

XLIII. *Account of the Advantages of a newly-invented Machine much varied in its Effects, and very useful for determining the perfect Proportion between different Moveables acting by Levers and Wheel and Pinion. By Mr. Le Cerf, Watch-maker at Geneva; Communicated by Lord Viscount Mahon, F. R. S*

Read July 9, 1779.

TO SAMUEL HORSLEY, LL.D. S. R. S.

S I R,

Harley Street,  
March 19, 1778.

HAVING received from Mr. LE CERF, watch-maker at Geneva, two instruments of his invention, with the annexed paper; and being desired by him to present them to the Royal Society, I take the liberty of sending them to you, as secretary of that learned Body. I have perused this interesting treatise, which contains some new and valuable thoughts upon the relative size of wheels and pinions working together; and this being one of the things of the most general use, with respect to the improvement and easy execution of clocks, watches,

watches, and all kind of wheel machines, this paper appears to me to be very worthy of the attention of the Society. It is to be regretted, that the author does not enter into a greater and more minute detail upon the shape of the working-teeth, &c. as this, in my opinion, will, in several cases, materially affect the very simple, general rules which he has elegantly laid down.

I am, SIR, with true regard,

Your very obedient, humble servant,

MAHON.

§ 1. **T**HIS machine may be called a compass of geometrical and mechanical proportion; its property is to resolve a great number of problems analogous to the theory and practice of watch-making, in a manner which is at the same time very evident and infinitely more

---

*Description d'une Machine de nouvelle Invention, aussi variée dans ses Effets que nécessaire pour déterminer les parfaits rapports entre les differens mobiles agissans par Leviers et par Engrenages. Par Monsieur Le Cerf, Horloger à Geneve.*

§ 1. **O**N peut appeller cette machine, compas de proportion géométrique et mécanique, puis qu'il a la propriété de résoudre une quantité de problèmes analogues à la theorie et à la pratique de l'horlogerie d'une manière

très

more convenient than the mode of arithmetical calculations.

§ 2. The compass of proportion here treated of not only shews the proportion of the diameters between the wheels and the pinions, but serves to determine every species of proportion of the calibers, of the size of pivots, width of pallets, bigness of cylinders, and in general of whatever is an object of dimension. In every case it affords a product, either in unity or fractions, as perfect as the application of it to the mechanism we are considering is easy.

§ 3. Nothing therefore can more conduce to the perfection of watch-making than an instrument which immediately determines all the dimensions and proportions required; dimensions and proportions which could not heretofore be obtained but by means so long, so laborious,

très évidente et infiniment plus commode que par les opérations du calcul.

§ 2. Ce compas de proportion dont ce mémoire fait l'objet, décide non seulement du rapport des diamètres entre les rouës et les pignons, mais encore il sert à déterminer toutes sortes de proportions, soit des calibres, grosseurs des pivots, largeurs des pâlettes, grosseurs des cylindres, et généralement de tout ce qui fait objet de dimension; il donne dans tous les cas soit par unités ou par fractions un résultat aussi parfait que facile à appliquer au mécanisme en question.

§ 3. Rien ne nous paroît donc plus intéressant pour la perfection de l'horlogerie qu'un semblable instrument qui détermine sur le champ toutes les dimensions et proportions requises que l'on ne pouvoit jusqu'à présent obtenir que par  
des

rious, and so imperfect, that it is they which have probably given rise to a general relaxation with regard to the true principles, and to the adoption of rules and measures arbitrary, vague, and which produce very considerable errors: such, for instance, is the error of taking a little more than three points of a tooth in order to determine the size of the pinions of six, without regard to the revolutions which the different numbers of the teeth of the wheels produce. The consequence is, that an equal measure being taken upon a wheel of 18 and upon one of 72 teeth produces a variation of one entire revolution, as will be shewn hereafter.

§ 4. For instance, the pinion is the divisor of the wheel as well as that of the circle, each tooth of which is to raise its required proportion of degrees. A pinion of six is to raise  $60^\circ$  per tooth because  $6 \times 60 = 360$ ; one  
of

des moyens aussi longs que pénibles et imparfaits, et qui vraisemblablement ont donné lieu à un relâchement général sur les vrais principes, en suivant des règles ou mesures aussi vagues qu'arbitraires et qui mènent à des erreurs très considérables; telles sont celles de prendre un peu plus que trois pointes de dent pour déterminer la grosseur des pignons de six sans distinction des revolutions que produisent les différens nombres de dents des rouës. Par conséquent la même mesure prise sur une rouë de 18 comme sur celle de 72 dents, produit une écart d'une revolution entière, ainsi que l'on l'expliquera ci après.

§ 4. Par exemple, le pignon est le diviseur de la rouë aussi bien que celui du cercle, dont chaque aile doit lever sa portion de degrés requise; un pignon de

of seven is to raise  $51^{\circ} 25\frac{1}{3}$  and some seconds; one of eight is to raise  $45^{\circ}$ ; one of ten is to raise  $36^{\circ}$ : finally, one of twelve must incontestably raise  $30^{\circ}$  *per* tooth, since  $12 \times 30 = 360$ .

§ 5. Amidst various methods that have been used for the solution of this important problem, I shall mention only the most simple one which may be understood by those who have the very first principles of arithmetic.

§ 6. I set in motion two wheels, each of twelve teeth. By making one wheel turn the other, it is evident that these two diameters must be perfectly equal between themselves, allowing for the necessary shake between the teeth.<sup>(a)</sup>

(a) This shake is very inconsiderable, especially when the pinion and the teeth of the wheel are properly opened; for, according to my experiments, the deduction to be made on this account is reduced to the 96th part of the circumference of a pinion

6 doit lever  $60^{\circ}$  par aile, parce que  $6 \times 60 = 360$ ; un de 7 doit lever  $51^{\circ} 25\frac{2}{3}$  et quelques secondes; un de 8,  $45^{\circ}$ ; celui de 10,  $36^{\circ}$ ; enfin un pignon de 12, doit incontestablement lever  $30^{\circ}$  par aile, puisque  $12 \times 30 = 360$ .

§ 5. Entre diverses règles que l'on a employées pour résoudre cet important problème; on fera mention seulement de la plus simple et qui se trouvera à la portée de ceux qui auront les premières notions des élémens de l'arithmétique.

§ 6. Si je fais fonctionner par engrenage deux mobiles du même nombre, que je suppose de 12 dents chacun, il est clair que ces deux diamètres doivent être parfaitement égaux entr'eux (au lochement près qu'exige tout engrenage libre \*).

\* Lochement qui se réduit à très peu de chose, sur tout quand le pignons et la denture sont vidés à leur point, car suivant l'expérience que j'en ai faite, cette considération se réduit à toute rigueur à un 96<sup>e</sup> de la circonférence d'un pignon de 12, qui produit la somme d'une 8<sup>e</sup> de dent

§ 7. It will follow from hence, that these two movers, which we will suppose wheel and pinion, must reciprocally raise the  $30^\circ$  required; but if you increase one of these so as to make a revolution more than the other, which is fixed at 12 teeth, and at one line diameter, this last will indeed have 24 teeth; but instead of two lines of diameter it will have only 23 and  $\frac{1}{12}$ th relatively to that of the pinion; or if we give it exactly the double diameter, it will have 25 teeth instead of 24; consequently upon three revolutions, or 36 teeth, one must subtract from the wheel 2 and  $\frac{1}{12}$ th of a line, and so on as far as 12 or rather 11 effective revolutions (for the first, being supposed to be in equilibrio with its pinion, ought pinion of 12 which produces the sum of the 8th part of a tooth upon the wheel let its number be what it will.

not

§ 7. Il suit delà que ces deux mobiles que nous supposérons roué et pignon doivent lever reciproquement les  $30^\circ$  requis; mais si l'on augmente l'un de ces mobiles d'une revolution de l'autre qui est fixée à 12 dents et une ligne de diamètre, ce dernier aura bien 24 dents, mais au lieu de deux lignes de diamètre il n'aura que  $\frac{23}{12}$  relativement à celui du pignon, ou bien si on lui donne exactement le double en diamètre il aura 25 dents au lieu de 24, par conséquent sur trois révolutions soit 36 dents, il en faudra retrancher de la rouë  $\frac{1}{12}$  de ligne, ainsi de suite jusqu'à 12 ou bien 11 révolutions effectives) parce que la première étant

dent sur la rouë de tel nombre qu'elle soit; néanmoins pour rendre les justes rapports d'autant plus complets, j'ai fait entrer tout d'un tems cette petite compensation en faveur du mobile qui mène dans les dimensions de mon compas en question, pour tous les nombres et grandeurs des rouës et pignons quelconques, &c.

not to be reckoned). The wheel will then indeed have 144 teeth, or  $12 \times 12$ ; but it will only have 11 times as much in diameter, that is, 11 lines instead of 12, in order that the angles of these two movers may always be in the same perfect proportion to one another, of which the precise raising of  $30^\circ$  *per* tooth is one of the most convincing proofs.

§ 8. In order to make this more intelligible, I say that, as the primitive radii ought to be equal between these movers, a pinion of six wings, being a line in diameter, requires the taking off of one sixth, to take from it what is uselefs in its catch; this is what forms the apparent diameter. This deduction will reduce the primitive radius of this pinion to  $\frac{5}{6}$ ths of a line; for as its revolutions about a wheel of 12 teeth are as two to one, what is to make the radius of the wheel for the first revolution will be  
equal

ensée faire équilibre avec son pignon ne doit point entrer en ligne de compte) la rouë aura bien 144 dents ou  $12 \times 12$ . Mais elle n'aura qu'onze fois autant en diamètre, c'est à dire onze lignes au lieu de douze, pour que les angles de ces deux mobiles restent toujours dans le même et parfait rapport, dont la juste levée de  $30^\circ$  par aile est une des preuves la plus convaincante.

§ 8. Pour rendre ceci plus intelligible, nous disons que comme les rayons primitifs doivent être égaux entre ces mobiles; un pignon de six ailes qui aura une ligne de diamètre exige le retranchement d'un sixième pour lui ôter ce qu'il y a d'inutile dans son engrenage, c'est ce qui forme le diamètre apparent; ce retranchement réduira le rayon primitif de ce pignon à  $\frac{5}{6}$  à soit à  $\frac{5}{6}$  de ligne, car comme ses révolutions autour d'une rouë de 12 dents sont comme 2 à 1, et ce  
qui

equal to this in  $\frac{1^a}{12}$ ths, or one line; but for 2, 3, and 4 revolutions, and so on, one must add  $\frac{10^o}{12}$ ths of a line to the radius already laid down, for as many revolutions as the pinion must make more than the wheel, a wheel of 12 teeth will consequently have  $\frac{2^a}{12}$ ths of a line radius or diameter; one of 18 teeth and  $\frac{3^a}{12}$ ths; one of 24 teeth  $\frac{4^a}{12}$ ths, and so on.

§ 9. The same thing holds true in all the other pinions, let the number of them be what it will, where the same rule is to be observed. Thus upon 10 revolutions of a pinion of 10 one must deduct from the diameter of the wheel one diameter of the pinion; as many upon eight revolutions of a pinion of eight; upon seven of a pinion of seven as many; upon six of a pinion of six

fix

qui doit faire le rayon de la rouë pour la première révolution fera égal à celui ci en 12 douzièmes soit une ligne mais pour 2, 3, et 4 révolutions ainsi de suite on ajoutera 10 douzièmes de ligne au rayon déjà posé, pour autant de révolution que devra faire le pignon de plus que la rouë; ainsi une rouë de 12 dents aura de rayon ou de diamètre 22 douzièmes de ligne, celle de 18 dents 32 douzièmes; de 24, 42 douzièmes, &c.

§ 9. Il en est demême de tous les autres pignons, de tel nombre que ce soit, où il faut observer la même règle, ainsi sur 10 révolutions d'un pignon de 10 on retranchera du diamètre de la rouë une fois celui du pignon; sur 8 révolutions d'un pignon de 8 autant; sur sept d'un pignon de 7 autant; sur six d'un pignon

de



fix as many; and so on upon all the movers acting by revolutions and teeth.

§ 10. This constant variation of the diameters in the proportion of the revolutions of the pinion upon the wheel, is a discovery so much the more important towards determining, with greater ease, the due proportion between the wheels and the pinions, that it follows gradually, in the most perfect diminutive order, all the numbers and magnitudes of any diameter whatever; a singularity of effect which shall be accounted for in another place.

§ 11. The diameter of the wheel must of necessity increase in a ratio of the actual revolutions of the pinion, and not in that of its apparent diameter; since we are considering the working parts of wheels and pinions, where the angles, relatively to the change of the curves  
and

de fix autant; ainsi du reste de tous les mobiles agissans par révolutions et engrenages.

§ 10. Cette constante variété des diamètres, en raison des révolutions du pignon sur la rouë, est une découverte d'autant plus importante pour déterminer avec la plus grande facilité et précision le juste rapport entre les rouë et les pignons, qu'elle suit graduellement dans l'ordre diminutif le plus parfait tous les nombres et grandeurs de quelques diamètres que ce soit; singularité d'effets dont nous rendrons compte ailleurs.

§ 11. Le diamètre de la rouë doit nécessairement augmenter en raison des révolutions effectives du pignon et non en raison de son diamètre apparent puis qu'il

and the circumference, must be reciprocally in the same proportion to operate constantly the degrees of raising which are required.

§ 12. One may easily conceive, that the teeth of a wheel become constantly more parallel to each other, and approach to the straight line, in proportion as the number of them increases, the depth in that case need not be so great, and the curve being shorter is more favourable to the uniformity of the frictions than upon wheels which are few in number; this is what most commonly happens to pinions of six, the numbers of whose wheels hardly ever exceed 60 or 72 teeth. For if in the usual method of using a pinion-gage one was to take upon a wheel of 12 or 18 teeth a little more than the three points (which points from the nature of their angles would

---

qu'il s'agit d'un engrenage où les angles relativement au changement des courbes et de la circonférence doivent être réciproquement dans le même rapport pour opérer constamment les degrés de levées requis.

§ 12. Il est facile de comprendre que les dents d'une rouë deviennent toujours plus parallèles entr'elles et s'approchent de la ligne droite à mesure que le nombre en est augmenté, et moins alors l'engrenage exige de pénétration, la courbe étant plus courte devient dans ce cas plus avantageuse en faveur de l'uniformité des frottemens, que sur des rouës peu nombreuses, c'est ce qui d'ordinaire arrive aux pignons de six dont les nombres des rouës ne passent guères 60 et 72 dents, &c. Car si par la méthode ordinaire avec un calibre à pignon on prenoit sur une rouë de 12 dents où de 18 un peu plus que les trois pointes (que par la nature de

would hitch into the three teeth at one and the same time) supposed to be in due proportion with a pinion of six, and that afterwards one was to make use of the same measure upon a wheel of 42 teeth, the natural consequence would be, that this pinion would be by  $\frac{3}{8}$ ths, or half its diameter, too big.

§ 13. A pinion of seven, supposed to be of a proper bigness, with a wheel of 21 teeth, would according to the same measure of three full teeth taken upon a wheel of 70, be too big by its whole diameter, infomuch, that the wheel instead of 70 teeth ought to have but 63, &c. Though the superior angles, that is, the circumference of the wheels from 12 to 120, and above *ad infinitum*, relatively to the size of a pinion given according to our rule, are and ought to be invariably the same; the lower  
angles,

leurs angles embrasseroient tout d'un tems les trois dents) que l'on suppose en juste rapport avec un pignon de six, et que l'on voulusse faire usage de la même mesure sur une rouë de 42 dents, il en resulteroit évidemment que ce pignon se trouveroit de  $\frac{3}{8}$  soit de la moitié de son diamètre trop gros.

§ 13. Un pignon de sept qui seroit par supposition de juste grosseur avec une rouë de 21 dents se trouveroit, selon la même mesure de trois dents pleines, prises sur une rouë de 70 trop gros de son diamètre entier, de sorte que la rouë au lieu de 70 dents n'en devoit avoir que 63, &c. Non obstant que les angles superieurs, soit la circonférence des rouës depuis 12 à 120 et au dessus jusques à l'infini; relativement à la grosseur d'un pignon donné selon nôtre règle,  
soient

angles, that is, the thickness of the teeth, are yet extremely different in every wheel.

§ 14. For instance, all the wheels from 12 to 120 being sloped and rounded with the same file, the teeth of the wheel of 48 are half as thick again as those of 12, &c. In proportion as the parallelism of the angles increases, the teeth of course become larger and fuller, and each tooth consequently always exceeds the intermediate space in the same proportion, and gradually as far as the right line. This, in my opinion, determines the proper space between the teeth of each wheel, whence follows the curve, equally constant and advantageous in every respect, both with regard to the execution and to the uniformity in its lead on a pinion such as this, the thickness of the teeth of which is a sixth part of its diameter,

soient et doivent être invariablement les mêmes, les angles inférieurs soit l'épaisseur des dents, sont cependant à chaque rouë très differens.

§ 14. Par exemple, toutes les rouës depuis 12 jusques à 120 étant eslanquées et arrondies avec la même lune ou fraise, les dents de la rouë de 48 sont la moitié plus grosses ou plus épaisses que celle de 12, &c. à mesure que le parallélisme des angles augmente, les dents deviennent naturellement plus grosses ou plus étoffées (et le plein par conséquent excédant toujours le vuide dans la même proportion et graduellement jusqu'à la ligne droite). C'est là qu'est à mon avis le vrai point de vuillage graduel de chaque rouë, d'où suit naturellement la courbe aussi constante qu'elle me paroît la plus avantageuse à tous égards, soit dans l'exécution, soit dans l'uniformité, à peu de chose près, de la menée sur un pignon tel que celui ci, dont l'épaisseur des aïles est la sixième partie de son diamètre, tout comme

meter, juſt as the exceſs of the primitive radius or true diameter is the fixth part of its apparent diameter.

§ 15. According to this demonſtration, founded upon experiments, and which I am able to make out clearly, it is eaſy to ſee what errors muſt have crept into clock-making by the old method of taking for the pinion of fix three or a little more than three points of teeth; for pinion of ſeven, the three full teeth when finiſhed; for pinion of eight, the three full teeth, and the void ſpace as far as the fourth; for pinion of ten, four full teeth ſo as the wheel comes out of the engine (the making of which has hitherto been truſted to women, children, and ſervants); finally, for a pinion of twelve, five points of rather ſtrong teeth, with the ſame arbitrary formality. Theſe methods, I muſt repeat it, are only fit to perpetuate  
 mifun-

*l'excédant du rayon primitif ſoit diamètre vrai, eſt la fixième partie de ſon diamètre apparent.*

§ 15. Selon cette démonſtration fondée ſur des principes d'expérience et dont on peut donner des preuves évidentes, il eſt aiſé de voir et de ſentir à quel extrême erreur ces uſages ont expoſé l'horlogerie juſques à préſent où l'on a ſuivi conſtamment l'ancienne méthode de prendre pour pignon de fix, les uns un peu plus que les trois pointes de dents, les autres les trois pointes juſtes; pour pignon de 7 les trois dents pleines la denture finie; pour pignon de 8 les trois dents pleines et le vuide juſques à la quatrième; pour pignon de 10 quatre dents pleines telles que la rouë fort du fendage, lequel juſques à préſent a été confié aux femmes, aux enfans et même aux ſervantes, &c. Enfin pour pignon de 12, cinq pointes de dents un peu fortes avec la même formalité arbitraire, méthodes nous-

misunderstanding and division upon the manner of fixing and ascertaining the first principles of watch-making.

§ 16. Nothing therefore ought to make us more sensible of the want there is of our compasses of proportion, than the consideration of measures as ridiculous in themselves as they are impossible to fix; there is no proportion which can be fixed (except it be by mere chance) between these movers not even within so much as eight or ten degrees of rise *per* tooth; whereas by our machines, whose utility and the manner of making use of them is comprehended at first sight, one may come within a quarter or even an eighth of a rise *per* tooth, or nearly so.

§ 17.

---

le répétons tout à fait propres à perpetuer le schisme, la més-intelligence et l'erreur sur la manière propre à fixer les vrais et premiers principes de l'horlogerie.

§ 16. Rien ne devoit donc mieux faire sentir la nécessité de nos compas de proportion que des méthodes de mesures aussi ridicules par elles mêmes qu'impropres à fixer aucun juste rapport entre les mobiles en question, pas même à 8 et 10 degrés de levées près par aile, si non par l'effet du pur hazard, tandis que l'on peut avec autant de précision que de facilité par nos susdites machines aller jusqu'à  $\frac{1}{4}$  et même  $\frac{1}{8}$  soit  $7\frac{1}{2}$  minute en degré de levée par aile près, et leur usage et la manière de s'en servir est au premier coup d'œil si aisée à comprendre qu'il seroit fort inutile d'entrer dans un plus grand detail à ce sujet.

§ 17. It is not so easy to adapt these principles to our machines for all sorts of pinions, numbers of teeth, and sizes of wheels, and generally to whatever acts by lever; or wheel and pinion, or whatever is susceptible of relation, dimension, proportion, and compensation, from the first to the last movers of a watch or clock; for the least fault, either in the systems or geometrical principles, or the mechanical execution, is as fatal as would be the putting down a cypher too much or too little in the solution of a problem; and the more fatal the more complicated the machine.

§ 18.

§ 17. Il n'en est pas de même sur la manière d'adapter les susdits principes à nos machines pour toutes sortes de pignons, de nombres et grandeurs de rouës, et généralement sur ce qui agit par levier et engrenage, ainsi que sur tout ce qui est susceptible de rapport, dimension, proportion, et compensation respectives depuis les premiers jusques aux derniers mobiles d'une montre et pendule; nous savons par expérience combien de difference il y a entre le maniement de la plume et du papier à celui des instrumens mécaniques dont la construction, sur tout pour de semblables objets, exige la plus haute combinaison dans ses parties, aussi bien que la plus grande précision dans l'application des principes théoriques; car la plus légère faute, soit dans les systèmes ou principes géométriques, soit dans l'exécution mécanique, est aussi grave que si l'on poëit un chiffre de plus ou de moins dans des solutions problématiques, à cette difference près, que la dernière fera bien manquer le juste resultat, tout comme la première, mais que de plus celle ci induira en erreur, suivant la complication des objets, jusques à l'infini.

§ 18.

§ 18. The consideration of these difficulties has reduced me hitherto to keep silence upon the general construction of these instruments; instruments, in my opinion, absolutely necessary for the constructing of movements, sets of wheels, and motions, either rough or finished, according to the just proportions.

§ 19. But I make bold to set down, as a fundamental proposition, that the true size or relation between a wheel and its pinion is absolutely fixed; and in no case whatsoever arbitrary, as those who are not watch-makers might pretend: for all the reasons which can be assigned in favour of this arbitrariness would be as vague and destitute of foundation as if one was to consider arbitrarily the true gradation of a steel-yard relatively to its weight, or the length of a pendulum which swings seconds, whereas  
the

---

§ 18. La considération de ces difficultés nous a réduits jusques à présent à garder le silence sur la construction générale des ces machines devenues selon nous indispensables pour diriger et construire des mouvemens, rouages et cadastres bruts ou finis selon les vraies proportions requises.

19. Nous ôsons donc établir pour principe fondamental, que la juste grosseur soit le parfait rapport entre une rouë et son pignon est incontestablement fixe, absolu, et non arbitraire dans aucun cas, ainsi que tous autres que des horlogers pourroient le prétendre; car toutes les raisons que l'on pourroient alléguer en faveur de cet arbitraire seroient aussi vagues et destituées de fondement que si l'on envisageoit arbitrairement la juste gradation d'une Romaine soit Levrot relativement à son poids, ainsi que la longueur du pendul à seconde, tandis que ce  
dernier.



the latter is fixed by nature and the general laws of gravitation, and its vibrations are in the inverse ratio of the square roots of the lengths of the pendulums, which should be neither more nor less than 36 inches 8 and  $\frac{4}{5}$ ths of lines from the point of its suspension to the center of the lens, &c.

§ 20. I have already said, that each pinion, of what number soever, ought to raise its precise portion of degrees, in order to operate in the most uniform manner possible its required revolutions; consequently, each tooth of a pinion of six must raise the  $60^\circ$  which form the aperture of its angles.

§ 21. Let us suppose this pinion to have one line diameter, and the wheel which turns it to have 10 lines and 72 teeth; then if, instead of a line which is the due  
size

dernier est fixé par la nature soit par la loi de la pesanteur, et que ses vibrations s'exécutent dans le rapport inverse des racines carrées des longueurs du pendul, qui doit n'avoir ni plus ni moins que 36 pouces 8 et  $\frac{4}{5}$ es de lignes depuis le point de sa suspension jusques au centre de la lentille, &c.

§ 20. Nous avons déjà dit que chaque pignon, de tel nombre que ce soit, doit lever la portion précise de degrés pour opérer le plus uniformément possible ses révolutions requises, par conséquent chaque aile d'un pignon de 6 doit lever les  $60^\circ$  qui forment l'ouverture de ses angles.

§ 21. Supposons ce pignon d'une ligne de diamètre et la rouë qui forme son engrenage de 10 lignes et de 72 dents, alors si au lieu d'une ligne qui est la  
juste

size of the pinion, we give it the twelfth of a line more (which, according to the rule of common measures, would be imperceptible, since there is often much more distance between the extremities of two opposite systems) it is evident, that upon every twelve revolutions there would be one wrong, consequently such a wheel of 12 revolutions would, according to the right rule, instead of 72 teeth require only 66.

§ 22. If then a pinion of six, instead of raising  $60^\circ$ , should raise  $65^\circ$ , there will not only be  $30^\circ$  in every revolution of a pinion entirely lost with respect to the expense of the moving force, but the extraneous frictions go on in a continued progression, *ad infinitum*, till a stoppage ensues, and this sometimes after a long series of irregularity from the very beginning; a thing not at all surprizing,

---

juste grosseur de ce pignon, on lui donne une douzième de ligne de plus (qui selon la règle des communes mesures seroit imperceptible puis-qu' entre les deux extremités de diverses opinions et systèmes, il y a beaucoup plus d' écart encore) il est évident que sur 12 révolutions il y en auroit une de mécompte, soit une fois de son diamètre, par conséquent une telle rouë de 12 révolutions au lieu de 72 dents, n'en exigeroit par la bonne règle que 66.

§ 22. Si donc un pignon de 6 au lieu de lever les  $60^\circ$  en leve  $65^\circ$ , il y aura  $30^\circ$  par chaque révolution du pignon, non seulement en pure perte quand à la dépense de la force motrice, mais les frottemens étrangers soit arcboutemens s'augmentent toujours par progression à l'infini jusques à ce que l'arrêt s'en suive, et quelque fois après une longue suite d'irrégularités depuis sa naissance; on ne s'en

prizing, if one considers the defectuousity of the principles upon which the greater part of these machines are constructed.

§ 23. Let us reckon only  $2^\circ$  more of rise *per* tooth, we shall find between the four pinions (that of the center of 10, and the three of 6)  $8780^\circ$  *per* hour, which in 30 hours form a sum of lost labour for one complete hour.

§ 24. Who does not see that such an irregularity in the combination of a machine intended to measure time must be the more prejudicial, from the impossibility there is of establishing any fixed rule with respect to a just and indispensable relation between the movers and their reciprocal actions.

§ 25. A pinion which is too small in proportion of the diameter and division of the wheel will not be able to raise

étonnera pas, si l'on considère la défectuosité des principes suivant lesquels la plupart de ces machines d'horlogerie sont construites.

§ 22. Que l'on compte seulement deux degrés de levée par aile de plus, on trouvera entre les 4 pignons (celui du centre de 10 et les 3 autres de 6)  $8780^\circ$  par heure, ce qui forme dans 30 heures une somme de peines perdues, pour une heure complete.

§ 24. Qui ne sent qu'un tel écart dans la combinaison d'une machine destinée pour mesurer le temps, doit être d'autant plus préjudiciable que l'on ne sauroit jamais établir aucune règle fixe, en faveur d'un juste et indispensable rapport, entre les mobiles et leurs actions reciproques.

§ 25. Un pignon trop petit en raison du diamètre et de la division de la roue

raise the required degrees, because the aperture of its angle does not answer to that of the teeth of the wheel: for instance, a pinion of 6, which is  $\frac{7}{12}$ ths of a line smaller than the true rule makes it, will raise only  $55^\circ$ , when the tooth of the wheel has carried the tooth of the pinion as far as its extremity on the aperture of its angle allows, it is forced to leave it before the tooth which follows is come to the same place from whence the other falls off, consequently it falls  $5^\circ$  which are wanting to its just rise; this is what occasions the precipitations of the balance, which are so disagreeable to the ear, that one is in much greater haste to correct them than to prevent the retardations which, no doubt, arise from the other extremity; that is being obliged to make a forced rise, or a greater one than the true proportion of the diameters requires,

ne pourra lever les degrés requis, parce que l'ouverture de son angle ne répond point à celui des dents de la rouë; par exemple, un pignon de 6 de  $\frac{7}{12}$  de ligne plus petit que la véritable règle le fixe, ne levera que  $55^\circ$ , la dent de la rouë ayant mené l'aile du pignon aussi loin que son extrémité ou l'ouverture de son angle le permet, est obligé de l'abandonner avant que l'aile suivante arrive à la même place d'où l'autre est parti soit de la ligne des centres, il fait par conséquent une chute de  $5^\circ$  qui manquent à sa juste levée, c'est ce qui cause les précipitations du balancier qui choquent si fort l'oreille. C'est pourquoi on est beaucoup plus pressé à les corriger qu'à prévenir les lenteurs, qui sans doute proviennent de l'autre extrémité, parce qu'étant obligé de faire une levée forcée ou plus grande que le juste rapport des diamètres exige, ils éprouvent un contraste ou

quires, they meet with an opposition occasioning this slowness infinitely more prejudicial than the precipitations.

§ 26. The difference then which there is between a pinion that is too large, and one that is too small, is, that the first will occasion irregularities, but never a stoppage; whereas the latter will produce both the one and the other: consequently, if one had no choice between these extremities of error, it would be better to declare in favour of the smallest.

§ 27. Might it not with justice (as an ingenious clock-maker observes) be objected to us, how useless a thing it is to determine the right proportion in the relation of the diameters, whilst the same defect of proportion subsists in a much higher degree in the general inequality  
of

arcboutement qui occasionne cette lenteur, infiniment plus préjudiciable que les précipitations.

§ 26. La différence donc qu'il y a entre un pignon trop petit ou trop gros est telle, que le premier causera bien des irrégularités mais jamais d'arrêts, au lieu que le dernier produira l'un et l'autre, par conséquent si l'on n'avoit d'autre choix que ces deux extrémités de vices, il vaudroit mieux se déclarer en faveur du plus petit.

§ 27. Ne seroit on pas fondé (comme le remarque un horloger de génie) à nous faire la légitime objection, de l'inutilité qu'il y a à déterminer la juste proportion dans le rapport des diamètres, tandis que le même vice de la disproportion subsiste à un plus haut point encore, dans l'irrégularité générale de la division des

of the division of the wheels which in our day has been carried to the height? I answer, that to form to one's self a right idea of the important consequences of a true or false division of the wheels, it will be necessary first to enter into rather a greater discussion.

§ 28. The true and just division of wheels and pinions is, that all the teeth should be at perfectly equal distances from each other, or at least divided into so many perfectly equal parts, which is the same thing.

§ 29. Consequently, a wheel of 60 teeth forms 60 angles of  $6^\circ$  of overture each; if then, for instance, these 60 angles are open at different degrees, that is to say, one half only at  $4$  or  $5^\circ$ , it is necessary that the other half should be intermixed or opened at  $7$  or  $8^\circ$ ; we must remember that each angle of the wheel, no matter what  
number

roués, qui aujourd'hui est portée à son comble; nous répondons que pour se former une juste idée des conséquences importantes de la vraie ou fautive division des roués il conviendrait au-paravant d'entrer dans un détail un peu plus considérable.

§ 28. La vraie et juste division des roués et des pignons est que toutes les dents ou ailes doivent être à des distances parfaitement égales l'une de l'autre, ou bien divisées en autant de parties parfaitement égales, ce qui est la même chose.

§ 29. Une rouë de 60 dents, forme conséquemment 60 angles de six degrés d'ouverture chacun, si donc par exemple ces 60 angles sont ouverts à différens degrés, c'est à dire la moitié seulement à  $4$  et  $5^\circ$ , il faut nécessairement que l'autre moitié soit entremêlée ou de suite ouverte à  $7$  or  $8^\circ$ ; l'on doit se rappeler

number upon a pinion of six, must operate in a mutual proportion the  $60^\circ$  of rise by which the angle of the pinion is open; from whence it happens, that the angles of the wheel, open only at  $5^\circ$ , will raise only  $60^\circ$  above those of the pinion; but, if they are open at  $7^\circ$ , the rise will be of  $70^\circ$  instead of  $60^\circ$ .

§ 30. There are likewise a great number of defects which are increased two and three-fold by the usual consequences attending wheel-engines, the small tooth of which is constantly exposed to become shorter than the large ones, in proportion of its size. This happens in the following manner; the file, which is to round off, working on each side equally, does not take more from the side of the large tooth than it does from the small; consequently, the small one is sharp whilst the large one  
still

que chaque angle de la rouë n'importe de quel nombre sur pignon de six doit opérer en mutuelle proportion les  $60^\circ$  de levées dont l'angle du pignon est ouvert; d'où suit que les angles de la rouë seulement ouverts à  $5^\circ$ , n'opereront que  $50^\circ$  sur ceux du pignon, mais que s'ils sont ouverts à  $7^\circ$  la levée sera de  $70^\circ$  au lieu de  $60^\circ$ .

§ 30. Je ne parlerai pas d'un concours de vices qui se double et se triple par l'effet ordinaire des outils aux dentures, ou la petite dent est exposée à devenir toujours plus courte que les grosses, en raison de sa petitesse; cela arrive de cette maniere, la lime à arrondir mordant des deux côtés également; n'emporte par plus d'etoffe du côté de la grosse que de la petite dent, par conséquent il y a encore du plat sur la grosse que la petite est déjà pointue, il faut nécessairement

still continues flat, one must therefore shorten the small tooth in proportion to the size of the larger.

§ 31. When the teeth were used to be finished by hand, there was great care taken to keep all the teeth of the same length, even when it was impossible in irely to correct or take off their inequality: in consequence of this care, the wheel at least used to be always perfectly round; whereas when the tool is used, the wheels are unavoidably as ill-rounded as they are unequal in their divisions, so that the teeth ought never to be finished with the tool, unless they are thoroughly equally cut.

§ 32. It is therefore easy to conceive, that the pinion becomes sometimes too large, and sometimes too small, upon the same unequal wheel, and that the angle of the  
tooth

raccourcir la petite dent dans la même proportion qu'il y a plus de matière à la grosse.

§ 31. Lors qu'on finissoit les dentures à la main on s'attachoit soigneusement à tenir toutes les dents de la même longueur, même lors qu'on ne pouvoit corriger ou remédier efficacement à leur inégalité; la rouë par cette precaution se trouvoit du moins toujours parfaitement ronde, au lieu qu'à l'outil les rouës deviennent inévitablement aussi mal rondes qu'elles sont inegales dans leurs divisions; en sorte que l'on ne devoit jamais finir les dentures à l'outil à moins qu'elles ne fussent fendue parfaitement égales.

§ 32. Il est donc aisé de comprendre que le pignon devient tantôt trop gros et tantôt trop petit sur la même rouë inégale et très souvent à l'excès et que l'angle de  
de



tooth of  $60^\circ$ , being more or less open, produces an error of 10 degrees on the true rise of the pinion.

§ 33. Let the arbitrary general practice be what it will, certain it is, that neither the degree of depth of the wheel and pinion, nor the fulness, nor the size of the wheel, can establish any principle analogous to the harmony and perfect agreement of the movers we are talking of, to wit, the true size of the pinion; even the most perfect geometrical curve, supposing it practicable, could not make the pinion raise a minute more or less in degrees, without a just proportion of their reciprocal diameters.

§ 34. It is therefore impossible to use too much attention in considering the relations and proportions of the different movers which act by levers and wheel and pinion,  
fince

de la denture de 60 ouvert d'une degré de plus ou de moins, produit un écart de  $10^\circ$  sur la juste levée du pignon.

§ 33. Quoi qu'il en soit du système arbitraire et de la routine générale, il n'y a ni le fort ni le foible des engrenages, ni le plein ni le vuide, qui puisse établir aucun principe analogue à l'harmonie et au parfait accord des différens mobiles en question, soit la juste grosseur d'un pignon, la courbe géométrique même la plus parfaite (quand elle seroit praticable) ne sauroit non plus faire lever au pignon une seule minute en degrés de plus ou de moins sans le juste rapport de leurs diamètres reciproques.

§ 34. On ne sauroit donc assés prendre en considération la partie des rapports et des proportions des différens mobiles agissans par leviers et par engrenages;  
puis

since these are the most essential objects of clock-making.

§ 35. This rule arising from the center of the moveables themselves, for the which it is principally used, it is right to deduct one revolution of a pinion, in consequence of the just balance or perfect equilibrio between them; whence it follows, that the retrenching a complete revolution of the pinion will take place only at the seventh, or at forty-two, which seventh too strictly speaking is only the sixth, since the first revolution ought not in fact to be reckoned, being supposed to be in equilibrio with its associate, the wheel of the same number and same diameter; for the pinion making seven revolutions for one of the wheel, one may say with reason, that one active revolution of the wheel will make seven passive ones of the pinion, and deducting that of the wheel, the effectual

---

puis que ce sont les objets les plus essentiels de l'horlogerie.

§ 35. Cette règle sortant du centre des mobiles mêmes qui sont le principal objet de son usage, il est de l'ordre de déduire une révolution du pignon en raison de la juste balance, ou du parfait equilibrio entr'eux, d'où il suit que le retranchement d'une révolution complète du pignon n'aura lieu qu'à la septième soit à 42. qui cependant à bien compter n'est que la 6<sup>e</sup> puis que la première révolution ne doit point entrer en ligne de compte, étant censée faire équilibre avec sa contre la rouë du même nombre et du même diamètre, car le pignon faisant sept révolutions pour une de la rouë, on peut dire avec raison qu'une révolution active de la rouë en opère sept passives du pignon, et en déduisant celle de la rouë, les révolutions.

tual revolutions of the pinion remain at six instead of seven, or else we must consider the revolutions of the wheel with those of the pinion as one to seven, of which the just result is six.

§ 36. If then one wishes to know what the just deduction required amounts to in every case, one need only divide the apparent diameter of the pinion by the number of its teeth, and the quotient will be the just portion for each of its revolutions, which consequently upon six, makes the sum of the entire diameter of the pinion of six, as is proved by the annexed table.

§ 37. In case of necessity one might consider the revolutions under two points of view; the first of them as active, and the other as passive.

The

révolutions effectives du pignon restent à 6 au lieu de 7, ou bien il faut considérer les révolutions de la rouë avec ceux du pignon comme un à sept et dont le juste resultat est six.

§ 36. Si donc on veut savoir à quoi se monte dans tous les cas la juste déduction requise, il ne s'agit que de diviser le diamètre apparent du pignon par le nombre de ses ailes et le quotient fera la juste portion pour chacune de ses révolutions, qui par conséquent sur six fait la somme du diamètre entier dont le pignon de six se trouve revêtu, ainsi que le calcul de la table cy jointe en fait voy.

§ 37. Au besoin on pourroit envisager les révolutions sous deux points de vuë; savoir les premières comme passives et les secondes comme actives.

1°. Les

The former such as regard the duration of the motion or quantity of the vibrations.

The others, whose object is solely the constant proportion of the diameters of the movements in agitation.

§ 38. In the first case one reckons for a revolution of the pinion as many times as it is contained in the number of the teeth of the wheel; this mode of reckoning it is well known is absolutely necessary for obtaining the required conclusion.

§ 39. The same is not true with respect to the latter case, in which the revolutions of the pinion are only reckoned to fix the true proportions of their respective diameters.

§ 40. The harmony required between the two movers is the same as if they had contracted a perpetual alliance,

1°. Les révolutions qui ont pour objet la durée du mouvement ou la quantité des vibrations.

2°. Celles qui ont uniquement pour objet les constants rapports des diamètres entre les mobiles en question.

§ 38. Dans le premier cas l'on compte pour révolution du pignon autant de fois qu'il est contenu dans le nombre des dents de la rouë; cette manière de compter est comme l'on sçait indispensable pour obtenir le resultat qu'on demande.

§ 39. Mais il n'en est pas de même du dernier cas où les révolutions du pignon ne se comptent que pour fixer les justes rapports de leurs diamètres reciproques.

§ 40. L'harmonie requise entre les deux mobiles en question est telle que s'ils avoient contractés une alliance perpétuelle à se maintenir mutuellement dans le

ance, to hold constantly the same proportion towards each other, just as if they were always in perfect equilibrio.

§ 41. However it be that this centrifugal law seems to adapt itself to the use one desires to make of it, it is not the less fixed and permanent; nor can it ever occasion the least error, provided only that the wheel pays its periodical tribute of deduction in favour of the pinion; in that case it will be equally in the same proportion at the end of one revolution and of a hundred thousand.

§ 42. In a word, the whole mystery of this golden rule is comprised within the true and the apparent diameter of the pinion; whence it follows, that the deduction positively required is exactly the excess of the apparent diameter above the true one; a deduction which for  
a pinion

même rapport (moyennant un certain retranchement) tout comme s'ils étoient toujours dans leurs parfaits équilibres.

§ 41. Quoique cette règle centrifuge paroisse s'accorder à l'usage que l'on en veut faire, elle n'est pas moins droite et permanente et ne peut jamais induire dans la moindre erreur, pourvu toutefois que la rouë paye son tribut périodique (soit de déduction) en faveur du pignon, elle se trouvera alors aussi bien dans le même rapport au bout de cent mille révolutions qu'elle l'étoit à la première.

§ 42. Enfin l'on saura que tout le mystère de cette règle d'or, consiste entre le diamètre vrai et le diamètre apparent du pignon, d'où il suit que cette déduction absolument requise est positivement la portion dont le diamètre apparent excède  
du

a pinion of fix is a sixth part of its diameter; for one of seven, a seventh; for one of eight, an eighth; for ten, a tenth; for twelve, a twelfth, and so on of all the moveables serving for pinions. What is meant by a pinion in watch-making is that moveable which is set in action by another of a greater number of teeth, and communicates its motion successively to the last of them; hence all the pinions relatively to the shape of the teeth of the wheels and pinions require an addition of the true diameter, and that is what is properly called the apparent diameter.

§ 43. We must, however, except the rochet pinions, because the whole primitive radius nearly as far as the extremity of the tooth is run over by the point of the tooth, which is of a rochet form, as well as the tooth of the pinion. But whatever advantage these

rochet

du vrai, déduction qui pour pignon de fix est la sixième partie de son diamètre, pour pignon de 7 la 7<sup>e</sup>, pour 8 la 8<sup>e</sup>, pour 10 la 10<sup>e</sup>, pour 12 la 12<sup>e</sup>; ainsi du reste de tous les mobiles servant de pignon; l'on entend dans l'horlogerie par le mot de pignon, ce mobile qui est actionné par un autre plus nombreux, et qui communique successivement le mouvement, jusqu'au dernier des mobiles; ce qui fait que tous les pignons, relativement à la nature des engrenages, exigent un excédent du diamètre vrai, que l'on peut nommer à juste titre, le diamètre apparent.

§ 43. Toutes fois, il en faut excepter les pignons à rochet, parce que tout le rayon primitif, jusqu'à l'extrémité de l'aile a très peu de chose près est parcouru par la pointe de la dent également formée en rochet tout comme l'aile du pignon;

rochet pinions seem to offer themselves with, in consequence of a theory founded upon the advantage of the uniformity of the frictions, experience teaches that, independently of the difficulty there is in the execution, this sort of pinion is much more vicious than the other; it is consequently quite out of use.

§ 44. I think it not at all requisite to answer the vague objections which the friends of the arbitrary method may support their system by: it is enough for me, that almost all watch-makers are agreed upon the fulness of different pinions, and on the form of their teeth, to leave the necessary strength and consistence, which, for a pinion of six, comes to nearly a sixth part of the diameter; for one of seven, to a seventh; one of eight, to an eighth;

one

---

mais avec quelque avantage que ces pignons à rochet se présentent à notre idée fondée même sur une théorie bien raisonnée en faveur de l'uniformité des frottemens, l'expérience nous démontre, outre la grande difficulté dans l'exécution, que cette sorte de pignon est beaucoup plus vicieuse que les autres; aussi n'en fait on presque plus d'usage.

§ 44. Nous nous estimons très dispensé de répondre ou de combattre toutes les objections vagues, que les partisans de l'arbitraire pourroient alléguer en faveur de leur système; il suffit que presque tous les horlogers sont d'accord sur le point de vuider des différens pignons et sur la forme de leurs ailes, pour en laisser la force et consistence nécessaire qui se réduit pour pignon de 6 à très peu de chose près à la 6<sup>e</sup> partie de son diamètre; pour pignon de 7 à la 7<sup>e</sup>; pour 8 à la 8<sup>e</sup>;

pour

one of ten, to a tenth, &c. The most ordinary workman is able to judge at first sight, whether the pinion is deep and open to the center as it ought to be, and if the wheels are of a proper flatness, &c.

§ 45. And though there should be some little variation as of six to six and a half, and from six to five and a half *per* tooth of a pinion of six; this difference, though very striking to the sight, would not either increase or diminish the apparent diameter by even a forty-eighth, whence strictly speaking there would only be a twenty-fourth part of a tooth, more or less, which would raise about two-thirds of a degree *per* tooth, so that one may in fact look upon all objections of this nature as being as vague as they are groundless.

§ 46.

pour 10 à la 10°, &c. Vu que le plus simple ouvrier en ce genre est assez habile pour juger du premier coup d'œil, si un pignon est enfoncé et vidé à son point, et si les ailes sont bien formées en planches, &c.

§ 45. Quand il y auroit même quelque petit écart comme de 6 à 6½ et de 6 à 5½ par aile, d'un pignon de six, cette différence, quoi que très frappante à la vue, n'augmenteroit ni ne diminueroit son diamètre apparent, pas seulement d'un 48° d'où il résulteroit à toute rigueur seulement la 24° partie d'une dent de plus ou de moins qui opéreroit environ ⅔ de degré de levée par aile; de sorte que l'on pourroit judicieusement envisager les objections de cette nature comme aussi vagues qu'inconvenantes.



§ 46. I shall not stop to give lessons upon the fixing of the true point of the depth, because every workman or finisher must know from the first elements of this theory, that the right depth must begin upon the tooth which divides the line of center; that is, that in every case, whether of two small or two large pinions, one must look for the middle of the two extremities, and fix the point of their depths, when these two movers run the most easy. Let only, I say, this same method be pursued with respect to pinions of just size, by carrying on the deepthening a little too far till one perceives a small fall, and then carrying it to a distance again to make this fall disappear, all the requisites for a good and perfect deepthening will be found united; for the pinion being in the due proportion with its tooth, the lead or depth  
can

---

§ 46. Je ne m'arrêterai point ici pour donner des leçons sur la fixation du vrai point des engrenages, puisque chaque ouvrier soit finisseur doit savoir ce la par les premiers élémens de cette théorie que l'attouchement ou la menée doit commencer sur l'aile partageant la ligne des centres, en suivant même leurs marottes ordinaires; c'est à dire qu'on doit chercher dans tous les cas soit pour pignons trop petits, le milieu des deux extrémités et fixer leurs points d'engrenages ou ces deux mobiles roulent le plus doux; que l'on suive dis-je, seulement la même méthode à légard des pignons de justes grosseurs en poussant l'engrenage un peu trop en avant jusques à ce que l'on s'apperçoive d'une petite chute, et en l'éloignant ensuite pour faire disparaître cette chute; toutes les conditions d'un bon et parfait engrenage s'y trouveront réunies, car le pignon étant dans son vrai rapport, avec  
la

can only begin successively upon the central line, as likewise the operation of the rise in so many required degrees between these two moveables, the proof of which may be evidently demonstrated by the instrument made with two parts of a circle, in which the arc of the rise, run over by each of the movers, is distinguishable to one half, one quarter, and even one eighth of a degree. It would certainly be superfluous to point out the manner of operating with such a machine, since all those who have any notion of the method of using mechanical and mathematical instruments will immediately see what is meant.

§ 47. But should any body doubt of the reality, the utility, or the importance of this rule, the means of satisfaction are offered by the experiment of the degrees of rise

a roué, l'attouchement, ou la menée ne peut du moins que commencer successivement sur la ligne centrale, ainsi que l'opération de la levée en autant de degrés requis, entre ces deux mobiles, dont la preuve se peut démontrer d'une manière évidente par l'instrument à deux portions de cercle, ou l'arc de levée parcouru par chacun des mobiles, se distingue jusqu'à  $\frac{1}{2}$ ,  $\frac{1}{4}$ , et même à  $\frac{1}{8}$ , d'un degré près; il seroit sans doute très superflu d'indiquer la manière d'opérer sur la dite machine, car toutes les personnes qui auront quelque connoissance et quelque pratique des instrumens de mécanique ou mathématique verront au premier coup d'œil de quoi il s'agit.

§ 47. Au reste si quelqu'un vouloit revoquer en doute la réalité, l'utilité, et l'importance de cette règle, on offre les moyens à tous ceux qui le désireront, d'en

rife required. This will convince every body, as it has convinced the author, who both looks upon this operation as the best touch-stone, and considers it as an axiom equally new and easy for the resolution of a problem which has been an object of debate amongst watch-makers for above a century.

§ 48. The author thinks too, that this rule is applicable to all pinions whatsoever. The pinion of six has been chosen for the experiments, as incontestibly the most vicious; so vicious that, in my opinion, it deserves the fate of the pinion of five, especially for very good watches, which perhaps will be still better made out when one comes to know the gradual difference there is  
between

faire l'expérience par les degrés de levées requis; pour s'en convaincre indubitablement tout comme l'auteur, qui estime à juste titre cette opération comme la meilleure pierre de touche et même qui la regarde comme un axiome aussi facile que nouveau, pour résoudre sans réplique un problème qui depuis plus d'un siècle a fait un objet de débat et de contestation dans l'horlogerie; par ce que l'incertitude des vrais principes a été une suite presque générale jusques à nos jours 1777; ainsi que l'expérience le démontre évidemment.

§ 48. L'auteur pense au reste que cette règle est applicable à tous les nombres et pignons quelconques; et pour plus grande sûreté de preuve dans les différentes expériences, l'on a choisi le pignon de six comme étant sans contredit le plus vicieux, ou le moins avantageux de tous les autres; aussi à mon avis mériteroit il le même sort que le pignon de cinq, sur tout pour des montres de qualité, ce qui se verra peut-être dans son temps quand on connoîtra la différence graduelle qui

between each pinion, which will be amply proved by some experimental observations of some friends of mine on the theory and practice of watch-making in general.

§ 49. I will not, however, pretend that my instrument is not still capable of several useful improvements.

§ 50. But I submit the rule, together with the compass of proportion, to all ingenious and well-informed persons, either for approbation or full confutation of my sentiments.

§ 51.

---

se trouve entre chaque pignon et qui sera amplement détaillée dans les observations expérimentales de MM. L.C. et P. sur la théorie et sur la pratique de l'horlogerie en général.

§ 49. Malgré des preuves aussi authentiques et aussi convaincantes de la réalité de mon susdit exposé, je n'oserois cependant pas dire que la machine ne soit pas susceptible d'une plus grande perfection et de diverses additions avantageuses.

§ 50. En attendant on soumet, avec une sincère confiance cette règle ainsi que le compas de proportion, qui dans tous les cas lui sert de démonstrateur et de rapporteur fidèle, à l'examen des personnes éclairées qui peuvent en être juges compétens, pour en obtenir l'approbation en faveur des vrais principes, et pour exciter l'émulation si nécessaire dans l'horlogerie ; Si au contraire cette approbation n'a pas lieu, on demande une refutation en bonne et due forme.

§ 51. And though the use of the compass extends to a great multiplicity of objects, I have only mentioned the most interesting ones with regard to watch-making. Observe that each pinion has its particular division upon the branches of the instrument, and that each column is directed by the number of pinions from six to twelve.

§ 52. The line or moving branch, which crosses the two branches of the compass, is divided according to the French foot in inches, lines, &c. to a 48th or 36th of a line; so that one may know at one and the same time both the true proportion of the different diameters, and their precise sizes. If one wishes to know the size of a wheel for a pinion of a given thickness, one puts the pinion

---

§ 51. Quoique l'usage de notre fusdit compas s'étende sur une multitude d'objets, on a seulement cité les plus intéressans relativement à l'horlogerie; on observera que chaque pignon a sa division particulière sur les branches de la machine et que chaque colonne est dirigée par le nombre des pignons depuis 6 jusques à 12.

§ 52. La ligne ou branche mouvante qui croise les deux branches du compas porte la division du pied de Roi, en pouces, lignes, &c. jusques à un 48<sup>e</sup> ou 36 douzièmes de ligne, car une ligne à la machoire donne un pouce sur la dite division du pied; en sorte que l'on peut savoir tout d'un tems et le juste rapport des différens diamètres et leurs grandeurs précises, &c.; si l'on veut savoir la grandeur d'une rouë pour pignon d'une grosseur donnée: on fait entrer le pignon juste entre les

tion between the jaw, and one carries the divider to the number of teeth which the wheel must have and the division of such a pinion indicates, then putting the divider of the other branch facing the aperture of this angle will indicate the just size of the wheel: for instance, if I have a pinion of six, and want to know what must be the thickness of a wheel of sixty teeth, relatively to the proportion of the said pinion, I take the just measure of the pinion by the jaws, and put the divider upon 60 of the column or division of the pinion of six, and the other divider facing, then the aperture between the points of the divider, is the size of the wheel. The same operation takes place in all the other pinions, according to their numbers, with this proviso, that you must do the reverse  
when

deux machoires ou pinces et on mène le coulant sur le nombre des dents que la rouë doit avoir et que la division d'un tel pignon indique; et en mettant le coulant de l'autre branche vis à vis, l'ouverture de cet angle indiquera la juste grandeur de la rouë; par exemple, si j'ai un pignon de six et que je veuille savoir de quelle grosseur une rouë de 60 dents doit être relativement au rapport du dit pignon, je prends la mesure juste du pignon, par les machoires, et je mets le coulant sur 60 de la colonne soit de la division du pignon de six, et l'autre coulant vis à vis, alors l'ouverture entre les deux becs des coulans est la grandeur de la rouë; la même opération a lieu pour tous les autres pignons selon leurs nombres; bien entendu qu'il faut faire l'opposé lorsqu'on a une grandeur de rouë donnée et

when the size of the wheel is given, and you want to know the thickness of the pinion. The same thing holds for the measure of the vargeous palets, the balance wheel, the cylinder and its wheel, the fusée and barrel, the pivots, and, generally speaking, whatever requires dimension.

§ 53. In order to find immediately the true proportion between the slide wheel and the curb, you must put the slide wheel upon the number you wish it to have of the division of the pinion of six; afterwards (without moving the head of the compass) you separate the moveable dividers till the wheel of the curb is exactly upon it, and it is on the number of the division of the pinion of six, indicated by the divider, that the curb must be slit.

§ 54. One must observe, that the divisions of the pinions of ten and twelve is the same upon the two branches;

que l'on veut savoir la grosseur du pignon; il en est de même pour la mesure des palettes de verges, de la rouë de rencontre, du cylindre et de sa rouë, de la fusée et barillet et des pivots, et généralement de tout ce qui exige dimension.

§ 53. Pour trouver aussi tôt le juste rapport entre la rouë de rosette sur le rateau soit la coulifferie, il faut mettre la rouë de rosette sur le nombre que l'on souhaite qu'elle aie, de la division du pignon de six, ensuite (sans bouger la tête du compas) l'on éloigne les coulants jusques à ce que la rouë de rateau s'y trouve juste, et c'est sur ce nombre de la division du pignon de six que le coulant indique, que le rateau doit être fendu.

§ 54. Il faut observer que la division pour pignon de 10 et de 12 est de même  
sur

branches; this is done the more easily to put the two sliders facing each other in all cases.

When one wishes to measure pieces which are larger than the aperture of the jaws allows, one puts the sliders on the edge of the small points when there is a hole in the middle of the branches where the aperture of the angle is only a sixth part of the division of a foot, that is, if the angle upon the division of the foot is six inches open, that of the middle will be only one inch and so on.

§ 55. As to the other machine of brass, with two portions of a circle divided as far as half a quarter of a degree, one may with the greatest precision verify upon it the true proportion or thickness of the pinions by the degrees of rise required by making the different wheels  
from

sur les deux branches, et cela pour mettre plus facilement dans tous les cas les coulans parfaitement vis à vis.

Lorsqu'on voudroit mesurer quelques piéces plus grande que l'ouverture des machoires ne le permet, on met les coulans sur le bord des petits points ou il y a un trou au milieu des branches ou l'ouverture de son angle n'est que la sixième partie de celui de la division du pied; c'est à dire si l'angle sur la division du pied est ouvert à six pouces, celui du milieu ne le sera qu'à un pouce, ainsi du reste.

§ 55. Quant à l'autre machine en leton à deux portions de cercle divisée jusques à un demi quart de degré; l'on peut y vérifier avec la plus grande précision, le juste rapport des pignons soit grosseur par les degrés de levées requises,



from 12 to 120 operate upon the same pinion the degrees of rise required. These wheels exactly follow the dimensions of the rule we are speaking of. Nobody will doubt but that the same experiments upon all the other pinions will be equally demonstrative and convincing as those upon the pinion of six.

§ 56. This machine may be likewise useful in determining with great precision the figure of the curve of the teeth of the wheels, that is, by placing the additional semi-circle upon the center of the wheel, and putting a needle upon the axis, one will observe, if the needle of the pinion of six goes regularly through the ten degrees whilst that of the wheel is going through one only; if not, one will see very distinctly the irregularity of the curve,

et principalement pour se convaincre de la réalité de nôtre susdite règle, en faisant opérer les différentes rouës depuis le nombre de 12 jusques à 120 sur le même pignon les degrés de levées requis; ces rouës suivent exactement les dimensions de la règle en question; on ne doutera sans doute pas que les mêmes expériences sur tous les autres pignons ne seroient pas moins démonstratives et convaincantes que celles sur le pignon de six.

§ 56. Cette machine peut encore servir pour déterminer avec une grande précision la vraie figure de la courbe des dents de la rouë sçavoir en posant le demi cercle postiche sur le centre de la rouë, et en mettant une aiguille sur l'axe ou l'arbre; on observera si l'aiguille du pignon de six parcourt régulièrement les dix degrés pendant que celle de la rouë n'en parcourt qu'un, si non on verra très distinctement la difformité de la courbe pour lui donner la forme requise, pour opérer

curve, in order to the giving it the requisite form uniformly to operate the degrees of rise upon the teeth of the pinion, which comes very nearly to the geometrical curve, the operations of which are not to be understood by all watch-makers as this instrument may be.

§ 57. Every body sees that the curve of a wheel of 120 teeth must naturally be one half shorter than that of one of 60, since it goes only through three degrees whilst the tooth of the pinion goes through 60. The same holds in every case in which the curve of the tooth must be figured, according to the degrees it goes over in its axis, to operate upon the wheel of any pinion whatever that arc of the rise the most uniformly possible, and in order to join these advantages to others still more considerable, it will be useful to make use of wheels and pinions

opérer avec uniformité les degrés de levées sur l'aile du pignon, ce qui revient à peu de chose près à la courbe géométrique dont les opérations ne sont pas de la compétence de tous les horlogers comme le seroit cet instrument.

§ 57. On sent bien que la courbe d'une rouë de 120 dents doit être naturellement plus courte de la moitié que celle de 60 puis qu'elle ne parcourt que 3° pendant que l'aile du pignon en parcourt 60; &c. Il en est de mêmes dans tous les cas où la courbe de la dent doit être figurée selon les degrés qu'elle parcourt sur son axe pour opérer sur l'aile d'un pignon quelconque, l'arc de levée le plus uniformément possible; et pour réunir ces derniers avantages à d'autres plus considérables encore, il convient de faire usage des pignons et rouës aussi nombreuses que

nions with as great a number of teeth as the greatness of the caliber permits. By this means one not only comes nearer the true geometrical curve; but one reduces the resistance and pressure upon the axis of the moveable to the least term possible.

§ 58. As to the true point of the opening of the teeth, this is my rule. I take rather a soft file, in thickness six and a quarter of its diameter for a pinion of six, seven and a quarter for one of seven, eight and a quarter for one of eight, ten and a quarter for one of ten, twelve and a quarter for one of twelve, and so on; and I believe that this rule may be the easiest for the preservation both of the best figure of the curves and the necessary force of their teeth. Just as the thickness of the teeth of a pinion of six must be the sixth part of its diameter; that  
of

que la grandeur du calibre le permet; par ce moyen on s'approche non seulement de la vraie courbe géométrique, mais on réduit encore la résistance et la pression sur l'axe des mobiles au moindre terme possible.

§ 58. Quant au juste point de vuilage de la denture des roues de tel nombre et grandeur quelconque, voici ma règle: je prends une lime ou fraise pas trop rude de l'épaisseur pour pignon de six, la 6<sup>e</sup> et  $\frac{1}{4}$  de son diamètre; pour 7 la 7<sup>e</sup> et  $\frac{1}{4}$ ; pour 8 la 8<sup>e</sup>  $\frac{1}{4}$ ; pour 10 la 10<sup>e</sup>  $\frac{1}{4}$ ; pour 12 la 12<sup>e</sup>  $\frac{1}{4}$ ; ainsi du reste pour tous les autres; et je crois que cette règle pourroit être la plus facile et la plus analogue pour la conservation et de la meilleure figure des courbes et de la force nécessaire de la denture, tout comme l'épaisseur des ailes d'un pignon de 6 doit

of the pinion of seven, a seventh; one of eight, an eighth; and so on, for any number of pinions whatever. Just in the same manner as the length of the teeth of the wheel, which shall be exactly the aperture of their angles, or (which comes to the same) half the diameter of its pinion of six, three sevenths for a pinion of seven, three eighths for one of eight, three tenths for one of ten, three twelfths, or a quarter, for a pinion of twelve, and so on

§ 59. To observe a still more regular order, it would be likewise extremely proper that all the pinions of a watch or repeater, except the centre one, should be of the same thickness; hence will arise many advantages both in the execution of the rough and finished work, which I shall speak more fully of upon some other occasion.

être la 6<sup>e</sup> partie de son diamètre; pour pignon de 7 la 7<sup>e</sup>; pour 8 la 8<sup>e</sup>, ainsi de suite pour tous les nombres de pignons que ce soit. Aussi bien que la longueur des dents de la rouë qui fera positivement de l'ouverture de leurs angles, ou ce qui est la même chose, la moitié du diamètre de son pignon de six les  $\frac{3}{7}$  pour pignon de 7, les  $\frac{3}{8}$  pour 8, les  $\frac{3}{10}$  pour 10, les  $\frac{1}{4}$  soit le quart pour pignon de douze, ainsi de suite.

§ 59. Pour observer d'autant mieux et à tous égards une suite d'ordre, il seroit aussi très à propos, que tous les pignons d'une montre ou répétition (excepté celui du centre) fussent de la même grosseur; d'où résulte divers avantages soit dans l'exécution du brut, soit dans celui du finissage, dont on parlera plus amplement à la première occasion.

T A B L E D E D E D U C T I O N S .

Les deux mobiles en parfait  
équilibre.

Pignons et Roués. 6 et 6		Diam. appa- rent.	Diam. vrai.	Ligne chacun de diamètre.	
		1 ligne.	1 ligne.		
Révolutions passives du pignons.	2	12	24	22	} 2 douzièmes de ligne par revo- lution à déduire.
	3	18	36	32	
	4	24	48	42	6
	5	30	60	52	8
	6	36	72	62	10
	7	42	84	72	— 12 douzièmes.
	8	48	96	82	
	9	54	108	92	
	10	60	120	102	
	11	66	132	112	
	12	72	144	122	
	13	78	156	132	— 24 douzièmes.
	14	84	168	142	
	15	90	180	152	
	16	96	192	162	
	17	102	204	172	
	18	108	216	182	
	19	114	228	192	— 36 douzièmes.
	20	120	240	202	
	21	126	252	212	
	22	132	264	222	
	23	138	276	232	
	24	144	288	242	
	25	150	300	252	— 48 douzièmes de ligne à re- trancher sur une roué de 150 dents soit 24 révolutions effec- tives d'un pignon de fix.
				48	
		300	300		

Dents de la roué.

Pour Pignons de Sept.

Les deux mobiles en parfait équilibre.		Diam. appa- rent.	Diam. vrai.			
Pignons et Roués. 7 et 7		10½	10½	Douz. de ligne de diam. chacun.		
Révolutions passives du pignon.	2	14	21	19½	} 1½ douzièmes de ligne à déduire par révolution.	
	3	21	31½	28½		3
	4	28	42	37½		4½
	5	35	52½	46½	6	
	6	42	63	55½	7½	
	7	49	73½	64½	9	
	8	56	84	73½	— 10½ douzièmes.	
	9	63	94½	82½		
	10	70	105	91½		
	11	77	115½	100½	— 21 douzièmes.	
	12	84	126	109½		
	13	91	136½	118½		
	14	98	147	127½	— 31½ douzièmes.	
	15	105	157½	136½		
	16	112	168	145½		
	17	119	178½	154½	— 42 douzièmes de ligne à re- trancher sur une roué de 203 dents soit 28 révolutions effec- tives d'un pignon de sept.	
	18	126	189	163½		
	19	133	199½	172½		
	20	140	210	181½	42	
	21	147	220½	190½		
	22	154	231	199½	304½	
	23	161	241½	208½		
	24	168	252	217½		
	25	175	262½	226½		
	26	182	273	235½		
	27	189	283½	244½		
	28	196	294	253½		
	29	203	304½	262½		
				42		
		304½	304½			

## Pour Pignons de Huit.

Les deux mobiles en parfait équilibre.		Diam. appa- rent.	Diam. vrai.	de diamètre chacun.	
Pignons et Roués. 8 et 8		1 ligne.	1 ligne.		
Révolutions passives du pignon.	2	16	24	$22\frac{1}{2}$	} $1\frac{1}{2}$ douzièmes de ligne à déduire par révolution.
	3	24	36	33	
	4	32	48	$43\frac{1}{2}$	$4\frac{1}{2}$
	5	40	60	54	6
	6	48	72	$64\frac{1}{2}$	$7\frac{1}{2}$
	7	56	84	75	9
	8	64	96	$85\frac{1}{2}$	$10\frac{1}{2}$
	9	72	108	96	— 12 douzièmes.
	10	80	120	$106\frac{1}{2}$	
	11	88	132	117	
	12	96	144	$127\frac{1}{2}$	
	13	104	156	138	
	14	112	168	$148\frac{1}{2}$	
	15	120	180	159	
	16	128	192	$169\frac{1}{2}$	
	17	136	204	180	— 24 douzièmes.
	18	144	216	$190\frac{1}{2}$	
	19	152	228	201	
	20	160	240	$211\frac{1}{2}$	
	21	168	252	222	
22	176	264	$232\frac{1}{2}$		
23	184	276	243		
24	192	288	$253\frac{1}{2}$		
25	200	300	264	— 36 douzièmes de ligne à re- trancher sur une roue de 200 dents soit 24 révolutions effec- tives d'un pignon de huit.	
			36		
		300	300		

Pour Pignons de Dix.

Les deux mobiles en parfait équilibre.		Diam. apparent.	Diam. vrai.		
Pignons et Roués. 10 et 10		15	15	de diamètre chacun.	
Révolutions passives du pignon.	Dents de la roué.	2	30	$28\frac{1}{2}$	{ $1\frac{1}{2}$ douzièmes de ligne à déduire par révolution.  — 15 douzièmes.   — 30 douzièmes de ligne à re- trancher sur une roué de 210 dents soit 20 révolutions effec- tives d'un pignon de dix.
		3	45	42	
		4	60	$55\frac{1}{2}$	
		5	75	69	
		6	90	$82\frac{1}{2}$	
		7	105	96	
		8	120	$109\frac{1}{2}$	
		9	135	123	
		10	150	$136\frac{1}{2}$	
		11	165	150	
		12	180	$163\frac{1}{2}$	
		13	195	177	
		14	210	$190\frac{1}{2}$	
		15	225	204	
		16	240	$217\frac{1}{2}$	
		17	255	231	
		18	270	$244\frac{1}{2}$	
		19	285	258	
		20	300	$271\frac{1}{2}$	
		21	315	285	
				30	
		315	315		



Pour Pignons de Douze.

Les deux mobiles en parfait  
equilibre.

Pignons et Rouës. 12 et 12		Diam. appa- rent.	Diam. vrai.	Douz. de ligne de diam. chacun.		
		18	18			
Révolutions paffives du pignon.	2	24	36	34½	{ 1½ douzièmes de ligne à retran- cher par révolution.  — 18 douzièmes.  — 36 douzièmes de ligne à re- trancher ſur une rouë de 300 dents ſoit 24 révolutions effec- tives d'un pignon de 12.	
	3	36	54	51		
	4	48	72	67½		4½
	5	60	90	84		6
	6	72	108	100½		7½
	7	84	126	117		9
	8	96	144	133½		10½
	9	108	162	150		12
	10	120	180	166½		13½
	11	132	198	183		15
	12	144	216	199½		16½
	13	156	234	216		
	14	168	252	232½		
	15	180	270	249		
	16	192	288	265½		
	17	204	306	282		
	18	216	324	298½		
	19	228	342	315		
	20	240	360	331½		
	21	252	378	347		
	22	264	96	363½		
	23	276	414	380		
	24	288	432	396½		
	25	300	450	414		
				36		
		450	450			

Dents de la rouë.

