tèmes semblables à ceux étudiés pour les mouvements continus, la plupart des solutions auxquelles nous allons arriver ne seront que celles déjà exposées lorsque les organes peuvent agir dans deux sens opposés, la réunion d'un double organe; le mouvement alternatif n'étant qu'une fraction dans chaque sens de mouvement continu.

CHAPITRE VIII.

Mouvement circulaire alternatif en circulaire alternatif.

486. Le mouvement circulaire alternatif étant produit par le *levier*, on voit que le problème à résoudre consiste à faire agir un *levier* sur un autre *levier*.

487. Remarquons d'abord qu'un levier unique, droit ou coudé (fig. 400), possédant un mouvement circulaire alternatif, produit ce mouvement à chaque extrémité, de même vitesse angulaire autour du centre de rotation, et par suite, les vitesses aux extrémités de chacun sont proportionnelles aux longueurs des bras du levier. Lors donc que les deux axes peuvent se réduire à un seul et que la vitesse angulaire peut être la même, un simple levier fournit la transformation demandée. C'est ainsi que la communication a lieu dans les balanciers de tout genre; c'est le moyen toujours employé lorsqu'on peut employer le même axe pour les deux mouvements.

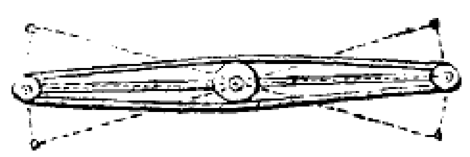

Fig. 400.

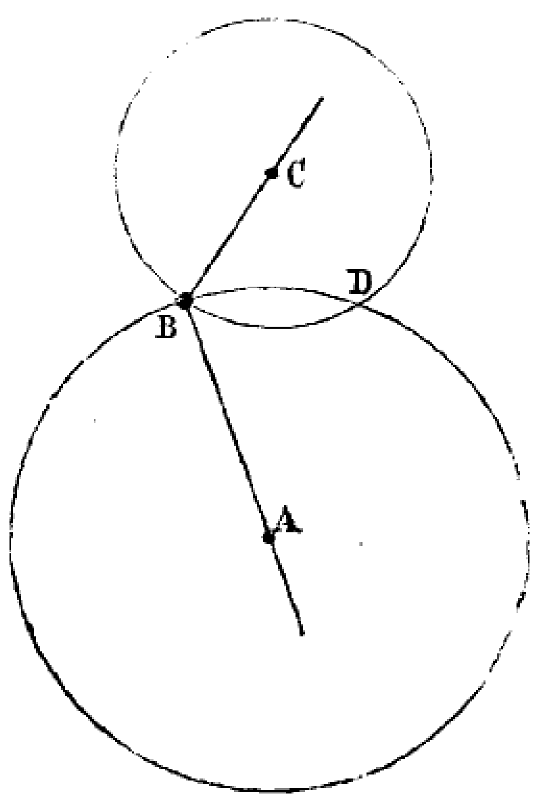

Fig. 401.

En prenant le problème dans toute sa généralité et sans se préoccuper des conditions d'exécution, on voit que les deux leviers réunis par une rotule qui permet les mouvements en tous sens comme celles qui assurent l'invariabilité de position du point fixe qui constitue les leviers, posséderont simultanément des mouvements alternatifs, situés sur deux sphères ayant les points fixes pour centre.

Deux sphères se coupant toujours suivant un cercle, les mouvements décrits par des points quelconques des leviers seront circulaires et produits dans des plans parallèles; les mouvements demeureront sur des cônes droits et les vitesses linéaires seront dans le rapport des rayons, une oscillation d'un des leviers ne pouvant toujours produire qu'une oscillation de l'autre.

INTERMÉDIAIRES RIGIDES.

488. *Bielle.* — En introduisant une bielle entre les deux rayons, nous avons vu (art. 383) les conditions de grandeur pour lesquelles les mouvements circulaires deviennent alternatifs. Le rapport des vitesses devient variable en chaque instant, comme il a été dit.

Pour s'écarter le moins possible du rapport constant de vitesse, on doit, lorsque les axes de rotation par lesquels dans la pratique on remplace les rotules des leviers, sont parallèles, adapter, s'il est possible, la bielle à deux leviers sensiblement parallèles dans leur position moyenne. A cet effet, si les positions moyennes des leviers donnés ne sont pas parallèles, il faut remplacer le levier droit d'un des systèmes par un levier coudé faisant corps avec le premier, dont la seconde branche soit parallèle au second levier, et assembler par une bielle son extrémité avec celle du premier (fig. 402). Les leviers peuvent être dans un rapport de grandeur quelconque en théorie, mais pas trop différent dans la pratique, pour éviter les actions obliques. Nous avons donné tout ce qui est nécessaire pour l'étude des vitesses dans ce système et les moyens de

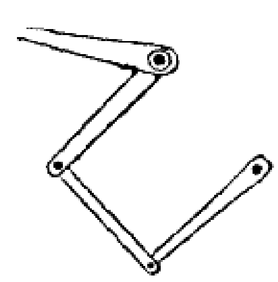

Fig. 402.

trouver les proportions des pièces nécessaires pour que le mouvement puisse se produire dans l'étendue voulue.

489. Cherchons à déterminer, lorsque les axes ne sont pas parallèles, la position que doit occuper la bielle lorsqu'on veut satisfaire à la condition que le rapport des vitesses soit constant.

Les axes Ae, Bf n'étant pas parallèles (fig. 403), cherchez leur perpendiculaire commune ef et menez eg parallèle à fB. Dans le plan Aeg menez eh qui divise Aeg en deux angles Aeh, heg tels que leurs sinus soient réciproquement comme

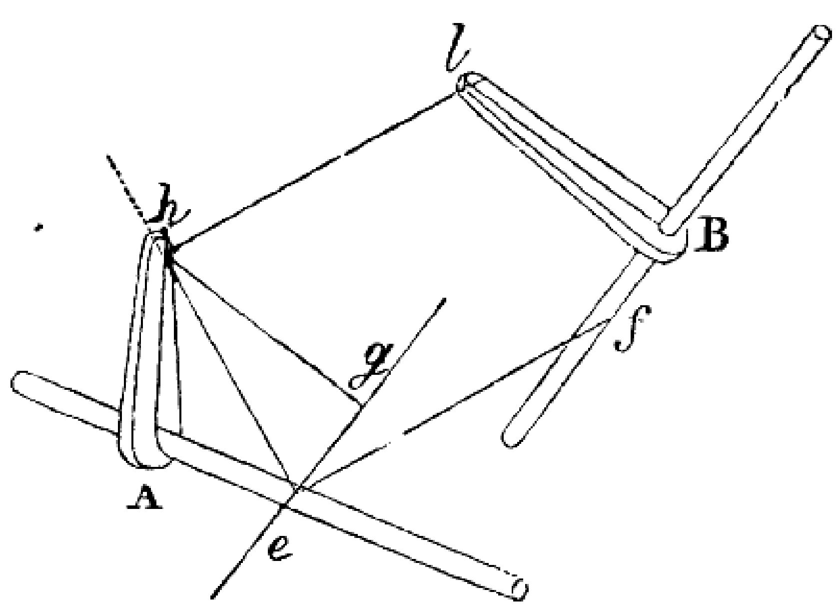

Fig. 403.

les vitesses angulaires respectives des axes Ae, Bf. D'un point quelconque h, menez des perpendiculaires hA, hg à Ae et à eg, prenez $fB = eg$, menez Bl égale et parallèle à gh, enfin joignez h et l, cette droite parallèle à ef est perpendiculaire à la fois à Ah et à Bl.

Si Ah et Bl sont les bras de levier et hl la bielle par laquelle ils se transmettent le mouvement, cette bielle étant perpendiculaire aux bras dans leur position moyenne, si l'amplitude du mouvement est petite, le rapport des vitesses angulaires des axes sera pour cette faible amplitude à peu près constant et s'écartera peu du rapport inverse des longueurs des bras.

490. *Mouvement de sonnette.* — Lorsque la position relative des deux bras de levier est donnée, ou lorsque l'amplitude de leur mouvement doit être notable, il faut renoncer à chercher à obtenir un rapport de vitesse constant.

L'expression du rapport des vitesses donnée dans le cas où l'un des mouvements est continu, ce qui ne le modifie en rien en chaque instant, se simplifie dans le cas où la bielle est très-longue, où le mouvement devant être transmis à grande distance, les angles d'inclinaison que prend la bielle sont très-petits. On appelle cette communication mouvement de sonnette. Indiquons le moyen de la tracer.

Étant données les positions des deux leviers, le levier moteur et celui qui doit être mis en mouvement, et aussi la position des deux axes, adaptez à chacun d'eux dans un plan perpendiculaire à leur direction un levier coudé dont la longueur soit en raison inverse de la vitesse; ces coudes doivent être dans un même plan pour la position moyenne du mouvement.

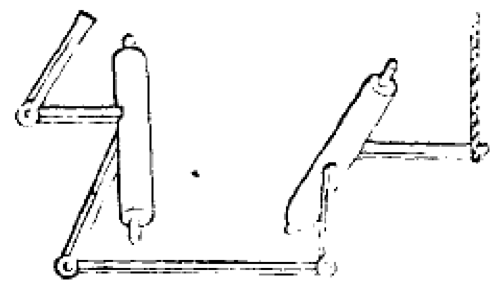

Fig. 404.

La traction ayant lieu obliquement d'un levier à l'autre engendre une torsion et des frottements qui rendent cet appareil impropre à transmettre de grands efforts.

Chaque articulation de la bielle qui établit la communication entre les deux leviers doit non-seulement permettre un mouvement de rotation autour d'un axe parallèle à chaque axe de rotation, mais encore permettre à la bielle de s'incliner sur le plan perpendiculaire à ce dernier. Si donc le jeu laissé dans les articulations ne suffit pas à cet effet en le laissant assez grand, comme on le fait souvent dans la pratique, il faut que l'articulation soit remplacée par un axe parallèle au levier, une tige ronde, autour de laquelle passe l'extrémité de la bielle formant anneau; plus exactement un joint universel ou une rotule devrait exister à chaque extrémité, mais le système précédent suffit pour tous les cas de la pratique.

491. AA, A'A' étant les deux axes (1), BB' la position initiale de la bielle; dans le premier déplacement elle glisse

(1) Girault, *Géométrie appliquée à la transformation du mouvement.*

d'abord suivant sa longueur, et l'on a pour les vitesses de ses points extrêmes :

$$r\omega = r'\omega' \text{ ou } \frac{\omega}{\omega'} = \frac{r'}{r},$$

et ce rapport subsiste sensiblement tant que la bielle s'éloigne très-peu de sa position initiale.

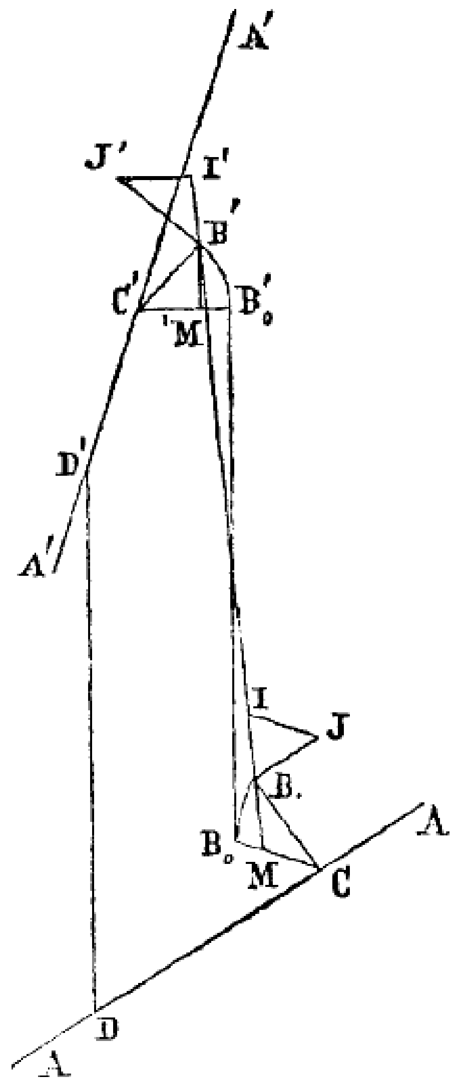

Fig. 405.

Pour une autre position, construisant comme il a été dit (art. 414) les lignes BJ, B′J′, on aura :

$$\frac{v}{v'} = \frac{BJ}{B'J'}.$$

La bielle étant supposée très-longue relativement aux leviers, forme toujours des angles assez petits avec sa position initiale. Il en résulte que si on abaisse les perpendiculaires BM, B′M′ sur la position initiale des leviers, ces lignes seront sensiblement dans le même plan que les droites BI, B′I′; on aura alors entre les triangles semblables BIJ, BMC et B′I′J′ et B′M′C′ les relations

$$\frac{BJ}{BI} = \frac{r}{CM} \quad \frac{B'J'}{B'I'} = \frac{r'}{C'M'},$$

ou en divisant terme à terme et remarquant que $BI = B'I'$:

$$\frac{v}{v'} = \frac{r}{r'} \times \frac{C'M'}{CM} \text{ ou } \frac{\omega}{\omega'} = \frac{C'M'}{CM};$$

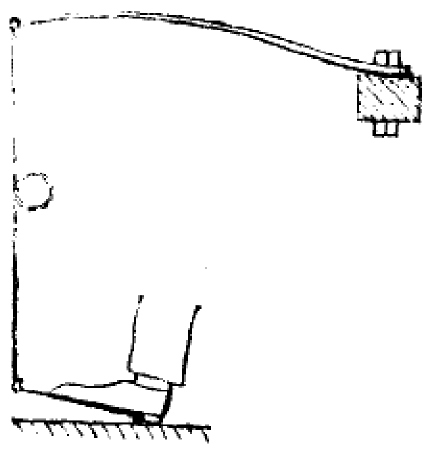

Fig. 406.

c'est-à-dire que les vitesses angulaires sont en raison inverse des projections des leviers coudés sur leurs positions initiales.

492. *Intermédiaires flexibles.* — Une corde attachée à l'extrémité d'un levier et enroulée en partie sur un cylindre auquel elle est attachée, four-

nira la transformation demandée, mais seulement dans un sens, quand l'action agit suivant la longueur de la corde. Il faut nécessairement l'intervention de la pesanteur ou d'un ressort pour que l'action ne s'arrête pas dans le sens opposé. Telle est la disposition de la fig. 406, au moyen de laquelle on obtient un grand nombre de tours du cylindre pour chaque oscillation du levier de la pédale. C'est celle employée dans le tour en l'air qui sert pour le travail des bois, et dans lequel la réaction est produite par une lame élastique. Le rapport de vitesse est constant avec un cylindre circulaire, l'action du ressort supposée constante, et résulte du rapport de la longueur de la pédale et du diamètre du cylindre; il serait variable suivant une loi voulue si la surface de ce cylindre était entaillée.

La flexibilité de la corde permet de transmettre ainsi le mouvement alternatif dans des plans quelconques, ou au moins de produire une traction, car il faut toujours un moyen de produire le mouvement en sens contraire, analogue à un ressort, la corde ne pouvant agir que dans un sens.

ORGANES AGISSANT PAR CONTACT.

493. *Axes parallèles.* — Pour faire agir un levier sur un autre levier, par le contact de leurs extrémités, comme le mouvement est en général petit, les courbes formant le profil de ces extrémités peuvent être remplacées par des arcs de cercle voisins des courbes enveloppe et enveloppée l'une de l'autre; contours qui devraient être donnés à ces parties en raison du rapport des vitesses, la petite variation de vitesse angulaire qui résulte de cette substitution est petite et sans importance.

494. Cherchons à déterminer ces arcs de cercle pour un mouvement de faible étendue et un rapport de vitesse déterminé. A et B étant les centres des deux leviers (fig. 407), menons T K perpendiculairement à A B par le point T, point de contact des deux leviers dans leur position moyenne, les longueurs A T, B T étant déterminées en raison inverse des vitesses. Par ce même

point T menons une ligne quelconque PTQ, si l'on prend sur la perpendiculaire un point quelconque K, et qu'on trace les lignes AK, BK, les points P et Q, où ces lignes rencontrent la la ligne P T Q, pourront être pris pour le centre de deux cercles de rayons PT, QT dont les arcs *rs*, *mn*, seront convenables pour former les extrémités des leviers.

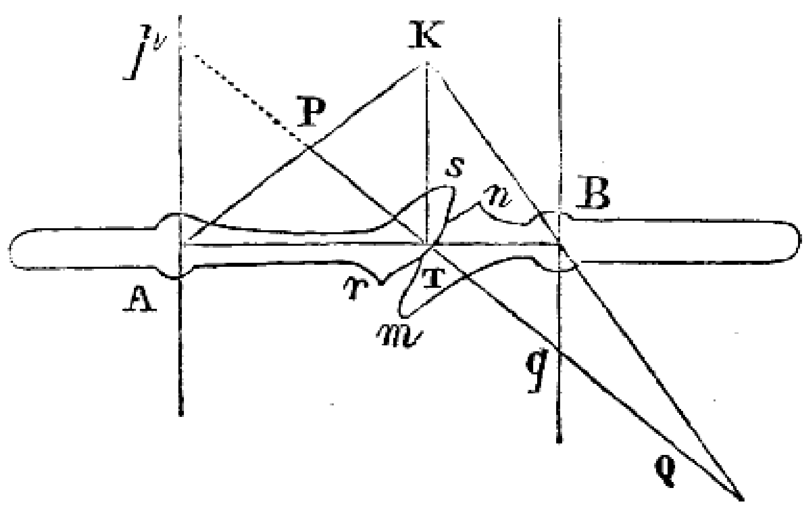

Fig. 407.

En effet, d'après ce que nous avons vu (art. 156) pour deux courbes qui se poussent, le mouvement sera le même que celui de deux leviers AP, BQ qui seraient joints par la bielle PQ. Pendant un déplacement infiniment petit, la bielle peut être considérée comme se mouvant autour du centre instantané de rotation. Or, dans la position de la figure ce centre se trouve en K, puisqu'il est à la fois sur AP et sur BQ, chaque extrémité de la bielle se mouvant perpendiculairement au rayon de la manivelle. D'après cette construction, le point de contact se déplacera suivant la ligne des centres et le mouvement aura lieu ainsi un instant (art. 207) comme par roulement des courbes l'une sur l'autre.

Comme la distance de K à T est arbitraire, si on la suppose infinie, dans quel cas AK, BK deviennent parallèles à KT et perpendiculaires à la ligne des centres, c'est-à-dire A*p* et B *q*; *p* et *q* sont alors les centres, et la construction devient très-simple.

On doit dans la pratique faire l'angle PTA un peu grand, pour éviter une trop grande obliquité des faces en contact.

495. *Engrenages.* — L'inconvénient des systèmes précédents