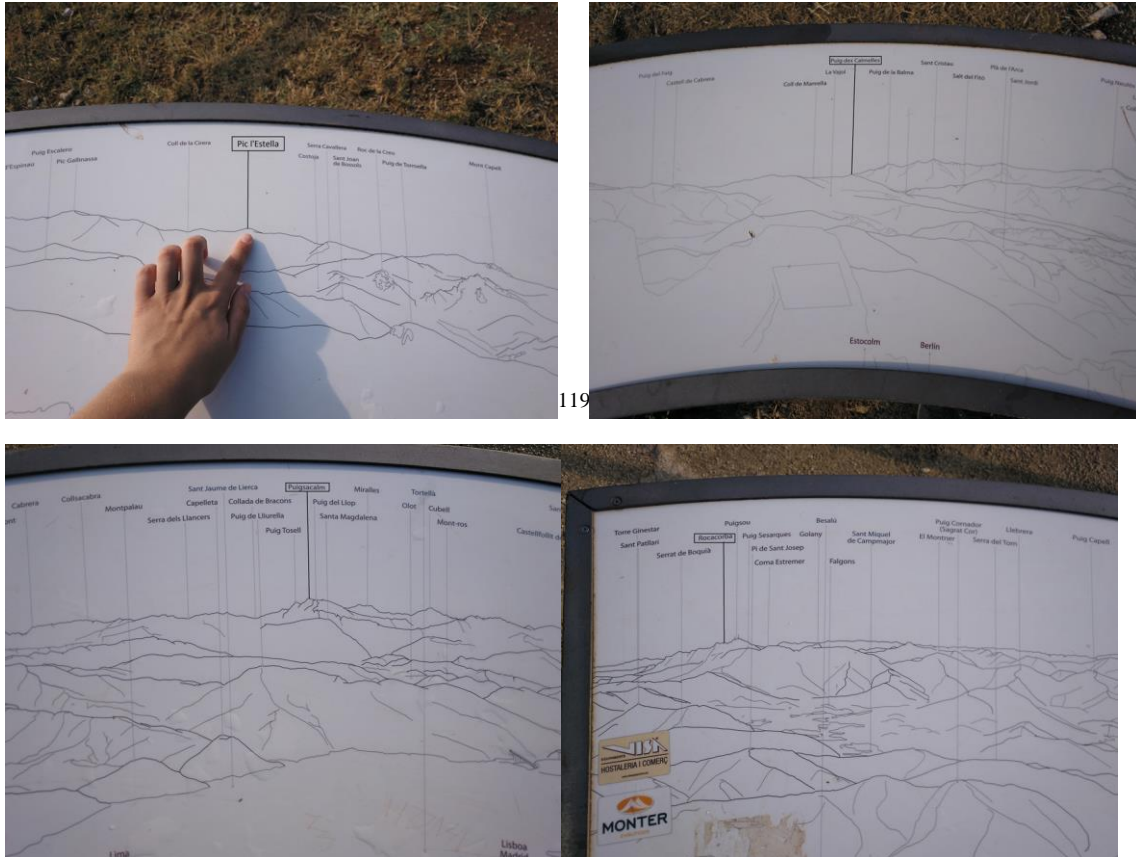
<sup>116</sup>Puig se Calm vist desde pic l’Estella.

<sup>117</sup>Cita traduïda: Delambre J.B., Méchain P (1806). *Base du système métrique décimal* París

<sup>118</sup>Senyal des d’on es van fer les mesures.

Des de Mare de déu del mont, es van mesurar: pic l'Estella, puig Camelles, Puigsacalm i Rocacorba i son visibles totes menys Rocacorba.

Vaig pujar aquesta senyal per primer cop el 6 d'agost del 2018 i la vaig tornar a pujar el 21 d'agost del 2018 per a dur a terme les mesures.



### 13.1.3. Rocacorba

Sobre la localització de Rocacorba, Méchain ens diu:

*“La muntanya de Rocacorba, que pren el seu nom de la forma d’una gran roca prominent al seu cim, està situada entre els rius Fluvià i Ter, o entre les ciutats de Castellfollit i Girona.”*<sup>120</sup>

La senyal d’aquesta muntanya va ser col·locada a un quilòmetre aproximadament d’una ermita situada a l’extrem sud del cim, a un turó anomenat Puigdou.

Des de Rocacorba es van mesurar Mare de Déu del Mont, Puigsacalm i Matagalls però cap d’elles és visible des del punt de mesura degut a que el punt de mesura està situada una central per a una antena emissora:

<sup>119</sup>Localització de les muntanyes segons un mapa situat al cim de Mare de déu del mont.

<sup>120</sup>Cita traduïda: Delambre J.B., Méchain P (1806). *Base du système métrique décimal* París



Vaig pujar a aquesta senyal el 6 d'agost del 2018.

#### 13.1.4. Puigsacalm

Sobre la localització de Puigsacalm, Méchain ens escriu:

*“Vaig escollir Puigsacalm per una de les nostres estacions, basant-me en les anotacions que havia pres de les muntanyes de Serrateix, Costabona, Tossa i un mont prop de Camprodon . És el pic més alt de les muntanyes de Vidra; està a una llegua al nord d'un poble amb el mateix nom i al sud-est de Saint-Privat, a dos llegues i mitja de la ciutat d'Olot. A aquesta muntanya, a mitja llegua del cim es troba la granja de Platrasé ”<sup>121</sup>*



122



123

La senyal va ser col·locada el 1793 i es va utilitzar per a mesurar Pic de l'Estella, Mare de déu del mont, Rocacorba, Matagalls i Puig Rodó i totes són visibles.

<sup>121</sup>Cita traduïda: Delambre J.B., Méchain P (1806). *Base du système métrique décimal* París

<sup>122</sup>Senyal de les mesures.

<sup>123</sup>Placa col·locada a la senyal.



Vaig pujar a aquesta senyal per primer cop el 11 d'agost del 2018 i la vaig tornar a pujar el 23 d'agost del 2018.

### 13.1.5. Puig Camelles

Sobre la situació de la muntanya, Méchain escriu:

*“Camellas és un gran turó situat al coll de Portell, a unes 1800 toises al sud-est de Bellegarde, i 150 toises alt que les muralles d'aquest fort. Al costat nord hi descobrim una gran part del departament dels Pirineus Orientals i les Corbières; cap al sud, la vista s'estén per tota la vall de l'Empordà i fins les muntanyes del nord-est de Catalunya que jo havia escollit com a lloc per a les estacions.”*<sup>124</sup>



125



126



127

Des de Puig Camelles es va mesurar Puig l'Estella i Mare de Déu del Mont. Actualment cap de les dues és visible degut a una espessa capa de bosc que impedeix la visibilitat.

<sup>124</sup>Cita traduïda: Delambre J.B., Méchain P (1806). *Base du système métrique décimal* París

<sup>125</sup>Senyal original utilitzada per Méchain i el seu ajudant.

<sup>126</sup>Senyal posada per l'Institut Geogràfic Nacional.

<sup>127</sup>Placa col·locada a la senyal posada per l'Institut Geogràfic Nacional.



128

Vaig pujar aquesta senyal el 8 d'agost del 2018.

### 13.1.6. Puig Rodós

Sobre la situació de la muntanya, Méchain ens diu:

*“Puig Rodós és el punt més alt del cim d’una muntanya la part oriental de la qual s’estén entre el poble d’Estan i el poble de Moia, es troba al sud del poble anomenat en primer lloc, a una hora al nord del segon i a tres o quatre llegües al sud-est de la ciutat de Vic”*<sup>129</sup>



Des de Puig Rodós es van mesurar Matagalls, Montserrat, Puigsacalm, Mont Matas però cap d’elles es pot veure actualment degut a un excés de vegetació.

---

<sup>128</sup>Panoràmica de la manca de visibilitat.

<sup>129</sup>Cita traduïda Delambre J.B., Méchain P (1806). *Base du système métrique décimal* París

<sup>130</sup>Senyal col·locada per l’Institut Geogràfic Nacional.





131

Vaig pujar aquesta senyal el 9 d'agost del 2018.

### 13.1.7. Matagalls

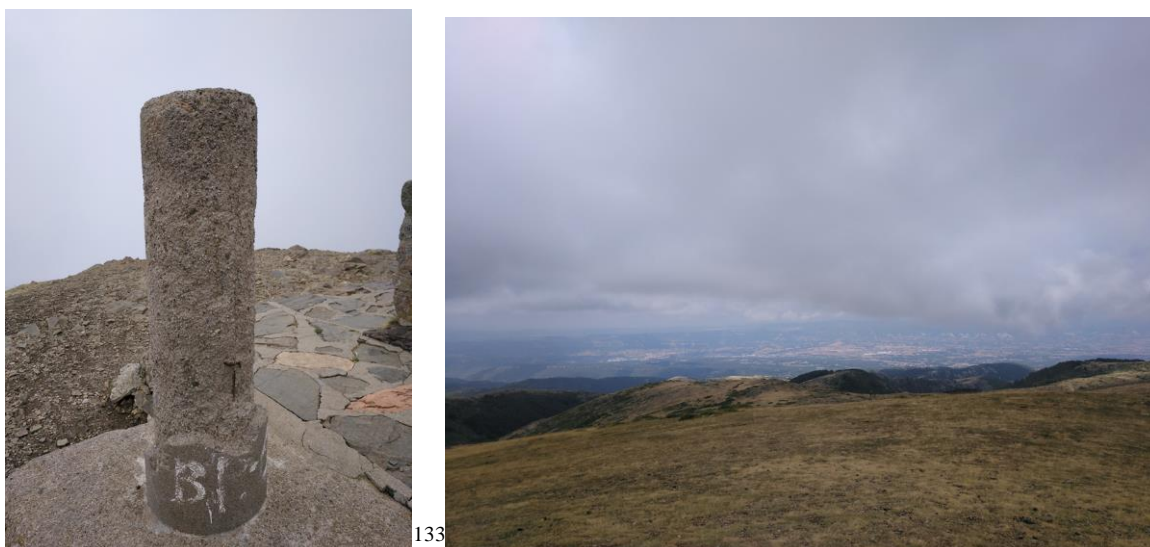
Sobre la situació de la muntanya i la senyal, Méchain diu:

*“Montseny és la muntanya més important del sud-est de Catalunya. El seu cim es divideix en dos cims molt notables, que es troben aproximadament al nord i al sud. La senyal es va col·locar al pic nord que s'anomena Matagalls: és una carpa cònica. L'ermita de Sant Sigmunt es troba a una hora i mitja d'aquest pic i en la mateixa part de la muntanya. El pic sud és una mica més alt que l'altre: el seu nom és Home Mort”*<sup>132</sup>

---

<sup>131</sup>Foto que mostra la manca de visibilitat.

<sup>132</sup>Cita traduïda: Base du système métrique décimal (1806), Jean-Baptiste-Joseph Delambre i Pierre-François-André Méchain



133

Des de Matagalls es van mesurar Mont Matas, Mare de Déu del Mont, Montserrat, Puigsacalm, Puig Rodó i Rocacorba. Tot hi la boira que hi havia eren tots visibles però amb una gran dificultat.<sup>134</sup>

### 13.1.8. Montserrat (Sant Jeroni)

Sobre la situació de la muntanya i de l'estació, Méchain escriu:

*“El cim d'aquesta muntanya està dividit en tota la seva extensió en un gran número de pics aïllats, molt alts i que tenen les parts més populars inaccessible. He escollit com a estació el més alt de tots, que es troba al centre del cim i es pot pujar pel costat de l'ermita a Sant Jeroni, que fins hi tot és a prop de la seva extremitat”*<sup>135</sup>



136137

<sup>133</sup> Senyal col·locada per l'Institut Geogràfic Nacional.

<sup>134</sup> Foto que mostra la quantitat de boira i la dificultat de visió.

<sup>135</sup> Cita traduïda: Delambre J.B., Méchain P (1806). *Base du système métrique décimal* París

<sup>136</sup> Senyal posada per l'Institut Geogràfic Nacional.

<sup>137</sup> Placa de la senyal de l'Institut Geogràfic Nacional.

Des de Montserrat van mesurar Puig Rodós, Puig de Galceran i Vallvidrera. Eren completament visibles.



138

Vaig pujar aquesta senyal el 13 d'agost del 2018.

### 13.1.9. Mont Matas (Puig de Galceran)

Sobre la situació de Mont Matas, Méchain escriu:

*“Mont Matas és el nom d'un turó situat a la part sud-est del cim Mont Alègre al nord-est de Barcelona i a unes tres llegües de distància. Hi ha una masia a mig camí de la costa que està a només un quart d'hora de camí”*<sup>139</sup>



140



141

Des de Mont Matas es van mesurar Matagalls, Puig Rodós, Montserrat, Vallvidrera i Montjuïc. Actualment només queden visibles Puig Rodós, Montserrat i Montjuïc. Vaig pujar a aquesta senyal el 9 d'agost del 2018.

---

<sup>138</sup>Panoràmica que mostra la bona visibilitat.

<sup>139</sup>Cita traduïda Delambre J.B., Méchain P (1806). *Base du système métrique décimal* París

<sup>140</sup>Senyal posada per l'Institut Geogràfic de Catalunya.

<sup>141</sup>Placa commemorativa de les mesures de Méchain.



### 13.1.10. Vallvidrera (Turó d'en Pascual)

Sobre la situació de la muntanya, Méchain escriu:

*“La muntanya de Vallvidrera està a només dos llegües de Montjuïc, limita absolutament la vista des del punt es fins al costat nord-est, vaig haver de prendre una estació allà perquè fos el cim comú dels dos últims triangles principals del meridià.”<sup>142</sup>*



143

Des de Vallvidrera es van mesurar Puigsacalm, Montjuïc i Montserrat però cap d'elles és visible degut a que la senyal està envoltada de bosc.



144

Vaig pujar aquesta senyal el 15 d'agost del 2018.

### 13.1.11. Barcelona

Dins de Barcelona es van realitzar mesures des de quatre llocs diferents que veurem a continuació.

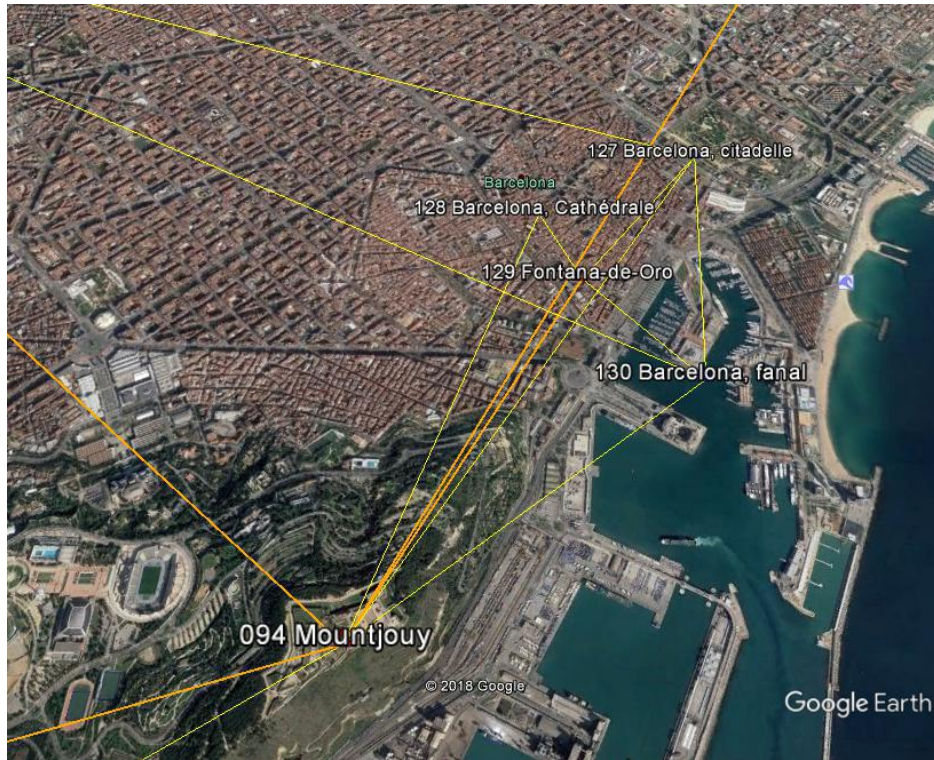
Totes les senyals que es mostraran ara les vaig visitar el 15 d'agost del 2018.

---

<sup>142</sup>Cita traduïda: Delambre J.B., Méchain P (1806). *Base du système métrique décimal* París

<sup>143</sup>Senyal col·locada per l'Institut Geogràfic Nacional.

<sup>144</sup>Panoràmica que mostra la quantitat de bosc al voltant de la senyal.



#### 13.1.11.1. Montjuïc

Sobre la situació del castell i la base, Méchain escriu:

*“Aquesta torre es troba al centre d’un dels laterals de la caserna del fort, cap a Barcelona.*

*Un màstil d’uns vint peus, elevat i tancat sobre la plataforma de la torre, amb pavellons aixecats per senyalar als vaixells, va servir com a punt focal per a totes les estacions corresponents a la torre. Podem veure la part d’aquest màstil que està a ras dels merlets la plataforma dels quals està superada i remata la torre.”<sup>145</sup>*

---

<sup>145</sup>Cita traduïda: Delambre J.B., Méchain P (1806). *Base du système métrique décimal* París



146

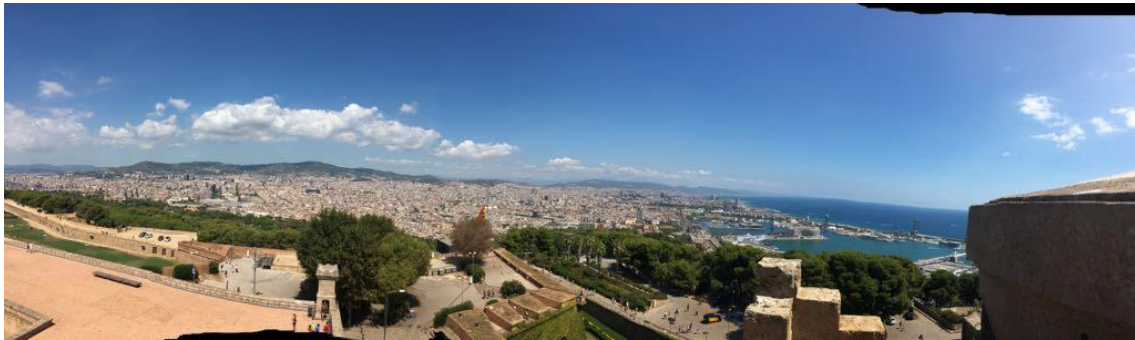


147



148

Des de la torre es van mesurar Vallvidrera, Fontana d'or, Catedral, Torre del rellotge i Puig Galceran. Totes visibles.



149

---

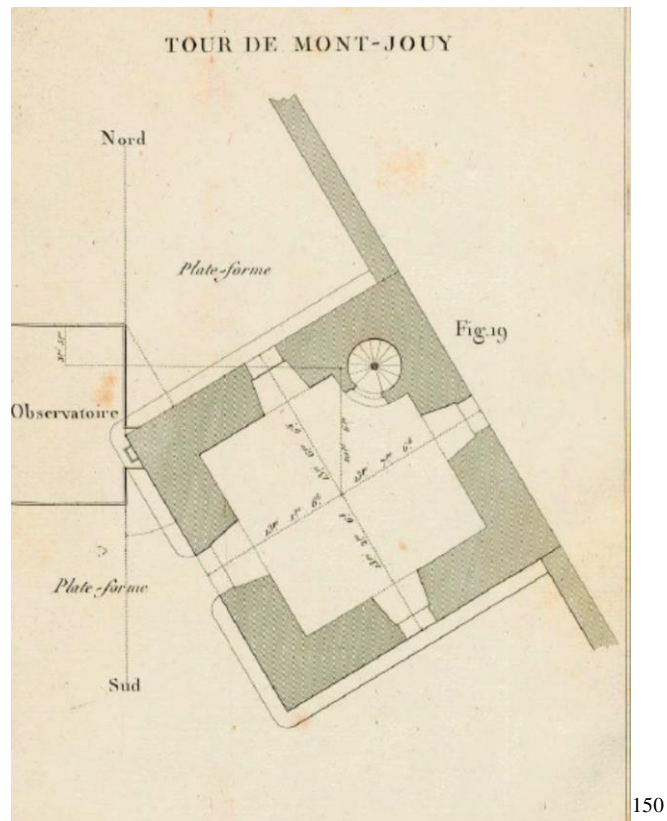
<sup>146</sup>Torre des d'on es van realitzar les mesures.

<sup>147</sup>Placa commemorativa per les mesures situada al peu de la torre.

<sup>148</sup>Monument commemoratiu per les mesures situat a l'entrada del castell.

<sup>149</sup>Panoràmica que mostra la bona visió.





150

### 13.1.11.2. Fontana d'or

La Fontana d'or va ser on Méchain va descobrir el seu error amb la latitud. Està situada a la cantonada entre el carrer Ample i el carrer d'Avinyó. Actualment la posada no segueix allà.



151

### 13.1.11.3. Catedral

Les mesures des de la catedral es van fer des d'una torre que actualment és inaccessible.

<sup>150</sup>Dibuix de la Torre de Montjuïc fet per Méchain.

Font: Delambre J.B., Méchain P (1806). *Base du système métrique décimal* París

<sup>151</sup>Cantonada on antigament hi havia la Fontana di oro.



<sup>152</sup>

#### 13.1.11.4. La Torre del rellotge

La Torre del rellotge està situada al port, el dia que la volia visitar estava tancada degut a que era dia festiu però vaig poder fer fotografies a la Torre en si.



---

<sup>152</sup>Torre des d'on es van realitzar les mesures.



## 14. Triangulació Puig estella – Mare de Déu del Mont – Puigsacalm

### 14.1 Justificació:

Després de visitar totes les estacions que Méchain va utilitzar per mesurar l'arc de meridià a Catalunya, vaig haver de triar tres per poder fer la triangulació i comparar els meus resultants amb els que van obtenir fa més de 200 anys Méchain i Delambre.

S'havien de donar varies condicions per triar els punts d'on realitzar les mesures:

- Que fossin punts accessibles amb el material. (Havia de pujar un Teodolit<sup>153</sup> per poder fer les mesures).
- Que hi hagués visibilitat des de la senyal.
- Que des d'una senyal es veiessin les altres dues.



La primera condició es complia totes les estacions, excepte a la de Rocacorba que té l'accés tallat i no es pot arribar al cim. A la resta es podia accedir a peu i a algunes en cotxe.

---

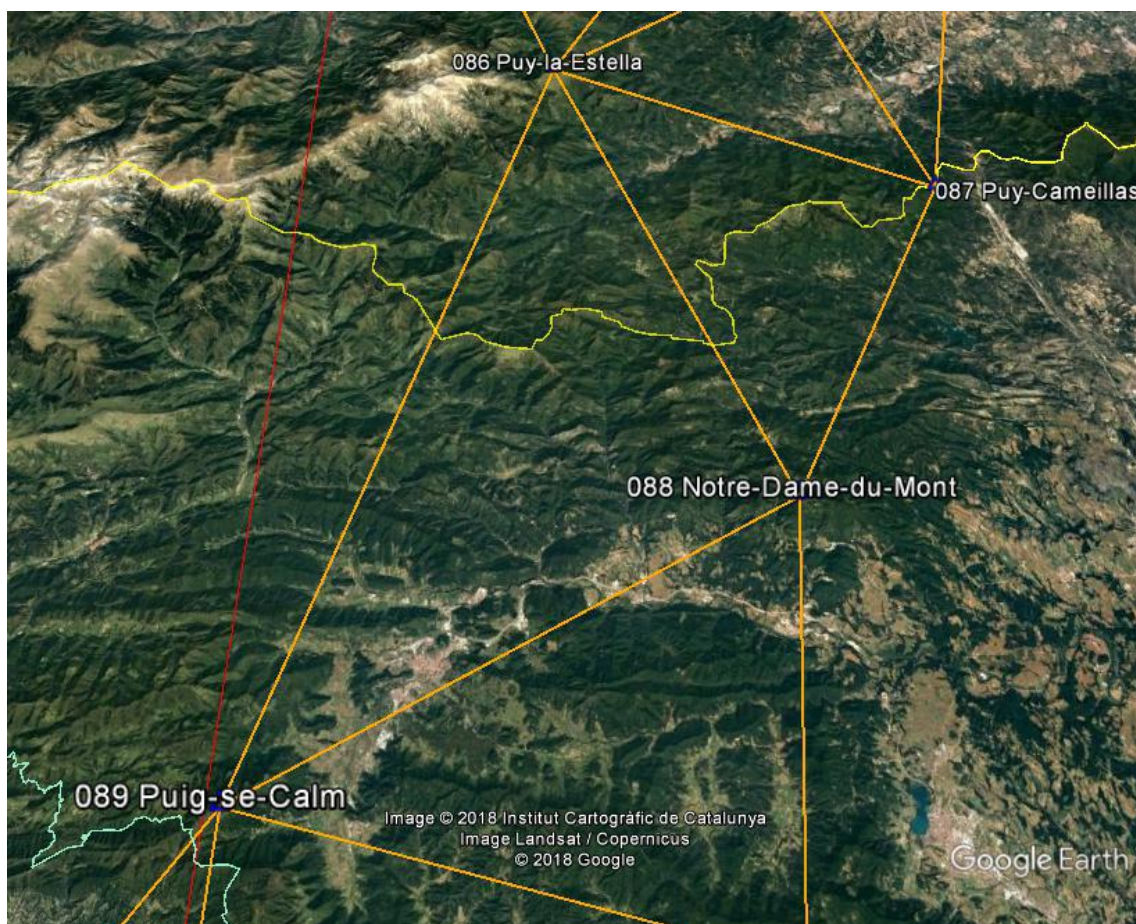
<sup>153</sup>Teodolit: Aparell per mesurar angles. Consta d'un trípede i un petit telescopi que porta una regla graduada.

La segona condició va donar més problemes, moltes de les estacions estaven voltades de vegetació i arbres que dificultaven o anul·laven completament la visibilitat. Aquestes estacions van haver de ser eliminades de la tria.

La tercera condició, allà on no hi havia obstacles, es donava en gairebé totes excepte a la Mare de Deu del Mon on una construcció dificultava la visibilitat amb Rocacorba.

Al final la tria va ser simple ja que només tres estacions complien les tres condicions.

Aquestes van ser Puig Estella, Mare de deu del Mont i Puigsacalm.



Puig l'estella (1778 m):

Està situat a la comarca del Vallespir, prop de la localitat de Corsavy i Arles-sur-Tech. S'arriba des de el refugi de Batere després de caminar 1h 30'. És una de les darreres muntanyes de les estivacions del Canigó abans d'arribar al mar.

Puigsacalm (1515 m)

Està situat a la Garrotxa, prop de Joanetes. S'arriba des del coll de Bracons després de caminar 1h 30'. És el punt més alt de la serralada transversal.

Mare de Déu del Mont (1124 m)

Situat a la Garrotxa, prop de Besalú i Beuda. S'arriba en cotxe per una carretera estreta que surt de la carretera de Besalú a Figueres.

#### **14.2 Mesures:**

Un cop estàvem a l'estació havíem de col·locar el teodolit en el mateix punt que Méchain va fer les mesures, per sort aquest punt era fàcil de localitzar ja que hi havia alguna senyal que l'identificava. El teodolit s'havia de posar a nivell mitjançant uns cargols que feien petits moviments sobre la seva base.

Amb el teodolit situat a l'estació s'havia de localitzar les senyals que volíem observar, aquesta operació es veia de vegades dificultada per la calitja però, utilitzant referències de muntanyes properes, les vam poder trobar.



Amb el teodolit a l'estació i la senyal a mesurar localitzada, apuntàvem amb el telescopi del teodolit cap a la primera senyal. (Per exemple des de la Mare de Déu del Mont al Puigsacalm)  
El fet de tenir un telescopi permetia apuntar exactament al centre de l'estació que volíem mesurar.

Un cop centrada l'estació que estem mesurant, apuntem el registre que dona el teodolit.

Aquest ens dóna dues dades, una per els angles horitzontals i una altre per els angles verticals.

155

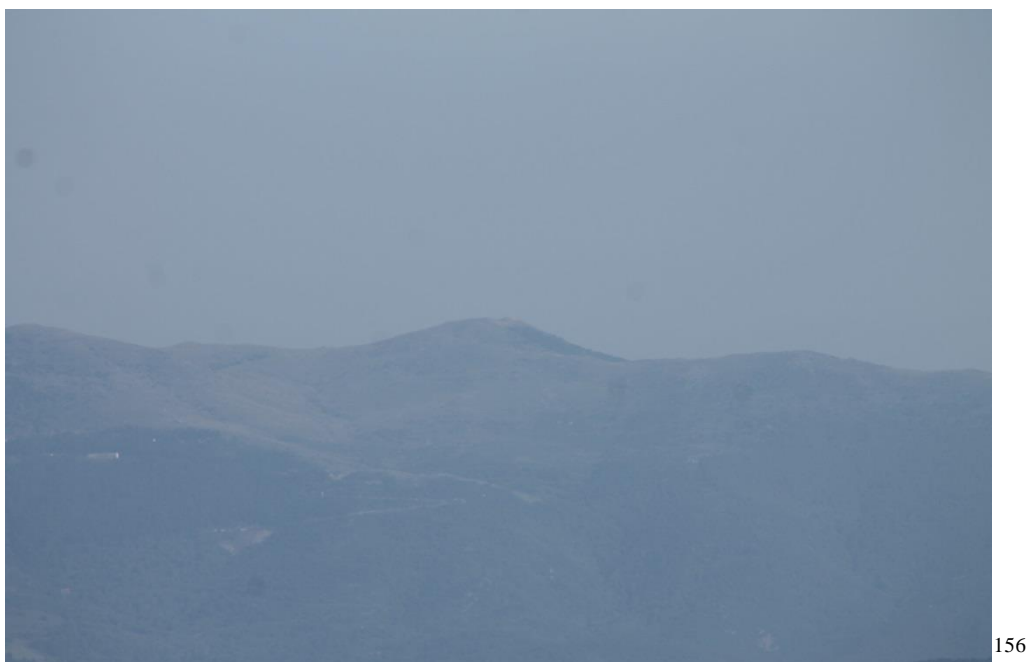
En aquest cas la mesura angular horitzontal és  $235^{\circ} 56,5'$  i la mesura angular vertical és de  $96^{\circ} 6,5'$ .

A continuació apuntem el teodolit cap a l'altre estació.

---

<sup>154</sup> Puigsacalm vist des de la Mare de Déu del Mont

<sup>155</sup> Visió de la lectura d'angles del teodolit.



156

Amb el telescopi centrem bé l'estació i fem una lectura del que marca ara el teodolit.

Per exemple: Horitzontal  $280^{\circ} 30'$  i Vertical  $95^{\circ} 45'$

Doncs l'angle horitzontal que faran les estacions Puig Estella i Puigsacalm vistes des de la Mare de Déu del Mont serà la resta dels dos angles horitzontals que he trobat amb el teodolit.  
 $280^{\circ} 30' - 235^{\circ} 56,5' = 44^{\circ} 33,5'$

Aquesta metodologia la vaig repetir deu vegades a cada estació, es a dir, vaig mesurar 10 vegades l'angle de Puig Estella i Puigsacalm des de Mare de Déu del Mont, 10 vegades l'angle de Puig Estella i Mare de Déu del Mont des de Puigsacalm i 10 vegades l'angle de Mare de Déu del Mont i Puigsacalm des de Puig Estella.

També vaig mesurar l'angle vertical amb que s'observava cada senyal .

## 14.2 Observacions:

El teodolit que vaig utilitzar donava les mesures en graus centesimals enlloc de graus sexagesimals.

---

<sup>156</sup>Puig Estella des de la Mare de deu del Mont

**Senyal de Mare de Deu del Mont (21/8/2018) :**

Punt	Vertical	Horitzontal	Resta
Puig Estella	301,215	171,375	106,112
Puigsacalm	300,707	65,263	
Puig Estella	301,227	171,370	106,108
Puigsacalm	300,702	65,262	
Puig Estella	301,222	171,369	106,110
Puigsacalm	300,702	65,259	
Puig Estella	301,215	171,361	106,102
Puigsacalm	300,702	65,259	
Puig Estella	301,217	171,361	106,099
Puigsacalm	300,703	65,262	
Puig Estella	301,220	171,370	106,110
Puigsacalm	300,702	65,260	
Puig Estella	301,215	171,369	106,120
Puigsacalm	300,708	65,259	
Puig Estella	301,218	171,365	106,106
Puigsacalm	300,708	65,259	
Puig Estella	301,218	171,365	106,105
Puigsacalm	300,709	65,260	
Puig Estella	301,220	171,367	106,155
Puigsacalm	300,709	65,212	



Mitjanes de les 10 observacions:

Punt	Vertical	Horitzontal	Resta
Puig Estella	301,2187	171,3672	106,1117
Puigsacalm	300,7052	65,2555	

Els angles verticals reals són  $400 - \text{angle}$ , on  $0^\circ$  és apuntant al zenit i  $100^\circ$  és apuntant horitzontalment.

Punt	Vertical	Horitzontal	Resta
Puig Estella	98,7813	171,3672	106,1117
Puigsacalm	99,2948	65,2555	



157

Senyal de Puig Estella (22/8/2018):

Punt	Vertical	Horitzontal	Resta
------	----------	-------------	-------

---

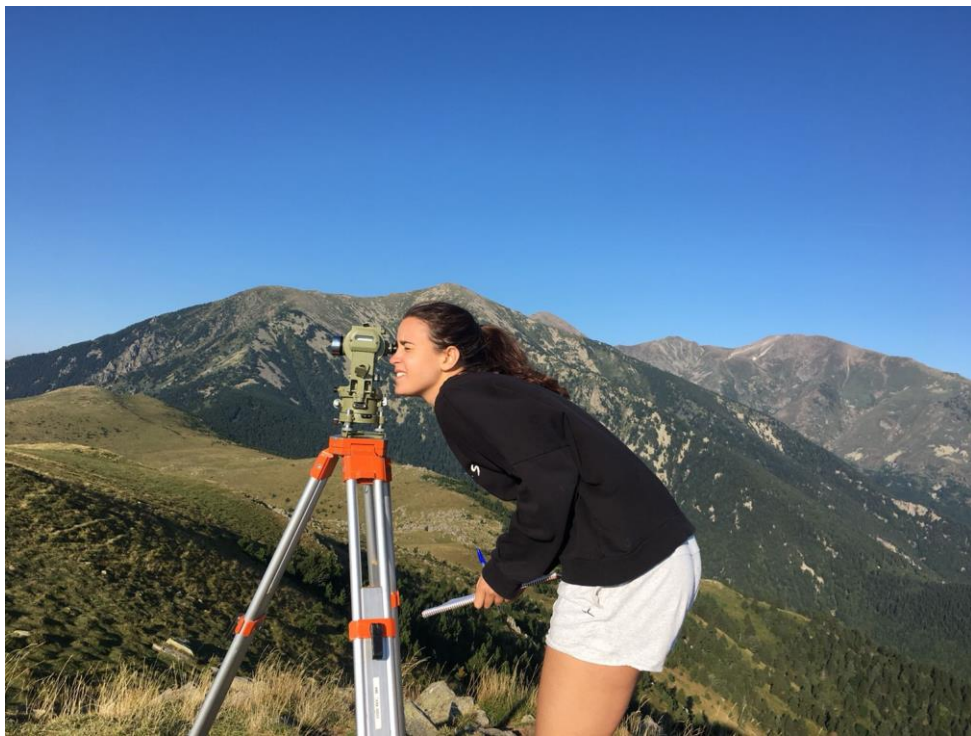
<sup>157</sup>Observació del Puigsacalm des de la Mare de Déu del Mont

Mare de Déu del Mont	101,53	102,608	46,272
Puigsacalm	100,791	148,880	
Mare de Déu del Mont	101,535	102,604	45,906
Puigsacalm	100,979	148,51	
Mare de Déu del Mont	101,539	102,631	45,859
Puigsacalm	100,990	148,49	
Mare de Déu del Mont	101,535	102,637	46,062
Puigsacalm	101,350	148,699	
Mare de Déu del Mont	101,541	102,630	45,707
Puigsacalm	101,145	148,337	
Mare de Déu del Mont	101,543	102,539	46,332
Puigsacalm	100,950	148,871	
Mare de Déu del Mont	101,521	102,630	46,108
Puigsacalm	100,720	148,738	
Mare de Déu del Mont	101,512	102,639	46,086
Puigsacalm	100,719	148,725	
Mare de Déu del Mont	101,998	102,634	45,796
Puigsacalm	100,751	148,430	
Mare de Déu del Mont	101,525	102,637	45,663
Puigsacalm	100,745	148,30	

Mitjanes de les 10 observacions:



Punt	Vertical	Horitzontal	Resta
Mare de Déu del Mont	101,5779	102,6189	45,9791
Puigsacalm	100,914	148,598	



158

Senyal de Puigsacalm (23/8/2018):

Punt	Vertical	Horitzontal	Resta
Mare de Déu del Mont	100,284	99,230	47,801
Puig Estella	99,170	51,429	
Mare de Déu del Mont	100,315	99,232	47,793
Puig Estella	99,189	51,439	
Mare de Déu del Mont	100,321	99,231	47,794
Puig Estella	99,192	51,437	

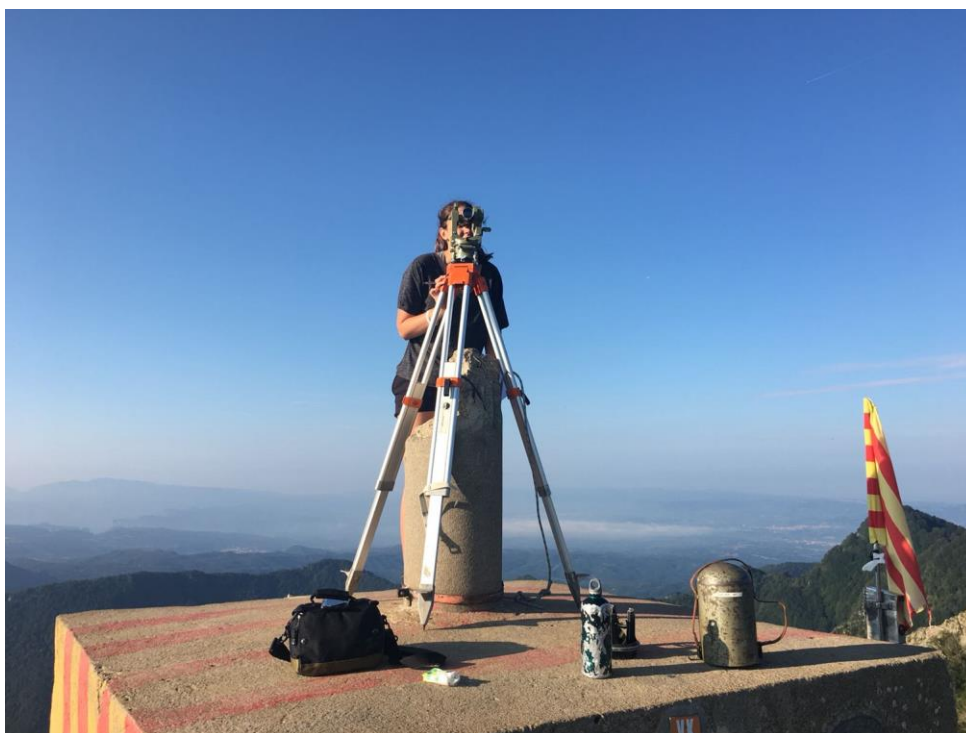
---

<sup>158</sup>Observació del Puigsacalm des del Puig Estella

Mare de Déu del Mont	100,325	99,230	47,780
Puig Estella	99,198	51,450	
Mare de Déu del Mont	100,332	99,242	47,795
Puig Estella	99,199	51,447	
Mare de Déu del Mont	100,330	99,244	47,802
Puig Estella	99,198	51,442	
Mare de Déu del Mont	100,339	99,240	47,791
Puig Estella	99,200	51,449	
Mare de Déu del Mont	100,338	99,249	47,807
Puig Estella	99,200	51,442	
Mare de Déu del Mont	100,335	99,243	47,800
Puig Estella	99,209	51,443	
Mare de Déu del Mont	100,338	99,245	47,797
Puig Estella	99,208	51,448	

**Mitjanes de les 10 observacions:**

Punt	Vertical	Horitzontal	Resta
Mare de Déu del Mont	100,3257	99,2386	47,796
Puig Estella	99,1963	51,4426	



159

## 14.2 Càlculs:

Passem primer els nostres angles centesimal a escala sexagesimal.

### Senyal de Mare de Déu del Mont

Punt	Vertical	Horitzontal	Resta
Puig Estella	$88,90317 = 88^{\circ} 54' 11,412''$	154,23048	$95,50053 = 95^{\circ} 30' 1,91''$
Puigsacalm	$89,36532 = 89^{\circ} 21' 55,152''$	58,72995	

### Senyal Puig Estella

Punt	Vertical	Horitzontal	Resta
Mare de Déu del Mont	$91,42011 = 91^{\circ} 25' 12,4''$	92,35701	$41,38119 = 41^{\circ} 22' 52,28''$
Puigsacalm	$90,8226 = 90^{\circ} 49' 21,36''$	133,7382	

---

<sup>159</sup>Observació de Mare de Déu el Mont des del Puigsacalm

## Senyal Puigsacalm

Punt	Vertical	Horitzontal	Resta
Mare de Déu del Mont	90,29313 = 90° 17' 35,27"	89,31474	43,0164 = 43° 0' 59,04"
Puig Estella	89,27667 = 89° 16' 36,01"	46,29834	

N <sup>o</sup> .	NOMS des stations.	Pages.	ANGLES observés.	EXCÈS sphérique.	ANGLES sphériques.	ANGLES des cordes.	ANGLES moyens.
------------------	-----------------------	--------	---------------------	---------------------	-----------------------	-----------------------	-------------------

108	{ Estella .....	435	41° 30' 28" 82	— 0" 53	41° 30' 27" 50	30' 26" 97	30' 26" 71
	{ N.D. du Mont.	453	95° 29' 6" 37	— 1" 31	95° 29' 5" 05	29' 3" 74	29' 4" 26
	{ Secalm .....	462	43° 0' 31" 14	— 0" 53	43° 0' 29" 82	0' 29" 29	0' 29" 03
Somme des erreurs . . .			180° 0' 6" 33	— 2" 37	180° 0' 2" 37	0' 0" 0	0' 0" 0
			+ 3" 96				

160

Si comparem amb els angles que va observar Méchain veiem molta diferència (7') en les mesures des del Puig Estella, això és degut a que la visibilitat no era molt bona.

Els altres dos angles hi ha diferències de menys d'un minut de grau, tenint en compte els aparells utilitzats i que no tenim cap senyal molt visible (cal recordar que Méchain utilitzaves tendes i estructures de fusta recobertes de tela blanca o fosca) són errors acceptables.

a) Primer hem de reduir els angles a l'horitzó:

Tal com van indicar a l'apartat de reduccions, 9.3.2

Sigui A l'angle observat, a l'angle reduït a l'horitzó, b i c els angles de les altres senyals respecte l'horitzontal.

<sup>160</sup>Delambre J.B., Méchain P (1806). *Base du système métrique décimal* París

Llavors  $\cos a = \cos b \cdot \cos c + \sin b \cdot \sin c \cdot \cos A$ , apliquem aquesta fórmula al nostre triangle:

#### Senyal de Mare de Déu del Mont

Punt	Vertical	Horitzontal	Resta
Puig Estella	88,90317 = 88° 54' 11,412''	154,23048	<b>95,50053 = 95° 30' 1,91''</b>
Puigsacalm	89,36532 = 89° 21' 55,152''	58,72995	

A= 95,50053, b=88,90317, c=89,36532

Apliquem la fórmula i obtenim que  $\cos a = -0.095619479$ ,

llavors  $a = 95,48698 = 95° 29' 13,11''$

#### Senyal Puig Estella

Punt	Vertical	Horitzontal	Resta
Mare de Déu del Mont	91,42011 = 91° 25' 12,4''	92,35701	<b>41,38119 = 41° 22' 52,28''</b>
Puigsacalm	90,8226 = 90° 49' 21,36''	133,7382	

A= 41,38119, b=91,42011, c=90,8226

$\cos a = 0,750376168$ , a= 41,37703 = 41° 22' 37,3''

#### Senyal Puigsacalm

Punt	Vertical	Horitzontal	Resta
Mare de Déu del Mont	90,29313 = 90° 17' 35,27''	89,31474	<b>43,0164 = 43° 0' 59,04''</b>
Puig Estella	89,27667 = 89° 16' 36,01''	46,29834	

A=43,0164, b=90,29313, c=89,27667

$\cos a = 0,731026042$ , a = 43,02752 = 43° 1' 39,07''



b) Una vegada tenim les senyals reduïdes a l'horitzó hem de resoldre el triangle:

Recordem de l'apartat de trigonometria esfèrica, que si tenim un triangle esfèric del qual conec un costat i els tres angles podem trobar els altres dos costats.

Aquest triangle Puigsacalm – Mare de Déu – Estella enllaça amb la cadena de triangles amb el triangle Estella – Mare de Déu – Puig Camelles del qual coneixem els tres costats: el costat Estella –Mare de Déu.



N <sup>o</sup> .	NOMS DES STATIONS.	ANGLES sphériques.	Excès sphérique.	LOGARITHME. Sinus des angles.	LOGARITHME. Sinus des côtes opposés.
107	Estella . . . . .	46 9 21.85	— 0.37	9.85807.33778	4.06354.10999
	Camellas . . . . .	83 36 45.92	— 0.61	9.99729.58067	4.20276.35283
	N. D. du Mont . . .	50 13 53.59	— 0.38	9.88572.06732	. . . . .
		180 0 1.36	— 1.36		

LOGARITHME des côtés opposés.	CÔTÉS OPPOS. Arcs en toises.	CÔTÉS OPPOS. Cordes en toises.	HAUT. sur la mer.	HAUT. du sol.	DISTANCE vraie des signaux.	CÔTÉS. Arcs en mètres.
-------------------------------	------------------------------	--------------------------------	-------------------	---------------	-----------------------------	------------------------

4.06354.20086	11575.5599	11575.5537	908.4	908	11585.465	22561.1898
4.20276.52541	15950.1678	15950.1519	375.8	376	15969.216	31087.4605
.....	.....	.....	575.6	576	.....	.....

N <sup>o</sup> .	NOMS DES STATIONS.	ANGLES sphériques.	Excès sphérique.	LOGARITHME. SINUS des angles.	LOGARITHME. SINUS des côtés opposés.
108	Estella . . . . .	41 30 27.50	— 0.53	9.82133.00086	4.19024.28865
	N. D. du Mont . . .	95 29 5.05	— 1.31	9.99800.71025	4.36691.99805
	Secalm. . . . .	43 0 29.82	— 0.53	9.83385.06509	.....
		180 0 2.37	— 2.37		

LOGARITHME des côtés opposés.	CÔTÉS OPPOS. Arcs en toises.	CÔTÉS OPPOS. Cordes en toises.	HAUT. sur la mer.	HAUT. du sol.	DISTANCE vraie des signaux.	CÔTÉS. Arcs en mètres.
4.19024.45151	15496.8888	15496.8742	908.4	908	15508.858	30204.0033
4.36692.36517	23276.8204	23276.7712	575.6	576	13287.515	45367.3745
.....	.....	.....	776.9	777	.....	.....

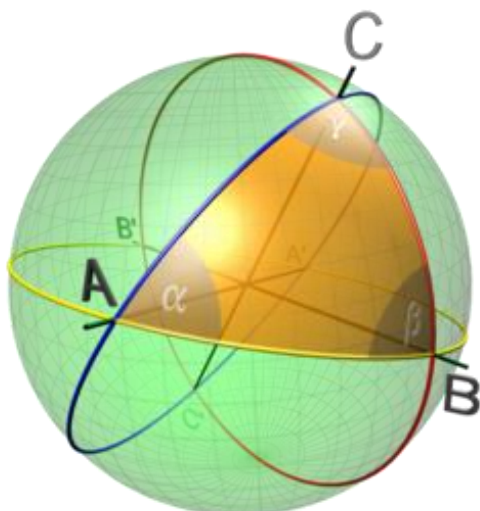
161

De la taula de triangles del llibre Bases du systeme mètrique decimal, veiem que el costat Estella – Mare de Déu del Mont mesura 15950,1678 toises (columna *côtés oppos. Arcs en toises*).

Així doncs tenim per la trigonometria esfèrica:

<sup>161</sup>Font: Delambre J.B., Méchain P (1806). *Base du système métrique decimal* París





On  $\frac{\sin CB}{\sin \alpha} = \frac{\sin AC}{\sin \beta} = \frac{\sin AB}{\sin \gamma}$ , i A: Puigsacalm, B: Mare de Déu del Mont i C: Puig Estella

Coneixem els tres angles  $\alpha, \beta, \gamma$  i la longitud de l'arc CB.

$\alpha = 43,02752, \beta = 95,48698, \gamma = 41,37703$  i arc CB = 15950,1678 toisas. (Dada extreta de la taula inserida més amunt)

Primer hem de passar la longitud de l'arc CB a l'angle CB en el centre de la Terra.

Per fer això sabem que longitud de l'arc = angle · radi, (l'angle en radians).

No sabem el radi, però si que sabem quan mesura l'arc d'un grau a una latitud mitjana: (57020 toisas)<sup>162</sup>

Així doncs:

$$1^\circ = \frac{\pi}{180} \text{ rad}, \quad \frac{\pi}{180} \rightarrow 57020$$

$$\text{angleCB} \rightarrow 15950,1678$$

$$\text{angleCB} = \frac{\pi \cdot 15950,1678}{57020 \cdot 180} = 4,882198252 \cdot 10^{-3} \text{ radi} \quad \sin CB = 4,882178857 \cdot 10^{-3}$$

$$\sin AC = \frac{\sin CB \cdot \sin \beta}{\sin \alpha} = \frac{4,882178857 \cdot 10^{-3} \cdot \sin(95,48698)}{\sin(43,02752)} = 7,1221684 \cdot 10^{-3}$$

<sup>162</sup>Van fer servir aquesta estimació de la mida d'un segon d'arc. Aquest numero prové de les diferents mesures que s'havien fet de l'arc a les expedicions de Perú, Lapònia i que s'havien mesurat a França. No deixa de ser curiós que per definir el metre, al final s'utilitzessin estimacions de mesures fetes dècades abans.



$$\sin AB = \frac{\sin CB \cdot \sin \gamma}{\sin \alpha} = \frac{4,882178857 \cdot 10^{-3} \cdot \sin(41,37703)}{\sin(43,02752)} = 4,72950311 \cdot 10^{-3}$$

Una vegada coneixem els sinus dels costats, els hem de passar a distàncies, com que els angles són molt petits, són gairebé iguals que el seu sinus. Posem el resultat en radians perquè ens anirà bé per calcular la longitud de l'arc.

$$\text{Angle AC} = \arcsin(7,1221684 \cdot 10^{-3}) = 7,122228614 \cdot 10^{-3} \text{ rad}$$

Prenem com a valor de l'arc d'un grau de latitud 57020 toises.

$$\text{Així doncs: } 1^\circ = \frac{\pi}{180} \text{ rad, } \frac{\pi}{180} \rightarrow 57020 \text{ toises}$$

$$7,122228614 \cdot 10^{-3} \text{ rad} \rightarrow \text{arcAC}$$

$\text{arcAC} = \frac{7,122228614 \cdot 10^{-3} \cdot 57020 \cdot 180}{\pi} = 23268,35897 \text{ toises}$  que correspon a la distància entre Puigsacalm i Puig Estella. El resultat que van obtenir Méchain i Delambre va ser de: 23276,8204 toises.

$$\text{Angle AB} = \arcsin(4,72950311 \cdot 10^{-3}) = 4,729520742 \cdot 10^{-3} \text{ rad}$$

Prenem com a valor de l'arc d'un grau de latitud 57020 toises.

$$\text{Així doncs: } 1^\circ = \frac{\pi}{180} \text{ rad, } \frac{\pi}{180} \rightarrow 57020 \text{ toises}$$

$$4,729520742 \cdot 10^{-3} \text{ rad} \rightarrow \text{arcAB}$$

$\text{arcAB} = \frac{4,72950311 \cdot 10^{-3} \cdot 57020 \cdot 180}{\pi} = 15451,36956 \text{ toises}$  que correspon a la distància entre Puigsacalm i Mare de Déu del Mont. El resultat que van obtenir Méchain i Delambre va ser de 15496,8888 toises.

Taula resum dels meus càlculs.

	Méchain-Delambre <sup>163</sup>	Laura Sánchez
Angle Puig Estella- Puigsacalm	95° 29' 5,05''	95° 29' 13,11''
Angle Mare de Déu del Mont – Puigsacalm	41° 30' 27,50''	41° 22' 37,3''

<sup>163</sup>Dades extretes de la taula insertada més amunt. Tot i que les mesures van ser fetes per Méchain, els càlculs van ser fets per a Delambre i per això el seu nom també figura a les taules.

Angle Puig Estella – Mare de Déu del Mont	43° 0' 29,82''	43° 1' 39,07''
Distància Puig Estella- Puig Sacalm	23276,8204 toises	23268,35897 toises
Distància Puig Sacalm – Mare de Déu del Mont	15496,8888 toises	15451,36956 toises

Les diferències no són significatives, de l'ordre del 0.03% en la distància entre Puig Estella i Puigsacalm i de l'ordre del 0.29 % en la distància entre Puigsacalm i la Mare de Déu del Mont.

## 15. Quant mesura un metre?

### 15.1. El metre segons Delambre i Méchain, el metre definitiu

Un cop es van tenir mesurat l'arc de meridià entre Dunkerque i Barcelona, van haver de calcular el metre sabent que és la deumilionèsima part de la quarta part del meridià de la Terra.

Per tant, es podria dir que la determinació del metre va tenir tres etapes:

- La primera seria la determinació de l'aplanament de la Terra.
- La segona quant mesurava un quart de meridià.
- La tercera i última seria determinar el metre.

A continuació veurem les tres etapes.

#### 15.1.1. L'aplanament de la Terra

Com ja hem vist a l'apartat 10, es va determinar que la Terra no era una esfera perfecta ja que que estava aplanada pels pols i bombada per l'equador. Aquest fet ja era conegut però el que no es tenia tant clar era el valor d'aquest aplanament.

Segons l'aplanament el metre podria tenir diferents valors.

L'aplanament de la Terra tenia diferents valors depenent dels punts on es mesurés:

- Entre Greenwich i Dunkerque l'aplanament era de 0,006046.
- Entre Dunkerque i Pantheon l'aplanament era de 0,007629.

- Entre Pantheon i Evaux l'aplanament era de 0,008301.
- Entre Evaux i Carcassone l'aplanament era de 0,017733.
- Entre Carcassone i Montjuïc l'aplanament era de 0,005991.
- Entre Barcelona i Formentera l'aplanament era de 0,004215.

A partir d'aquestes dades van calcular un aplanament mitjà de 0.00572 , és a dir, 1 / 174.75.

### 15.1.2. Quant mesura un quart de meridià

Delambre va establir que el valor del quart de meridià venia determinat per la següent fórmula:

$$Q = \frac{(A - A') \cdot 90^\circ}{(L - L')} \cdot \left( 1 + \left( \frac{3}{4}e^2 + \frac{3}{8}e^4 \right) \cdot \frac{\sin(L - L') \cdot \cos(L + L')}{(L - L')} - \frac{15}{128}e^4 \frac{\sin 2(L - L') \cdot \cos 2(L + L')}{(L - L')} \right)$$

Formula extreta del seu estudi sobre l'arc d'una el·lipse.

On Q és el quart de meridià, A-A' la longitud de l'arc mesurat (en toises), L,L' les latituds dels extrems de l'arc mesurat, i e l'excentricitat o aplanament de la Terra.

Veiem que el valor del quart del meridià i per tant el valor del metre depenen del valor que li donem a l'excentricitat o aplanament de la Terra. Així la tria del valor de l'aplanament va determinar el valor del metre.

Aquí podem veure les diferents opcions d'arc que tenien per a treballar:

- L'arc entre Greenwich i Dunkerque era de 25241,90 toisas.
- L'arc entre Dunkerque i Montjuïc era de 705188,77 toisas.
- L'arc entre Montjuïc i Formentera era de 153605,77 toisas.
- L'arc entre Dunkerque i Formentera era de 705188,77 toisas.
- L'arc entre Greenwich i Formentera era de 730430,67 toisas.

Finalment, a partir d'aquestes dades, es decideix que serà molt més fàcil si es calcula el metre a partir de la distància de l'arc entre Dunkerque i Montjuïc (Barcelona).

### 15.1.3. El metre

La primera opció de la Comissió va ser triar un metre de 443,3 línies a partir del valor aproximat de l'aplanament de la Terra però no es decidien sobre quin arc triar per a realitzar

les mesures, a continuació, veiem una taula que mostra els diferents valors del metre segons l'arc escollit:

APLATISSEMENT.	Mètre par Parc entier.	Mètre par le Panthéon et Barcelone.	Mètre par Duskerque, Barcelone et Montjouy.	Mètre par le Panthéon, Barcelone et Montjouy.
1 : 150	443.2663	443.2951	443.2456	443.2744
1 : 200	443.3051	443.2912	443.2844	443.2705
1 : 250	443.3094	443.2899	443.3087	443.2692
1 : 300	443.3460	443.2896	443.3253	443.2689
1 : 310	443.3487	443.2895	443.3280	443.2688
1 : 320	443.3512	443.2895	443.3312	443.2688
1 : 330	443.3536	443.2895	443.3329	443.2688
Sphère.	443.4341	443.2931	443.4134	443.2724

164

Delambre, a partir dels seus estudis va proposar un valor de 443.3224 línies, un valor que, segons ell, era molt fàcil de recordar.

Finalment la Comissió adopta el metre per a un valor de 443,2984 línies<sup>165</sup> per raons que, tal i com diu al Tomo 3 de *Base du système métrique décimal*, el propi Delambre desconeix.

Delambre mai va arribar a estar conforme amb aquest valor pel metre, ja que li semblava massa petit i es queixa perquè es van tenir en compte les latituds de Montjuïc enlloc de les de Barcelona ja que les de Montjuïc tenien aquell error tan discutit mentre que les de Barcelona estaven perfectament fetes.

A més per calcular l'aplanament de la Terra s'havien utilitzat diverses mesures de la distància que cobria un grau de latitud, mesures fetes per Méchain i Delambre però també mesures extretes de les expedicions a Lapònia i Perú fetes dècades abans.<sup>166</sup>

Podem observar com un fet curiós que finalment per calcular el valor del metre i després de tantes mesures, algunes de les dades utilitzades per a els càlculs van ser extretes d'expedicions antigues.<sup>167</sup>

<sup>164</sup>Diferents valors del metre segons l'arc triat.

Font: Delambre J.B., Méchain P (1806). *Base du système métrique décimal* París

<sup>165</sup> 1 línia = 2,2558 mm

<sup>166</sup> Tema tractat al capítol la forma de la Terra.

<sup>167</sup> Font: Delambre J.B., Méchain P (1806). *Base du système métrique décimal* París

## **15.2. L'error de Méchain**

L'error de Méchain el va perseguir fins la seva mort quan va morir de malària a Castelló. Però quin va ser aquest error tan terrible? Bé, de fet, ha estat un tema discutit decidir si realment es va tractar d'un error però jo el tractaré com a tal per a poder explicar correctament quin va ser. Quan Méchain era a Catalunya per primer cop, va patir un accident que el va deixar immobilitzat al llit durant sis mesos. Quan aquest accident va passar ja havia mesurat la latitud de Montjuïc un parell de vegades però quan va tornar a estar físicament preparat per a mesurar, el castell de Montjuïc s'havia convertit en unes instal·lacions per a retenir presoners francesos així que, com que ell era francès, li van impedir anar allà a mesurar. Com que ell volia tenir més mesures de la latitud va decidir que mesuraria des de la pensió La Fontana d'Or on estava allotjat i, com que sabia la diferència d'altura i la distància a Montjuïc, podria calcular la latitud des de la Fontana.

A Montjuïc, Méchain havia mesurat la latitud a partir de diverses estrelles i havia obtingut els següents resultats: l'estrella polar havia donat una mesura de mitjana de  $41^{\circ} 21' 44,91''$ , Thuban<sup>168</sup> havia donat  $41^{\circ} 21' 45,19''$ , Kochab<sup>169</sup> havia donat  $41^{\circ} 21' 45,19''$  i Mizar<sup>170</sup> havia donat  $41^{\circ} 21' 41,00''$  a l'última estrella podem apreciar una anomalia que irritava a Méchain però no li va donar molta importància en el seu moment. Quan mirem les mesures des de la Fontana on dormia, veiem que hi ha una diferència (era presumible) però no la diferència esperada i calculada per Méchain, per entendre-ho millor mirem els resultats.

Les mesures amb l'estrella polar havien donat com a latitud  $41^{\circ} 22' 47,43''$ , amb Kochab havien donat  $41^{\circ} 22' 48,38''$  i amb Mizar havien donat  $41^{\circ} 22' 44,10''$ <sup>171</sup>.

El problema va venir quan Méchain va fer una triangulació amb el castell de Montjuïc i a l'hora de fer els càlculs es va adonar que la latitud que en teoria havia de sortir i la latitud que tenia mesurada no coincidien. A partir d'aquell moment va intentar de totes totes tornar a Montjuïc per refer les mesures però no va poder.

Aquest error el va obsessionar i perseguir fins el final de la seva vida.<sup>172</sup>

---

<sup>168</sup>Estrella de la constel·lació del drac

<sup>169</sup>Estrella de la constel·lació de l'osa menor

<sup>170</sup>Estrella de la constel·lació de l'osa major

<sup>171</sup>Des de la Fontana no va mesurar Thuban perquè no en tenia una visió clara.

<sup>172</sup>Font:

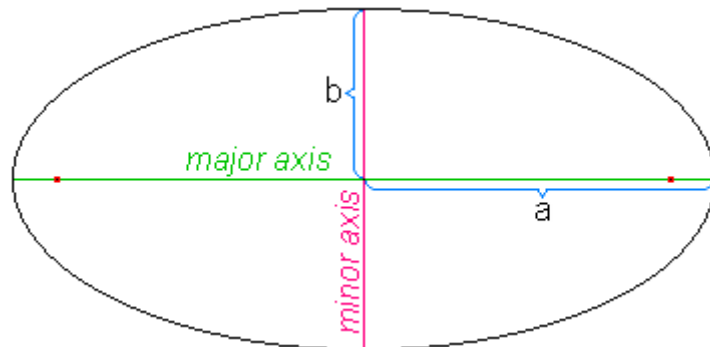
Alder, Ken (2002), *La medida de todas las cosas*, Madrid.

## 15.4. Mesures i formes del meridià actuals

Actualment tenim dades precises de la forma de la Terra.

Segons les últimes mesures i suposant la Terra plana, sense muntanyes, aquesta semblaria un el·lipsoide de revolució.

Sabem que un metre és la deumilionèsima part d'un quart de meridià, però, quant mesura realment un quart de meridià?



Hem de calcular la longitud d'un quart de l'el·lipse amb les següents dades:

Semieix major (a) (radi equatorial): 6378,1366 km

Semieix menor (b) (radi polar): 6356,7519 km<sup>174</sup>

Excentricitat de l'el·lipse  $\varepsilon = \frac{\sqrt{a^2 - b^2}}{a} = 0,08181922$

Calcular la longitud d'un arc d'el·lipse és força complicat però podem utilitzar expressions que l'aproximen tant com vulguem:

Així podem posar el perímetre de l'el·lipse p en forma de suma infinita:

$$p = 2a\pi \left( 1 - \left(\frac{1}{2}\right)^2 \varepsilon^2 - \left(\frac{1 \cdot 3}{2 \cdot 4}\right)^2 \frac{\varepsilon^4}{3} - \left(\frac{1 \cdot 3 \cdot 5}{2 \cdot 4 \cdot 6}\right)^2 \frac{\varepsilon^6}{5} - \left(\frac{1 \cdot 3 \cdot 5 \cdot 7}{2 \cdot 4 \cdot 6 \cdot 8}\right)^2 \frac{\varepsilon^8}{7} \dots \dots \right)$$

Lavors:

$$p = 40075,014417 \cdot (1 - 1,67359619 \cdot 10^{-3} - 2,954099751 \cdot 10^{-7} - 5,859520106 \cdot 10^{-9} - 2,145165428 \cdot 10^{-11}) = 40007,93295 \text{ km} = 40007932,95 \text{ m}$$

Així doncs, la deumilionèsima part d'un quart de meridià de la Terra tal com la coneixem actualment val: 1,000198324 m.

<sup>173</sup>Wikipedia

<sup>174</sup>NASA



El metre mesurat segons les mides reals de la Terra és 0,198324 mm més gran que el que van deduir de les mesures de Méchain i Delambre.

Sembla ser que Delambre tenia raó quan és queixava que el metre adoptat per la Comissió era massa petit.

## 16. Entrevista a Anton Aubanell

### 16.1. Petita introducció a l'entrevistat

Anton Aubanell actualment resideix a Malgrat de mar. Ha treballat com a professor de matemàtiques a l'IES sa Palomera i a la Universitat de Barcelona i actualment està jubilat. L'he triat per a l'entrevista degut a les múltiples conferències que ha fet sobre el metre i el sistema mètric decimal.



175

### 16.2. L'entrevista

**Vostè ha ensenyat matemàtiques a la universitat i a l'institut durant molts anys, és un tòpic conegut que les matemàtiques no causen molta simpatia, creu que és degut a la manera d'ensenyar-les a l'institut o pot ser algun altre factor?**

Bé, he ensenyat gairebé 30 anys a l'institut i 25 a la universitat i he tret la conclusió que les matemàtiques tenen la seva pròpia estructura i això fa convergeixin diversos elements que fan difícil el seu ensenyament. Potser el primer element seria que és un saber progressiu, és a dir, si et perds en el pas  $n$  costa agafar-te en el pas  $n+1$ , el segon element és que requereix abstracció i al requerir-la hi ha una dificultat afegida i potser tercer element que fa que sigui difícil ensenyar-les és que també molts alumnes arriben ja amb una motxilla que sembla que les matemàtiques facin por.

---

<sup>175</sup>Jo amb Anton Aubanell.

### **Què canviaria en la manera en com s'ensenyen les matemàtiques?**

Podem modificar coses a l'educació cap a una educació amb més presència d'activitats d'experimentació, és a dir, l'abstracció ha de ser l'objectiu final o un dels objectius importants però per arribar a l'objectiu hem de començar pels sentits, Aristòtil deia "Res està en el coneixement que no hagi estat en els sentits". Per tant, jo estic convençut que hem d'anar cap a una metodologia més experimental que a vegades permet aprofundir més. A més seria aplicable a tots els nivells, fins hi tot batxillerat. A vegades ens passa que volem formalitzar tant els conceptes que ens oblidem del concepte en si, és una trista paradoxa. Per exemple podríem dedicar una setmana sencera a fer experiències i llavors fer l'abstracció per a treure el concepte, guanyaríem molt més.

### **Bé, jo estic fent el treball de recerca sobre el metre i la seva història. Com ja sap, el metre es va crear durant la revolució francesa, creu que sense aquesta situació política i social s'hagués pres la iniciativa de crear una mesura universal?**

Bona pregunta, jo crec que hi hagués hagut un moment que s'hagués produït aquesta idea, perquè a mesura que els intercanvis comercials augmentaven i també s'activava més la recerca científica necessitaven una mesura en comú, per tant, en algun moment hagués sorgit segur la idea de crear mesures comunes. Ara bé, probablement no hagués sorgit tan aviat i la demostració és que els revolucionaris tenen la idea d'una mesura adoptable "per tots els temps i tots els pobles" però la posada a la pràctica d'aquesta idea triga gairebé 70 anys. A Espanya, la reina Isabel II va fer un decret, crec que l'any 40 declarant que s'ensenyaria el metre a totes les escoles i es tancaríen aquelles a les que no s'ensenyés però als anys 70 ningú ho ensenyava, de fet els comerciants es queixaven que només ho utilitzaven els ferrocarrils i el correu i això que ja feia 30 anys del decret. Per tant, fixa't que a la història li va costar molt més adoptar-ho, podríem dir que els revolucionaris francesos van ser pioners al proposar aquesta nova mesura. I per això els hi dono molt de mèrit.

### **Va costar molt implantar el metre a tot el món, creu que sense Napoleó i les seves conquestes el sistema mètric realment s'hagués acabat implantant?**

Potser haguessin agafat una altra mesura és clar perquè el metre en el fons, encara que ells no ho volien era fill de França i agafen el meridià que passa per París (evidentment que tots els meridians són iguals). Suposo que Napoleó va ajudar-hi però jo crec que si, que s'hagués acabat implantant un sistema unitari de mesures, potser no hagués sigut el metre però una

mesura comuna sí. Això sí, no hagués sigut tan maco per allò que hem dit al principi: una referència planetària i una divisió perfecte.

Sembla ser però, que Napoleó tenia algun tipus de dubte en quant el metre, es queixava que hauria de tornar a l'escola a prendre mesures. Clar que no tothom estava convençut amb el metre, tenim en aquest llibre de 1841 de Mariano Vallejo catedràtic en fortificació i defensa de les places, que diu: "*En este efecto se reunieron en París en el año 1798 sabios de todas las naciones, la nuestra envió a Agustín Pedralles y Gabriel Ciscar. Y en efecto eligieron un sistema muy filosófico, más que en virtud de serlo tanto se debía esperar que jamás tubiera efecto como al fin se ha verificado.*", diu que mai seria possible un sistema així.

**El meu treball es basa més en la zona de Catalunya, Méchain va cometre un error de mesura al castell de Montjuïc, per què creu que va reaccionar com ho va fer quan va descobrir el seu error?**

No ho sé, suposo que primer hauríem d'entendre els seus remordiments personals: havia dedicat molts esforços a un ideal, a una cosa que ell volia fer bé i de cop s'adona que ha comès un error, un possible error de fet perquè en González (un dels seus ajudants) ho va negar durant anys, hi havia gent que ho discutia dient que el camp gravitatori no era exactament igual. Jo penso que ell des que descobreix l'error es torna una mica una ànima en pena i ell no vol tornar a París per no haver de reconèixer l'error tot i que hi té la dona que pateix dificultats perquè els revolucionaris francesos li exigeixen la tornada del seu marit. Finalment torna a París i fa servir tota la seva influència com a director de l'observatori de París per a convocar una segona expedició per a intentar compensar el que ell considera el seu gran error i mor a València.

**Tornant al tema de la possible explicació de l'error, Delambre i la comissió de pesos i mesures van atribuir aquell error a la curvatura de la Terra.**

Si, jo penso que en el fons aquest error potser no era tant error però m'imagino que ell es va sentir com quan fas un problema amb els amics: tu el fas i l'envies i veus un error i clar et sap molt de greu. Jo m'imagino que el pobre ho devia passar molt malament, potser hi poden haver raons i potser l'error no era tant error. Alder per exemple, a La mesura de totes les coses ho explica des del punt de vista de Delambre deixant a Méchain com un...

### **Com un paranoic?**

Exacte, com un paranoic en canvi si llegeixes El naixement del metre està escrit des del punt de vista de Méchain i veus més que és una ànima en pena i no pas un paranoic, o almenys així el considero jo.

**I ja per acabar, Méchain i Delambre van definir el metre com la deumilionèsima part de la quarta part del meridià de la Terra, si ens basem en aquesta definició, un metre és realment un metre?**

Em sembla que el mateix Aragó quan va fer l'allargament de les mesures ja va veure que hi havia un error però no va modificar el metre, per tant, hauríem de dir que el que coneixem com a metre no és un metre. No és un metre amb la definició donada inicialment, ja que hi havia un petit error.

## **17. Conclusions**

### **17.1. Sobre la mesura del meridià i les meves mesures**

La mesura del meridià que es va dur a terme per Méchain i Delambre va ser realitzada amb una precisió excepcional per a l'època, ja que, com hem vist a l'apartat 14, m'han sortit unes mesures molt semblants a les que va fer Méchain, de fet, hi ha una diferència de menys d'un 1% entre els resultats de les meves mesures i els resultats de les seves. Sobre la mesura del meridià també m'agradaria dir que és realment admirable la determinació que hi havia per a fer les mesures correctament i que tot es duia a terme amb una rugositat realment impressionant.

No es van tirar enrere amb cap dels obstacles que hi van haver: el fet que estiguessin dos anys sense poder mesurar, la guerra amb Espanya que va impedir les mesures dels Pirineus durant molt de temps, tots els problemes matemàtics (fins al punt d'haver-se pràcticament d'inventar noves matemàtiques per a resoldre els càlculs), totes aquestes diversitats i moltes més van ser superades amb determinació i coratge.

### **17.2. Sobre el valor real d'un metre**

Un metre és un metre? La meva hipòtesi inicial és que no, si definim un metre com a la deumilionèsima part de la quarta part del meridià de la Terra podem dir que un metre és gairebé un metre però que no arriba a ser-ho, la diferència és de casi 0,2 mm, com ja hem pogut veure. Això implica que totes les nostres mesures estan basades en una mesura la definició de la qual (la definició antiga evidentment) no acaba de ser correcte però tots ens creiem la mentida i no ens atrevim a dubtar d'aquesta. Encara que, al ser una diferència tan petita no crec que realment es pogués arribar a considerar mentida.

### **17.3. Sobre què m'ha aportat fer aquest treball i les dificultats**

Gràcies a aquest treball he après i comprés tota la història que hi ha darrere del metre i he pogut apreciar que no és només una qüestió matemàtica, el metre té poesia i podríem dir que fins hi tot un punt de filosofia amagats al darrere.

Sobre tota la història del metre, també he trobat realment interessant com el metre s'anava veient condicionat per a totes les situacions polítiques, és a dir, com tota la ciència i tot el desenvolupament que es volia fer s'anava veient frenat per el nacionalisme i les guerres. Podríem dir que realment es volia avançar però l'ésser humà no pot evitar la seva pròpia



essència i seguia fent guerres i deixant l'avenç per a més tard, pels períodes de pau on tots juren no cometre els mateixos errors del passat. Però, alhora, va ser dins de la mateixa situació política que va dificultar les mesures on es va originar la idea de fer una mesura igualitària, d'unificar tot el planeta amb una cosa que ens fes iguals a tots, una cosa de la que tots els habitants de la Terra ens hi sentíssim part i ens fes sentir orgullosos.

Sobre el metre també m'agradaria dir que m'encanta l'esperit d'unió i igualtat amb que el presenten però que realment estava marcat pel nacionalisme francès. Els francesos creien realment en la seva superioritat davant dels altres impulsats per l'esperit revolucionari i conqueridor.

Matemàticament, el que més m'ha sobtat del metre és que molts cops per a molts càlculs es van inventar fórmules que en aquell moment eren impensables, com ja he dit anteriorment, la determinació que hi havia per a trobar el metre era impressionant.

També gràcies a aquest treball he après com fer realment una recerca i a organitzar-me perquè jo sempre havia estat de les que ho fan tot a última hora i sense cap mena d'organització però per a fer aquest treball m'he hagut d'organitzar i treballar amb temps, saber redactar i repassar molt bé abans d'entregar el definitiu, que és una cosa que no estic acostumada a fer. És cert que aquest treball m'ha causat molt d'estrès a causa de tota la pressió que hi tenia a sobre però crec que és una matèria necessària al batxillerat que t'ensenya a fer una recerca real i a organitzar un treball realment important.

Evidentment m'he trobat amb dificultats durant el procés de creació del treball, sobretot per a dur a terme la part pràctica, ja que m'ha costat trobar una triangulació que es pogués resoldre, com ja he explicat a l'apartat corresponent, ja que moltes de les muntanyes pujades tenen arbres al cim o el senyal posada per Méchain era inaccessible. Trobar una bibliografia adequada també ha sigut difícil. També he trobat dificultats pel que fa a entendre la part matemàtica de totes les mesures i per llegir i entendre els llibres antics escrits en francès.

Per a finalitzar les conclusions, m'agradaria dir que fer aquest treball ha estat una experiència important i enriquidora en quant a coneixements i m'ha fet créixer personalment.

## **18. Bibliografia i webgrafia**

### **18.1. Bibliografia**

- Alder. K (2002) *La medida de todas las cosas*. Madrid.
- Aragó, F (1854) *Histoire de ma jeunesse*. París.
- Bakul P.I. Kononovich E.V. Moroz V.I. (1992). *Curso de astronomía general*. Madrid
- Buza J. Stela. J. (2016). *Una aventura per la ciència. François Aragó i el triangle 17*. Palma de Mallorca.
- Delambre J. B. (1799) *Méthodes analytiques pour la détermination d'un arc du méridien*. París.
- Delambre J.B., Méchain P (1806). *Base du système métrique décimal*. París.
- D'Autun E. (1790). *Proposition faite a l'assemblée nationale sur les poids et mesures*. París.
- Escalona . M (2012) *Sistema métrico sistema internacional*, Sevilla.
- López L.G. (2013). *Trigonometria esférica*. Madrid.
- Mourey-Rey E. (1956) *El naixement del metre*. Palma de Mallorca.
- Puig-Pla C. Guevara I. (2014). *La introducció de la traingulació com a mètode per a mesurar el planeta Terra*. Barcelona.
- René J. (1794). *Instruction sur les mesures déduites de la grandeur de la terre, uniformes pour toute la République, et sur les calculs relatifs a leur division décimale*. París.
- Ten. A.E. (1996) *Medir el metro*. València.

### **18.2. Webgrafia**

- <http://blogs.sapiens.cat/socialsenxarxa/2011/03/20/catalunya-en-temps-de-la-revolucio-francesa/>
- <http://blogs.sapiens.cat/socialsenxarxa/2012/11/27/la-guerra-gran-1793-1795/>
- <http://dicci-eponimos.blogspot.com/2010/07/circulo-de-borda.html>
- [http://jean-claude.sabot.pagesperso-orange.fr/articles/articles\\_anciennes\\_mesures.html#SUR](http://jean-claude.sabot.pagesperso-orange.fr/articles/articles_anciennes_mesures.html#SUR)
- <http://marcel-mane.com/catala/fisica/Unitats%20actuals%20i%20antigues.htm>
- <http://tierradetopos.blogspot.com/2010/01/el-ciculo-de-borda.html>
- <http://www-groups.dcs.st-and.ac.uk/history/Biographies/Delambre.html>
- <http://www-history.mcs.st-andrews.ac.uk/Biographies/Borda.html>
- <http://www-history.mcs.st-andrews.ac.uk/Biographies/Condorcet.html>
- <http://www-history.mcs.st-andrews.ac.uk/Biographies/Laplace.html>
- <http://www-history.mcs.st-andrews.ac.uk/Biographies/Mechain.html>
- <http://www.coac.net/COAC/agrupacions/PeritsForenses/docs/Dades%20interes%20per%20Perits/MIDES-AGRON.htm>
- [http://www.cordouan.culture.fr/accessible/fr/uc/03\\_03\\_01-L%E2%80%99appareil%20de%20Borda%20et%20Lenoir%20pour%20Cordouan](http://www.cordouan.culture.fr/accessible/fr/uc/03_03_01-L%E2%80%99appareil%20de%20Borda%20et%20Lenoir%20pour%20Cordouan)
- <http://www.daviddarling.info/encyclopedia/M/Mechain.html>
- <http://www.genealexix.fr/cartes-postales/mesures-anciennes.php>
- <http://www.mcnbiografias.com/app-bio/do/show?key=caritat-marie-jean-antoine-nicolas>
- <http://www.mcnbiografias.com/app-bio/do/show?key=delambre-jean-baptiste-joseph>

[http://www.naucher.com/es/hemeroteca/un-circulo-de-reflexion-de-borda/\\_h:59/](http://www.naucher.com/es/hemeroteca/un-circulo-de-reflexion-de-borda/_h:59/)  
[https://ca.wikipedia.org/wiki/Cercle\\_de\\_reflexi%C3%B3](https://ca.wikipedia.org/wiki/Cercle_de_reflexi%C3%B3)

<https://docs.google.com/presentation/d/1UFqwYjruNBRsVhIztmNz9eExipVwqxdURcjlrGBTw/edit#slide=id.p4>  
<http://blocs.xtec.cat/histo4lacueva/tag/revolucio-francesa/>  
<https://www.encyclopedia.cat/EC-GEC-0055146.xml>  
[https://es.wikipedia.org/wiki/Guerra\\_del\\_Rosell%C3%B3n](https://es.wikipedia.org/wiki/Guerra_del_Rosell%C3%B3n)  
[https://es.wikipedia.org/wiki/Guerras\\_revolucionarias\\_francesas#1793](https://es.wikipedia.org/wiki/Guerras_revolucionarias_francesas#1793)  
[https://es.wikipedia.org/wiki/Primera\\_Coalici%C3%B3n#1793](https://es.wikipedia.org/wiki/Primera_Coalici%C3%B3n#1793)  
[https://fr.wikipedia.org/wiki/Anciennes\\_unit%C3%A9s\\_de\\_mesure\\_fran%C3%A7aises#Mesure\\_du\\_volume\\_des\\_mati%C3%A8res\\_s%C3%A8ches](https://fr.wikipedia.org/wiki/Anciennes_unit%C3%A9s_de_mesure_fran%C3%A7aises#Mesure_du_volume_des_mati%C3%A8res_s%C3%A8ches)  
[https://fr.wikipedia.org/wiki/Anciennes\\_unit%C3%A9s\\_de\\_mesure\\_fran%C3%A7aises#Mesures\\_d'Ancien\\_R%C3%A9gime\\_\(jusqu'en\\_1795\)](https://fr.wikipedia.org/wiki/Anciennes_unit%C3%A9s_de_mesure_fran%C3%A7aises#Mesures_d'Ancien_R%C3%A9gime_(jusqu'en_1795))  
[https://issuu.com/elmetro/docs/medidas\\_antiguas\\_francesas](https://issuu.com/elmetro/docs/medidas_antiguas_francesas)  
<https://www.biografiasyvidas.com/biografia/l/laplace.htm>  
<https://www.biografiasyvidas.com/biografia/m/mechain.htm>  
<https://www.biografiasyvidas.com/biografia/t/talleyrand.htm>  
<https://www.britannica.com/biography/Jean-Charles-de-Borda>  
[https://www.ecured.cu/Pierre\\_Simon\\_Laplace](https://www.ecured.cu/Pierre_Simon_Laplace)  
[https://www.elnacional.cat/es/efemerides/efemeride-estalla-guerrarosellon\\_146775\\_102.html](https://www.elnacional.cat/es/efemerides/efemeride-estalla-guerrarosellon_146775_102.html)  
<https://www.encyclopedia.cat/EC-GEC-0011310.xml>  
<https://www.encyclopedia.cat/EC-GEC-0031533.xml>  
<https://www.encyclopedia.cat/EC-GEC-0041648.xml>  
<https://www.histoire-genealogie.com/Les-poids-et-mesures?lang=fr>  
<https://www.shbarcelona.cat/blog/cat/mesures-catalanes-antigues/>

## Annexes

### Annex A

Per poder entendre la necessitat de crear una mesura universal hem de veure el caos que hi havia quan les mesures podien arribar a canviar de poble en poble. El desordre era tal que, en alguns casos, per a un mateix nom hi havia diferents mesures aplicades.

#### A.1. Mesures a Catalunya

##### A.1.1. Mesures de longitud<sup>176</sup>

Nom de la mesura	Equivalència en metres
Cana	1,555 metres
Vara	0,8 metres
Pas	0,8 metres
Peu	0,26 metres
Pam	0,2 metres

##### A.1.2. Mesures de superfície<sup>177</sup>

Mesures de Girona		Mesures de Barcelona	
Nom de la	Equivalència en metres	Nom de la	Equivalència en metres

<sup>176</sup>Fonts:

Mourey-Rey E. (1956) *El naixement del metre*, Palma de Mallorca  
<http://marcel-mane.com/catala/fisica/Unitats%20actuals%20i%20antigues.htm>  
<https://www.shbarcelona.cat/blog/cat/mesures-catalanes-antigues/>

<sup>177</sup> Fonts:

Mourey-Rey E. (1956) *El naixement del metre*, Palma de Mallorca  
<http://www.coac.net/COAC/agrupacions/PeritsForenses/docs/Dades%20interes%20per%20Perits/MIDES-AGRON.htm>

<b>mesur a</b>	<b>quadrats</b>	<b>mesur a</b>	<b>quadrats</b>
Jornal	3 645,72 metres quadrats	Mojad a	4 896,5 metres quadrats
Quarte ra	2 977,34 metres quadrats	Quaret ra	3 672 metres quadrats
Quarte ra	2 460,86 metres quadrats	Quarte ra	3 401,8 metres quadrats
Vesana	2 197,43 metres quadrats	Quarte ra	2 986,55 metres quadrats
Jornal	2 190,2 metres quadrats	Quarte ra	2 962,08 metres quadrats
Vesana	2 187,4 metres quadrats	Quarte ra	2 485 metres quadrats

Jornal	2 187,36 metres quadrats	Quaret ra	2 448,2 metres quadrats
		Quarta n	1 224,13 metres quadrats
		Mindi n	306,03 metres quadrats
		Quarta n	246,84 metres quadrats
		Picotin	76,5 metres quadrats
		Picotin	61,71 metres quadrats
		Cana	2,438 metres quadrats



Mesures Tarragona		Mesures Lleida	
Nom de la mesura	Equivalència en metres quadrats	Nom de la mesura	Equivalència en metres quadrats
Jornal	8 202 metres quadrats	Quartera	8 656 metres quadrats
Mesura	6 100 metres quadrats	Jornal	5 256,576 metres quadrats
Jornal del rei	6 048 metres quadrats	Jornal	4 858 metres quadrats
Jornal antic	5 400 metres quadrats	Jornal	4 358,04 metres quadrats
Jornal	4 928,04 metres quadrats	Jornal	3 600 metres quadrats
Jornal	4 242 metres quadrats	Jornal	2 143 metres quadrats
Jornal	2 190,24 metres quadrats	Jornal	2 100 metres quadrats
Cana	2,4336 metres quadrats	Porca	438 metres quadrats

### A.1.3. Mesures de volum<sup>178</sup>

Per gra		Per licors	
Nom de la mesura	Equivalència en metres cúbics	Nom de la mesura	Equivalència en metres cúbics
Salma	0,278072 metres cúbics	Carga	0,1214 metres cúbics
Carga	0,173796 metres cúbics	Barraló	0,03035 metres cúbics
Quartera	0,069518 metres cúbics	Mallal	0,01517 metres cúbics
Quartà	0,005793 metres cúbics	Quartà	0,007587 metres cúbics
Picotí	0,001448 metres cúbics	Quartí	0,003794 metres cúbics
Mesureta	0,000362 metres cúbics	Porró	0,000948 metres cúbics
		Petricó	0,000237 metres cúbics

### Per olis

Nom de la mesura	Equivalència en metres cúbics
Carga	0,1245 metres cúbics

<sup>178</sup>Fonts:

<https://www.shbarcelona.cat/blog/cat/mesures-catalanes-antigues/>

<http://marcel-mane.com/catala/fisica/Unitats%20actuals%20i%20antigues.htm>

Barral	0,06225 metres cúbics
Barraló	0,03125 metres cúbics
Quartà	0,00415 metres cúbics
Quarta	0,000259 metres cúbics

#### A.1.4. Mesures de masa<sup>179</sup>

Nom de la mesura	Equivalència en quilograms
Carga	124,8 quilograms
Quintar	41,6 quilograms
Rova	10,4 quilograms
Quarteró	2,6 quilograms
Lliura carnissera	1,2 quilograms
Lliura	0,4 quilograms
Unça	0,033333 quilograms

## A.2. Mesures a França

### A.2.1. Mesures de longitud<sup>180</sup> i de superfície<sup>181</sup>

Mesures de longitud		Mesures de superfície	
Nom de la mesura	Equivalència en metres	Nom de la mesura	Equivalència en metres quadrats
Lieue tarifaire	4.678 metres	Arpent des forêts	5.104 metres quadrats

<sup>179</sup>Fonts:

<https://www.shbarcelona.cat/blog/cat/mesures-catalanes-antigues/>  
<http://marcel-mane.com/catala/fisica/Unitats%20actuals%20i%20antigues.htm>

<sup>180</sup>Fonts:

[https://issuu.com/elmetro/docs/medidas\\_antiguas\\_francesas](https://issuu.com/elmetro/docs/medidas_antiguas_francesas)  
[https://fr.wikipedia.org/wiki/Anciennes\\_unit%C3%A9s\\_de\\_mesure\\_fran%C3%A7aises#Mesures\\_d'Ancien\\_R%C3%A9gime\\_\(jusqu'en\\_1795\)](https://fr.wikipedia.org/wiki/Anciennes_unit%C3%A9s_de_mesure_fran%C3%A7aises#Mesures_d'Ancien_R%C3%A9gime_(jusqu'en_1795))

<sup>181</sup>Fonts:

[http://jean-claude.sabot.pagesperso-orange.fr/articles/articles\\_anciennes\\_mesures.html#SUR](http://jean-claude.sabot.pagesperso-orange.fr/articles/articles_anciennes_mesures.html#SUR)  
<https://www.histoire-genealogie.com/Les-poids-et-mesures?lang=fr>

Lieue des Postes	4.288 metres	Arpent de Paris	3.418,8 metres quadrats
Lieue de Paris	3.898 metres	Perche des Eaux et Forêts	51,07 metres quadrats
Arpent	71, 465 metres	Perche commune	42,21 metres quadrats
Perche d'arpent	7,146 metres	Perche de Paris	34,18 metres quadrats
Perche ordinaire	6,497 metres	Pied carré	0,1055 metres quadrats
Perche-du-roi	5,847 metres		
Toise	1,949 metres		
Pied-du-roi	0'32484 metres		
Pouce	0,002707 metres		

### A.2.3. Mesures de volum<sup>182</sup> i de massa<sup>183</sup>

Nom de la mesura	Equivalència en metres cúbics	Nom de la mesura	Equivalència en quilograms
Toise cube	7,403832 metres cúbics	Tonneau	979 quilograms
Muid	1,828116 metres cúbics	Millier	489,5 quilograms
Pipe	0,411327 metres cúbics	Faix	50 quilograms
Muid	0,247281 metres cúbics	Quintal	48,95 quilograms
Setier	0,152243 metres cúbics	Jetée	25 quilograms
Feuillette	0,137109 metres cúbics	Livre	0,4895 quilograms
Mine	0,076172 metres cúbics	Marc	0,24475 quilograms
Quartaut	0,068555 metres cúbics	Quarteron	0,1224 quilograms

<sup>182</sup>Font:

[https://fr.wikipedia.org/wiki/Anciennes\\_unit%C3%A9s\\_de\\_mesure\\_fran%C3%A7aises#Mesure\\_du\\_volume\\_de\\_s\\_mati%C3%A8res\\_s%C3%A8ches](https://fr.wikipedia.org/wiki/Anciennes_unit%C3%A9s_de_mesure_fran%C3%A7aises#Mesure_du_volume_de_s_mati%C3%A8res_s%C3%A8ches)

<sup>183</sup>Font:

<http://www.genealexix.fr/cartes-postales/mesures-anciennes.php>

Minot	0,038086 metres cúbics	Fierton	0,06119 quilograms
Pied cube	0,034277 metres cúbics	Once	0,0306 quilograms
Boisseau	0,012695 metres cúbics	Gros	0,00382 quilograms
Velte	0,007617166 metres cúbics	Denier	0,001275 quilograms
Quart	0,003174 metres cúbics		

## **Annex B**

En aquest annex trobem el context històric de les mesures del metre.

### **B.1. La revolució francesa**

Per entendre d'on prové el metre hem d'entendre com va sorgir, en quin context va ser creat. La idea de crear una mesura universal va sorgir a França prop de l'any 1790, enmig de la revolució francesa. Amb el lema de *Liberté, égalité, fraternité*<sup>184</sup> va sorgir la idea d'una mesura que fos útil per a tothom i igualitària per a tots els països.



185

La revolució francesa va començar el 14 de juliol de 1789 i va acabar el 9 novembre de 1799. Dins de la revolució francesa (per entendre-la millor) explicaré les causes de què esclatés i una mica les tres etapes.

<sup>184</sup>Llibertat, igualtat, fraternitat

<sup>185</sup>Font:[https://www.nationalgeographic.com.es/medio/2017/07/12/eugene-delacroix-la-libertad-guiando-al-pueblo\\_b552a578.png](https://www.nationalgeographic.com.es/medio/2017/07/12/eugene-delacroix-la-libertad-guiando-al-pueblo_b552a578.png)

### B.1.1. Causes

Hi ha tres tipus de causes, les econòmiques, les socials i les ideològiques.

#### B.1.1.1. Causes econòmiques

Una barreja de males collites, un augment de l'atur (perquè no podien competir amb els productes anglesos), que la reialesa s'estava quedant sense diners i els pocs diners que tenien anaven destinats a l'ajuda de les colònies va provocar que França s'empobris cada cop més.

#### B.1.1.2. Causes socials

Hi havia una tensió social, que va anar creixent fins a l'esclat de la revolució, provocada per l'augment de poder econòmic de la burgesia, que ara reclamava també tenir poder polític, i la noblesa i el clero que no volien perdre els seus privilegis i se sentien amenaçats pel creixent poder de la burgesia.

#### B.1.1.3. Causes ideològiques

Durant aquesta època van aparèixer els il·lustrats que reclamaven, entre altres coses, tres canvis: la separació de poders entre legislatiu, executiu i judicial (reclamada per Montesquieu), la sobirania nacional, és a dir, tot el poder a la ciutadania (demanda per Rousseau) i una monarquia controlada pel parlament (que exigia Voltaire). Aquests canvis no eren ben rebuts per la noblesa, ja que implicaven la pèrdua de gran part dels seus privilegis.

### B.1.2. Les tres etapes

#### B.1.2.1. 1a etapa

La monarquia constitucional (1789-1792): aquesta primera etapa comptava amb la burgesia conservadora que volia arribar a un acord amb els privilegiats (sobretot amb el rei) per abolir l'antic règim. La seva evolució va ser la següent:

- El 9 de juliol de 1789 va ser proclamada l'assemblea nacional constituent i es va iniciar el procés reformista per convertir França en una monarquia constitucional i parlamentària.
- El 14 de juliol de 1789 es va dur a terme la presa de la Bastilla (que era un símbol de l'absolutisme monàrquic).

- El 4 d'agost de 1789 es va abolir el feudalisme.
- El 26 d'agost de 1789 es va aprovar la Declaració dels de l'Home i el Ciutadà.
- Entre el 15 i el 28 de març de 1790 va desaparèixer el monopoli senyorial de pesos i mesures deixant un buit que s'havia d'emplenar.
- El 1791 es va escriure una constitució que establia un sufragi indirecte i censatari<sup>186</sup>, va ser un avenç en el liberalisme polític però encara reservava al rei el dret a veto.
- Les reformes fetes durant aquest període satisfien únicament als burgesos, és a dir, que tant la classe popular com els privilegiats estaven en contra de les reformes dutes a terme, així que el rei va plantejar fugir de París i unir-se a l'exèrcit austríac i restablir l'absolutisme.
- El 20 d'abril de 1792 l'assemblea legislativa va declarar la guerra a Àustria.
- El setembre de 1792 el rei va ser capturat en el seu intent de fugida pels sans-culottes<sup>187</sup> que el van empresonar i van declarar la república.
- El desembre de 1792, la convenció va declarar després d'un judici que el rei era culpable de conspiració contra la llibertat pública i la seguretat nacional.



188

<sup>186</sup>El dret a votar estava restringit per a factors econòmics i amb una votació indirecta.

<sup>187</sup>Sans-culottes és la denominació que hom donava a la França de la Revolució al poble pla, que no vestien com la noblesa i la burgesia, amb calça curta i mitges, sinó amb calces llargues. Inicialment, va ser un terme despectiu, però després va ser exhibit amb orgull pels revolucionaris.

<sup>188</sup>Lluís XVI capturat en el seu intent de fugida



### B.1.2.2. 2a etapa

La república democràtica (1792-1794): aquesta etapa, està impulsada per la burgesia radical i el poble que volia una evolució més democràtica. La seva evolució va ser la següent:

- Es van celebrar unes eleccions amb un sufragi universal masculí<sup>189</sup> organitzades pels girondins<sup>190</sup>, ja que la república havia quedat a les seves mans.
- El 21 de gener de 1793 el rei de França Lluís XVI va ser condemnat a mort i executat.
- El dia 1 de febrer Espanya i altres potències declaren la guerra contra França.<sup>191</sup>
- El juny de 1793 els jacobins<sup>192</sup> van aconseguir el poder, van detenir els principals dirigents polítics girondins i van escriure una nova constitució basada en la democràcia social.
- El 27 de juliol de 1794 hi va haver un cop d'estat on es va treure el poder als jacobins i van ser executats els seus principals dirigents.



193

### B.1.2.3. 3a etapa

---

Font: [https://www.nationalgeographic.com.es/medio/2012/11/15/xir\\_77297\\_2000x1420.jpg](https://www.nationalgeographic.com.es/medio/2012/11/15/xir_77297_2000x1420.jpg)

<sup>189</sup> Les úniques que no tenien dret a vot eren les dones i els nens menors d'edat.

<sup>190</sup> Girondins: eren la representació del sector moderat de la població francesa, el seu membre més destacat va ser Jacques-Pierre Brissot i els seus membres més importants formaven part de l'alta burgesia. Es podria dir que eren els revolucionaris "moderats" i volien que les províncies guanyessin poder davant de la capital, París.

<sup>191</sup> Consultar següent apartat [La guerra amb Espanya](#).

<sup>192</sup> Jacobins: eren la representació de la burgesia mitjana i les classes populars de la població francesa, el seu membre més destacat va ser Maximilien de Robespierre. Pensaven que qualsevol mètode era vàlid per aconseguir que la revolució arribés als seus objectius i creien que s'havia de començar el canvi per París.

<sup>193</sup> Execució de Lluís XVI.

Font: [https://www.nationalgeographic.com.es/medio/2014/12/10/guillotins2\\_2000x1476.jpg](https://www.nationalgeographic.com.es/medio/2014/12/10/guillotins2_2000x1476.jpg)

La república burguesa (1794-1799): aquesta última etapa suposa una tornada al poder de la burgesia conservadora. La seva evolució és la següent:

- La burgesia conservadora va tornar a agafar el poder després del cop d'estat.
- El 1795 es va escriure una nova constitució que donava el poder executiu a un govern col·legiat, tornava al sufragi censatari i atorgava el poder legislatiu a dues cambres. Volien tornar a la constitució escrita el 1791 i anul·lar completament la dels jacobins escrita el 1793.
- El 9 de novembre de 1799 Napoleó Bonaparte arriba al poder amb un cop d'estat que comptava amb el suport de la burgesia.



194

Mentre tenien lloc tots aquests vaivens polítics es duien a terme les mesures per determinar el que ara és la mesura del sistema universal.<sup>195</sup>

---

<sup>194</sup> Napoleó prenent el poder.

Font: [http://lh3.ggpht.com/-srpww01vmA/UY3\\_3v7v6dI/AAAAAAAAAJwk/ozv-kzVrMcl/Jacques-Louis\\_David%25252C\\_The\\_Coronation\\_of\\_Napoleon.jpg?imgmax=640](http://lh3.ggpht.com/-srpww01vmA/UY3_3v7v6dI/AAAAAAAAAJwk/ozv-kzVrMcl/Jacques-Louis_David%25252C_The_Coronation_of_Napoleon.jpg?imgmax=640)

<sup>195</sup> Fonts:

Escalona . M (2012) *Sistema métrico sistema internacional*, Sevilla.

<https://docs.google.com/presentation/d/1UFqwYjruNBRsVhIztnNz9eExipVwqxdURcjrIrgvBTw/edit#slide=id.p4>

<http://blocs.xtec.cat/histo4lacueva/tag/revolucio-francesa/>

<https://www.encyclopedia.cat/EC-GEC-0055146.xml>

## **B.2. La guerra amb Espanya**

Durant la segona etapa de la revolució, França va patir el que es va anomenar la Primera Coalició que va ser un intent d'esforç combinat de les altres potències europees monàrquiques per a contenir l'esperit revolucionari que despertava França. Va ser una guerra a gran escala però jo em centraré en la part espanyola.

La guerra amb Espanya va suposar un problema per a Méchain<sup>196</sup>, ja que en aquell moment estava mesurant a Espanya i la guerra li va impedir acostar-se a la frontera i realitzar les mesures necessàries als Pirineus.

Abans de parlar de la guerra en si, comentaré la Primera Coalició per a poder entendre millor la guerra i què ho va provocar.

### B.2.1. La Primera Coalició

Com ja he dit anteriorment, la Primera Coalició va ser una unió de les monarquies europees per a intentar retenir la revolució francesa i el que aquesta comportava (república, enderrocament de la monarquia...). Estava composta per: El Regne de Prússia, l'Imperi Sacre, els Francesos Monàrquics, El Regne d'Espanya, el Regne de Portugal, Sardenya, el Regne de Nàpols, l'Imperi Otomà, les Províncies Unides i altres estats italians.

Va consistir en un seguit de campanyes bèl·liques que van durar des de 1792, quan França va condemnar el rei a mort, fins a 1797, quan Prússia va firmar la pau amb França. Tot i que jo comentaré només fins al 1795, quan Espanya va firmar la pau.

### B.2.2. La guerra amb Espanya

A França va declarar la guerra a Espanya el 7 de març de 1792, començant això l'anomenada Guerra dels Pirineus, una guerra que va durar fins al 1795.

França va començar l'atac envaint la Vall d'Aran a finals de març. Espanya va contraatacar per mar i terra: les flotes anglo-espanyoles van atacar a Toló mentre les tropes terrestres van envair Rosselló el 17 d'abril de 1793 i el 18 de maig del mateix any van aconseguir totes les fortificacions de la frontera.

---

<sup>196</sup>Pierre François André Méchain, nascut a Laon el 16 d'agost de 1744 i mort a Castelló de la Plana el 20 de setembre de 1804, va ser un astrònom i geògraf francès. Famos per haver descobert 8 cometes i 26 objectes astronòmics, així com per haver pres part en nombroses expedicions

Però a partir del setembre les tropes franceses van començar a avançar per culpa de la falta de medis d'Espanya i durant les següents batalles, durant el 1794 i 1795, les tropes Franceses van prendre San Sebastian, una part de territoris catalans i una part dels territoris navarresos

Finalment, el 1795 Espanya, veient que les forces franceses eren més fortes del que s'esperava es va decidir a firmar la pau amb França.<sup>197</sup>

---

<sup>197</sup>Fonts:

Escalona . M (2012) *Sistema métrico sistema internacional*, Sevilla..

[https://es.wikipedia.org/wiki/Guerras\\_revolucionarias\\_francesas#1793](https://es.wikipedia.org/wiki/Guerras_revolucionarias_francesas#1793)

[https://es.wikipedia.org/wiki/Primera\\_Coalici%C3%B3n#1793](https://es.wikipedia.org/wiki/Primera_Coalici%C3%B3n#1793)

[https://es.wikipedia.org/wiki/Guerra\\_del\\_Rosell%C3%B3n](https://es.wikipedia.org/wiki/Guerra_del_Rosell%C3%B3n)

<http://blogs.sapiens.cat/socialsenxarxa/2011/03/20/catalunya-en-temps-de-la-revolucio-francesa/>

[https://www.elnacional.cat/es/efemerides/efemeride-estalla-guerra-rosellon\\_146775\\_102.html](https://www.elnacional.cat/es/efemerides/efemeride-estalla-guerra-rosellon_146775_102.html)

<http://blogs.sapiens.cat/socialsenxarxa/2012/11/27/la-guerra-gran-1793-1795/>

<https://www.encyclopedia.cat/EC-GEC-0031533.xml>

## Annex C

En aquest annex es troben les pàgines de cada senyal amb les explicacions de Mèchain originals que han sigut escanejades del llibre *Base du système métrique decimal*.

### Pic l'Estella

#### SIGNAL DU PUY LA ESTELLA.

LA Estella est le pic de la montagne que Lemonnier le médecin a appelée *la Patere* dans ses *Observations d'histoire naturelle*, p. ccxij de la *Méridienne vérifiée*. La mine de fer nommée *la Pinose* en est peu éloignée; la tour de Baterre, à mille toises de distance dans le sud-sud-est, et le pic du Canigou à quatre mille toises vers l'ouest.

J'ai préféré la Estella au Canigou, parce qu'il est moins élevé et qu'il n'étoit pas aussi difficile de s'y établir et d'y séjourner.

Le citoyen Tranchot y a fait seul toutes les observations au commencement de l'an 2. Nous étions alors en Catalogne : les armées françaises et espagnoles étoient en présence, vers les limites et aux environs des lieux où nous opérions. M. Bueno, capitaine du génie militaire, l'un des deux commissaires que la cour d'Espagne m'avoit adjoints, devoit m'accompagner par-tout; mais,



dans des circonstances aussi critiques, il n'eût pas été prudent que cet officier se hasardât d'aller à la Estella ; c'est pourquoi je fus obligé de confier cette station au citoyen Tranchot seul : d'ailleurs il avoit assez acquis la pratique des observations avec le cercle, depuis que nous étions ensemble, pour que je pusse me reposer sur lui comme sur moi-même. Dans le cours de ses observations, des *Miquelets* vinrent l'enlever et le menèrent à Perpignan ; mais dès qu'il eut fait connoître l'objet de notre mission aux autorités civiles et militaires, qui en étoient déjà prévenues, on lui donna toutes facilités pour retourner à la station. Cependant, comme le président du département venoit de recevoir une lettre que je lui avois fait passer de Figuières par des officiers espagnols prisonniers de guerre qui se rendoient à Perpignan, pour le prier de faire élever des signaux à Forceral et à Bugarach, il engagea le citoyen Tranchot à aller lui-même établir ces signaux, avant de retourner à la Estella. Cet événement nous assura les moyens de compléter en l'an 2 nos observations à la Estella et au puy Camellas, qui sont les deux stations communes aux derniers triangles en France et à ceux qui traversent les Pyrénées.

On a établi un signal ici à deux époques différentes. Le premier signal, qui a été observé en l'an 2, de trois stations en Catalogne, étoit pareil au premier de Forceral. Sa hauteur sur le roc étoit de 2<sup>o</sup>833.

Le second signal, planté au commencement de l'an 4, a été replacé exactement au même point que l'autre,



au moyen de repaires bien fixes : c'étoit une forte solive dressée verticalement, fermement contenue par des arc-boutans, et portant pour mire un parallélogramme formé de planches de 4 pieds de longueur et trois pieds de largeur. Son plan étoit perpendiculaire à la direction moyenne entre Forceral et Bugarach, d'où il a été observé. Hauteur totale de ce signal, 2<sup>t</sup>333.

#### Mare de déu del mont

### SIGNAL DE NOTRE-DAME-DU-MONT.

#### X C.

CETTE montagne est située entre les rivières de la Mugà et de la Fluvia, à quatre lieues et demie dans l'ouest de Figuières, et à une lieue au nord de Besalù : elle est assez escarpée. On trouve sur son sommet un hermitage qui en occupe presque toute l'étendue. C'est du nom de cet hermitage (*Nuestra Señora del Monte* ou *del Mundo*) que la montagne prend le sien.

L'hermitage et sa chapelle n'offrant aucun objet qui pût servir de point de mire, j'ai fait élever un signal sur l'angle le plus nord d'un massif de maçonnerie, reste de ruines, ou plutôt de bâtisses qui paroissent n'avoir jamais été achevées.

C'est à cette station que nous avons commencé la mesure des triangles de Catalogne. Nous avons fait des dispositions pour la commencer sur la cime des

Pyrénées; mais notre apparition sur ces montagnes, et celle des officiers espagnols qui nous accompagnoient, ayant jeté l'alarme dans les villages français voisins (la guerre n'étoit point encore déclarée), le capitaine général de la Catalogne avoit ordonné aux officiers de se retirer dans l'intérieur de la province, et de m'engager à remettre mes opérations sur les limites à un temps plus tranquille. Je fus donc obligé de prendre ce parti, puisque je ne pouvois rien faire sans l'assistance des officiers espagnols. Il en résulta qu'il fallut aller deux fois à Notre-Dame-du-Mont; la première en septembre 1792, pour n'y mesurer qu'un angle du côté du midi, celui entre Puig-se-Calm et Roca-Corva. La suite du travail jusqu'à Mont-Jouy, les observations astronomiques à faire à ce terme austral de la méridienne, un cruel accident qui m'arriva, et les dispositions du général de l'armée espagnole, ne me permirent de retourner à Notre-Dame-du-Mont, et de faire élever des signaux à Camellas et à la Estella, que vers le commencement de l'an 2.

Le premier signal, placé à l'endroit désigné ci-dessus, n'a été observé que de Puig-se-Calm et de Roca-Corva. J'avois engagé l'hermite à en faire scier la tige un peu au-dessus du mur, à l'entrée de l'hiver, afin que la violence du vent, qui est extrême dans ce lieu, ne le déracinât point entièrement. Ainsi le tronçon resté dans la maçonnerie a servi pour replacer le second signal précisément au même point.

La tête de l'un et de l'autre de ces signaux étoit un



cylindre de 3 pieds de diamètre et de 4 pieds de hauteur.

Distance de l'axe au milieu de la porte de la chapelle . . . . . 20<sup>o</sup>7463.

Angle entre ce milieu et le signal de Roca-Corva . . . . . 76<sup>o</sup> 11' 39<sup>o</sup>.

*Signal de Puy-la-Estella.*

12 118565115 988792625 = 88<sup>o</sup> 54' 48<sup>o</sup>11 (dans le ciel.)  
 pour la réduction à l'horizon. M. et B. 5 vendémiaire, entre 10 et 11<sup>h</sup>.  
 Objet bien apparent. On visoit au milieu de la tête.

$$dH' = 1^{\circ}0278 \quad + 13^{\circ}29$$


---


$$88^{\circ} 55' 1^{\circ}40$$

pour la différence de niveau et la réfraction.

*Signal de Puig-se-Calm.*

12 119186266 9963022167 = 89<sup>o</sup> 22' 19<sup>o</sup>15 (dans le ciel.)  
 pour la réduction à l'horizon de l'angle entre ce signal et celui de Puy-  
 Camellas. M. et B. 5 vendémiaire. Hauteur du milieu de la tête du signal  
 où l'on visoit, 2<sup>o</sup>0417.

$$dH' = 1^{\circ}4028 \quad + 18^{\circ}67$$


---

Réduite au pied du signal . . 89<sup>o</sup> 22' 37<sup>o</sup>82

## SIGNAL DE ROCA - CORVA.

## X C I I.

LA montagne de Roca-Corva, qui prend son nom de la forme d'un gros rocher très-apparent sur son sommet, est située entre les rivières de la Fluvia et du Ter, ou entre les villes de Castelfollit et Girone. Il y a un hermitage vers l'extrémité sud du sommet; mais comme il ne présentait aucun objet qui fût propre à servir de point de mire, on a placé un signal dans la partie septentrionale du même sommet, à 500 toises environ de l'hermitage, sur une butte nommée *Puchon*, et près du bord escarpé du côté de Girone. Ce signal étoit une tente conique. C'est M. Alvarez, enseigne de vaisseau et adjoint de M. Gonzalez, l'un des deux commissaires espagnols, qui a fait établir cette tente; et il a même eu la complaisance d'y séjourner, d'y coucher, avec un gardien, durant tout le temps nécessaire pour l'observer des trois autres stations correspondantes.

## S I G N A L D E P U I G - S E - C A L M .

## X C I .

J'AI choisi Puig-se-Calm pour l'une de nos stations, d'après les relèvemens que j'en avois pris de dessus les montagnes de Serrateix, Costa-Bona, Tosa, la Caballera près Campredon, et du Col-de-Jaù. C'est le plus haut sommet des montagnes de Vidra ; il est d'une lieue environ dans le nord du village de ce nom, d'autant dans le sud-ouest de celui de Saint-Privat, et à deux lieues et demie de la ville d'Aulot. On trouve sur cette montagne, et à demi-lieue du pic, la métairie de *Platravé*.

Le signal placé à cette station en 1793, étoit pareil à ceux de Notre-Dame-du-Mont et de la Estella, d'où il a été observé.

Celui de 1792, qui a servi pour les stations méridionales, et qu'on a observé aussi de Notre-Dame-du-Mont à cette époque, étoit une tente conique. La carcasse en étoit formée de trois fortes pièces de bois, qui s'assembloient par en haut dans un plateau circulaire de deux pieds de diamètre. Les extrémités inférieures de ces montans étoient liées entre elles par des triangles de fer de six pieds de longueur, pour en empêcher l'écartement. Du centre du plateau s'élevoit un axe vertical et cylindrique de six pouces de diamètre, et long de trois pieds ; le plateau formoit la base d'un



petit cône de vingt pouces de hauteur, couvert d'une toile blanche, et bordé par en bas d'une large ceinture de coutil rayé; l'axe étoit terminé par un gros corps rond, blanchi ou non, suivant les circonstances. Quand on vouloit compléter la tente, on accrochoit au bord du plateau une grande toile que l'on tendoit et arrêtoit circulairement par le bas avec des piquets de fer enfoncés dans la terre ou dans les fentes des rochers. Il étoit facile de placer le centre de l'instrument dans la verticale du point de mire ou l'axe du signal, au moyen d'un fil attaché au centre du plateau, et qui portoit un plomb terminé en pointe. On marquoit toujours sur le sol le pied de l'axe par un clou frappé sur la tête d'un gros piquet, enfoncé dans le terrain aussi profondément qu'il étoit possible. Ce repère servoit encore à rétablir l'axe et le point de mire dans leur première situation, quand ils en étoient dérangés par la violence du vent ou par quelqu'autre accident.

La difficulté, et quelquefois l'impossibilité de se procurer du bois de charpente et des ouvriers sur les montagnes de Catalogne, m'avoit déterminé à faire construire à Barcelone trois tentes semblables à celle que je viens de décrire. Elles nous servoient tout à la fois d'abris et de signaux : on les observoit avec facilité et précision. J'ai beaucoup regretté de n'en pouvoir pas faire toujours usage, soit à raison des circonstances, soit parce que cela exigeoit un certain nombre de gardiens et coopérateurs que la modicité de nos moyens et d'autres raisons ne nous permettoient pas d'avoir.



J'avois d'abord destiné ces tentes pour signaux de nuit, en y plaçant un réverbère au centre dans l'intérieur, ou en le fixant extérieurement au haut de l'axe du petit cône. J'ai dit ci-dessus pourquoi nous avons été obligés de renoncer à l'usage des réverbères.

C'est le citoyen Tranchot qui a fait ici les observations du côté du nord-ouest, en 1793 et au commencement de l'an 2 : il s'est servi du cercle divisé en parties sexagésimales. J'y avois fait toutes les autres observations l'année précédente, et avec le cercle divisé en quatre cents grades. J'étois accompagné de M. Bueno et de l'artiste Esteveny.

#### DISTANCES AU ZÉNIT.

##### *Sommet de Costa-Bona.*

8 . . . 707° 30' 18" 183 = 707° 39' 5" 49 . . . 88° 27' 23" 19  
 (dans le ciel.) Pour la réduction à l'horizon. T. 2 vendémiaire an 2, entre 7 et 8<sup>h</sup> du matin.

Demi-épaisseur du fil . . . . .	+ 3" 00
$dH = - 0' 6387$ . . . . .	- 7" 87
	88° 27' 18" 32

pour la différence de niveau.

##### *La Estella.*

8 . . . 718° 40' 8" 862 = 718° 44' 25" 87 . . . 89° 50' 33" 23  
 T. 2 vendémiaire, vers midi. On visoit au pied du signal, dont la hauteur de la tête étoit de 2' 0833. Le centre du cercle étoit de 0' 6667 au-dessus du sol de Puig-se-Calm.

Donc corrections . . . . .	- 18" 46
$dH$ . . . . .	- 5" 66
Le fil . . . . .	+ 3" 00
	89° 50' 14" 77
Pour la réduction à l'horizon . . . . .	89° 50' 14" 77
Pour la différence de niveau et la réfraction . . .	89° 50' 30" 57

SIGNAL DE PUY-CAMELLAS.

L X X X I X.

CAMELLAS est une grosse butte située dans le col de *Portell*, 1800 toises environ au sud-ouest de Bellegarde, et de 150 toises plus élevée que les remparts de ce fort. On y découvre du côté du nord une grande partie du département des Pyrénées-Orientales et les *Corbières*; vers le midi, la vue s'étend sur toute la plaine de l'*Ampourdan*, et jusqu'aux montagnes de la partie nord-est de la Catalogne que j'avois choisies pour stations.

Ici, et à tous les autres points en Catalogne, j'ai été secondé avec le plus grand zèle par M. Bueno, l'un des commissaires que la cour d'Espagne avoit nommés pour assister à nos opérations; il prenoit aussi la peine de caler le niveau pour les observations des distances au zénit.

C'est à Camellas et à la Estella que notre mesure trigonométrique s'est terminée en l'an 2, parce que le général en chef de l'armée espagnole refusa de nous laisser passer en France, et nous obligea de rentrer en Catalogne, pour y rester jusqu'à la paix.

Le premier signal, établi en l'an 2, étoit pareil au premier de la Estella; le second, qu'on éleva en l'an 4, étoit aussi de même forme que le second relevé en même temps à la Estella. Sa partie supérieure, ou le



plan qui servoit de point de mire, étoit perpendiculaire à la direction vers Forceral d'où il a été observé. Une roue de bois, que j'avois fait enterrer de trois à quatre pieds, et dont le centre assuroit la position de l'axe du premier signal, a servi à replacer l'axe du second très-exactement au même point.

### Puig Rodós

#### SIGNAL DE PUIG - RODOS.

#### X C I V.

PUIG-RODÓS est le point le plus élevé du sommet d'une montagne dont la partie orientale s'étend entre le village de l'Estan et le bourg de Moïa; il est dans le sud du premier de ces deux lieux, à une heure de chemin; d'autant au nord du second, et de trois à quatre lieues dans le sud-ouest de la ville de Vicq.

MM. Gonzalez, Bueno et Alvarez m'ont accompagné à cette station.

Le signal étoit une tente conique, comme aux stations précédentes.

SIGNAL DE MATAGALL OU DE MONSÈN.

X C I I I.

MONSÈN est la montagne la plus considérable de la partie sud-est de la Catalogne. Son sommet se divise en deux pics très-remarquables, qui gissent à peu près nord et sud. Le signal a été placé sur le pic septentrional, qui se nomme *Matagall* : c'étoit une tente conique. L'hermitage de Saint-Sigismond est à une heure et demie de chemin de ce pic, et dans la même partie de la montagne. Le pic méridional est un peu plus élevé que l'autre; son nom est *Homa-Mort*.

Les observations de cette station ont été faites avec le cercle divisé en 360 degrés, et concurrement par le citoyen Tranchot, M. Planez, lieutenant de vaisseau et adjoint de M. Gonzalez, et par M. Chaix, que le gouvernement d'Espagne avoit autorisé à suivre nos opérations. Ce savant est actuellement vice-directeur de l'observatoire royal de Madrid.



SIGNAL DE MONT-SERRAT.

X C V I.

LE sommet de cette montagne est divisé, dans toute son étendue, en un grand nombre de pics isolés, très-élevés, et dont la plupart sont inaccessibles. J'ai choisi pour station le plus haut de tous, qui se trouve vers le milieu du sommet, et où l'on peut monter du côté de Permitage Saint-Gérôme, qui est même fort proche

de son extrémité. Sur le plateau de ce pic il y a une petite chapelle dédiée à Notre-Dame : elle en occupe presque toute la surface. Le signal a été planté au milieu de la porte de cette chapelle. Il étoit formé d'une longue solive fermement arrêtée contre la muraille, et terminée par une petite pyramide tronquée dont la base supérieure étoit élevée au-dessus du faite du toit de 1<sup>o</sup>208, et au-dessus du pavé intérieur de la chapelle de 2<sup>o</sup>713. Le pied de l'axe de la pyramide tomboit exactement au milieu de la largeur de la porte et à fleur de la face extérieure du mur.

J'ai été accompagné à cette station par MM. Gonzalez et Alvarez.

L'abbaye de Mont-Serrat, célèbre par ses richesses, le nombre de religieux et ses pèlerinages, est située dans la partie sud-ouest de la montagne, dans une espèce de gorge, environ deux cents toises au-dessous des pics, dont plusieurs l'entourent de fort près et semblent menacer de la détruire par leur éboulement. Il y a treize ermites répandus dans cette montagne, qui dépendent de l'abbaye, et dont chacun habite seul sa résidence isolée.

## Mont Matas

### SIGNAL DE MONT-MATAS.

X C V.

MONT-MATAS est le nom d'une butte située dans la partie sud-ouest du sommet du *Mont-Alègre*, au nord-nord-est de Barcelone, et à trois lieues environ de distance. Il y a une chartreuse à mi-côte, et qui n'en est éloignée que d'un quart-d'heure de chemin.

Les observations suivantes ont été faites avec le cercle divisé en 360 degrés, par le citoyen Tranchot, MM. Planez et Chaix.

## Vallvidrera

### SIGNAL DE VALVIDRERA.

X C V I I.

LA montagne de Vallvidrera, qui n'est distante de Montjoui que de deux petites lieues, bornant absolument de ce point la vue du côté du nord-ouest, j'ai été obligé d'y prendre une station pour être le sommet commun des deux derniers triangles principaux de la méridienne.



Le signal de cette station étoit une tente conique placée assez proche, et vers l'Est d'un grand arbre isolé qui se trouve sur le sommet de la montagne, et dont la tige trop tortueuse, en partie couverte par les branches, ne présentoit pas un point de mire assez bien défini; mais comme cet arbre est très-remarquable, qu'il se voit de tous les côtés, et de fort loin, on a pris les mesures suivantes pour déterminer sa position relativement au centre de la station.

Du centre de la station à l'axe de l'arbre . . . . .	7 <sup>h</sup> 29 <sup>m</sup> 16 <sup>s</sup> 7
Entre l'axe de l'arbre et le signal de Montjouy, à droite . . . . .	28 <sup>o</sup> 39' 50 <sup>s</sup>

Barcelona

Montjuïc

TOUR DE MONTJOUY.

X C V I I I.

CETTE tour est au milieu d'un des grands côtés du corps des casernes du fort, vers Barcelone.

Un mât d'environ vingt pieds, élevé et fermement établi sur la plate-forme de la tour, auquel on hisse des pavillons pour signaler les vaisseaux, nous a servi de point de mire pour toutes les stations correspondantes à celle-ci. On visoit à la partie de ce mât qui paroissoit à fleur des créneaux dont la plate-forme est surmontée, et qui terminent la tour.

C'est au bord de ces créneaux que nous réduirons les distances des autres objets au zénit de la tour, pour les différences de niveau.

On trouvera, dans la suite de cet ouvrage, les détails d'un nivellement et des mesures directes qui ont donné la hauteur du bord des créneaux au-dessus du niveau de la mer de 105<sup>m</sup>096.

*Signal placé sur une terrasse de l'auberge de la Fontana de oro, où l'on a fait des observations astronomiques.*

8 843<sup>8840</sup> 105<sup>48550</sup> = 94° 56' 13" 0  
 pour la réduction à l'horizon. M.

*Lanterne ou funal à l'entrée du port de Barcelone.*

4 421<sup>9250</sup> 105<sup>48125</sup> = 94° 55' 59" 26 (sur la mer.)  
 pour la réduction à l'horizon.

$dH' = - 0' 11 11 \quad - 21'' 74$

---

94° 55' 38" 52

pour la différence de niveau.

*Tour septentrionale de la cathédrale.*

8 827<sup>8670</sup> 103<sup>483375</sup> = 93° 8' 6" 14

Et pour 3 pouces et demi dont le centre du cercle étoit plus bas que lors de la mesure des angles . . . . .

$+ 8'' 02$   


---

93° 8' 14" 16

pour la réduction à l'horizon.

*Nota.* On visoit à un point de la tige de la girouette élevée au-dessus de la cloche de l'horloge.

Al llibre no trobem res escrit ni sobre la Torre del rellotge ni sobre la Fontana di oro per tant no puc posar les pàgines escanejades.