ENCYCLOPÉDIE INDUSTRIELLE ET COMMERCIALE

LA SIGNALISATION
DES
CHEMINS DE FER

TOME II

THÉORIE ET PRATIQUE DES ENCLENCHEMENTS

PAR

J. PAVIE

Ingénieur honoraire des Chemins de Fer de l'État
Ingénieur E. C. P.

PRÉFACE de M. R. DAUTRY

Ancien Ingénieur de la Signalisation du Réseau du Nord
Directeur Général du Réseau de l'État

PARIS
LIBRAIRIE DE L'ENSEIGNEMENT TECHNIQUE
LÉON EYROLLES, ÉDITEUR
61, Boulevard Saint-Germain

1937

PRÉFACE

L'ouvrage que présente M. PAVIE, ingénieur honoraire des Services techniques du Réseau de l'Etat, fait suite à l'étude des conditions générales de la sécurité et des dispositifs de signalisation traitée par M. WALTER, ingénieur de la Signalisation, et a pour but d'exposer le problème des enclenchements, non seulement sous sa forme théorique et savante, mais aussi, ce qui est plus rare, sous son aspect pratique. Des spéculations un peu abstraites parfois de Perrin, de Cossmann, l'auteur a voulu dégager des règles simples et s'est en particulier attaché à l'étude des procédés qui permettent une recherche facile et sûre des enclenchements indirects.

Le sujet est difficile et de nombreux hommes du Rail sont loin d'en soupçonner la complexité, lors même qu'ils n'en ignorent pas tout à fait l'existence. Pourtant il est nécessaire qu'ils connaissent tous les problèmes techniques du chemin de fer et il n'est pas interdit de leur faire prendre intérêt aux questions d'enclenchements, si l'on veut bien se donner la peine de les mettre à leur portée.

M. PAVIE a su exposer d'une façon claire, j'allais même dire attrayante, un sujet qu'il connaît et qu'il aime pour lui avoir consacré son existence de cheminot. Ayant eu la bonne fortune de le compter parmi mes meilleurs collaborateurs pendant une période de transformation profonde de la signalisation dans la région parisienne, j'ai pu saisir sur le vif, à maintes reprises, sa clarté d'esprit, l'étendue de ses connaissances, sa façon de procéder, prudente et méthodique, sa haute conscience professionnelle et aussi sa modestie qui lui faisait trouver tout naturel l'exercice de tant de belles qualités. Aussi nul plus que lui, n'était qualifié pour traiter de telles questions.

Sans doute le développement des postes électriques modernes à leviers d'itinéraires a-t-il simplifié le problème de la recherche des enclenchements, de sorte que les idées et les règles exposées dans cet ouvrage deviennent, dans les grands postes nouveaux, d'une application moins fréquente qu'elles ne l'ont été. M. PAVIE, avec le soin et le goût qu'il a toujours apportés à tout ce qu'il entreprenait, n'en a pas moins fait une œuvre intéressante et qui reste d'actualité pour le plus grand nombre des installations françaises en offrant à ses successeurs, pour les guider, tant dans les études théoriques que dans les vérifications pratiques, le meilleur de son expérience. Je suis persuadé que son ouvrage sera lu et apprécié par tous les Cheminots de l'Exploitation et de la Voie qui ont à préparer des programmes, à étudier et à réaliser des projets.

R. DAUTRY,

Ancien Ingénieur de la Signalisation
du Réseau du Nord.
Directeur général du Réseau de l'Etat.

TOME SECOND

ENCLENCHEMENTS

AVERTISSEMENT

Après l'étude générale de la sécurité dans les chemins de fer, ce deuxième volume est entièrement consacré à la théorie des enclenchements. Le lecteur y trouvera leur description, s'initiera à leur notation, apprendra à rechercher les enclenchements indirects qu'on appelle aussi enclenchements résultants ou secondaires.

*
* *

Le présent volume appelle quelques remarques préalables, surtout en ce qui concerne la première partie. Celle-ci, consacrée à la théorie des enclenchements, apparaîtra pour le moins originale à ceux qui sont déjà versés dans cette science, car elle diffère dans le fond et la forme des exposés qui ont été faits jusqu'à présent sur la question. Il est utile d'indiquer dès maintenant quelles sont ces différences.

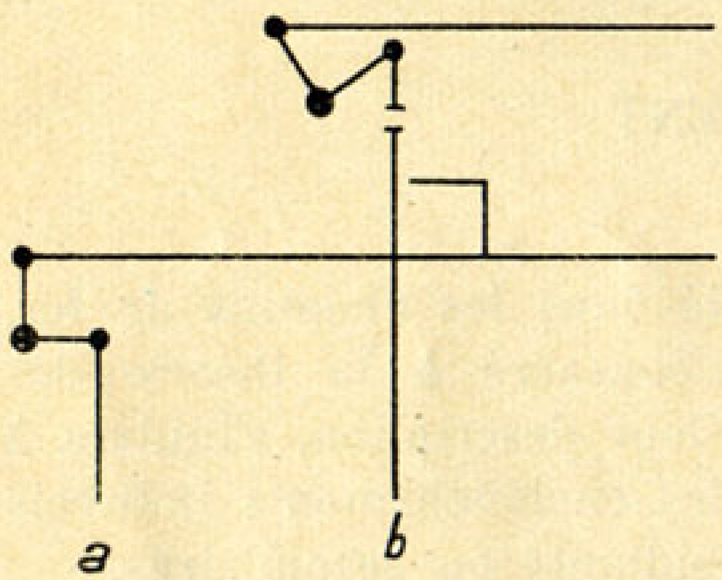
Tout d'abord, nous convions les enclencheurs qui nous liront, à réfléchir sur la notion *d'enclenchements réciproques*. Les spécialistes qui ont écrit sur la matière ont parfois sous-entendu, d'autres sont même allés jusqu'à énoncer *le principe de réciprocité des enclenchements*. A notre connaissance, aucun n'a mis en doute l'existence de ce principe.

Or, nous sommes parvenus à montrer, nous osons même dire, à démontrer que la réciprocité des enclenchements ne va pas de soi; qu'elle est littéralement une illusion. En effet, paraissant intervenir, fortuitement d'ailleurs, dans bien des cas, elle s'est imposée dès ce moment comme un principe général, alors qu'elle n'est pourtant que la conséquence d'une méprise.

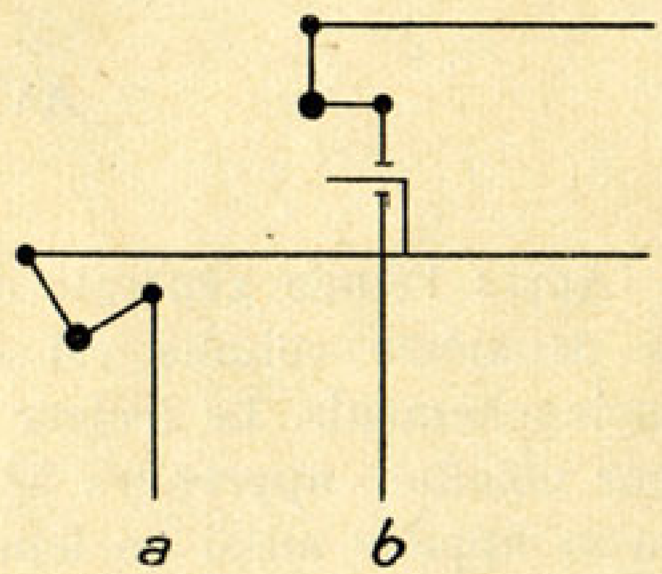
Indiquons par quel piège l'esprit s'est laissé prendre à la croyance en la réciprocité.

Par exemple, lorsqu'on écrit (en notation Cossmann) un enclenchement tel que $\frac{aR}{bD}$ destiné à relier deux leviers situés *dans le même poste*, on sait qu'on le matérialise par un dispositif qui réalise, non seulement $\frac{aR}{bD}$, mais encore $\frac{bR}{aD}$.

L'agencement des organes du dispositif est tel que si celui-ci réalise l'une des deux formules, il ne peut pas ne pas réaliser l'autre,



b renversé enclenche *a* droit.



a renversé enclenche *b* droit.

et l'on a donc pu en déduire paresseusement le principe de la réciprocité des enclenchements que nous dénonçons.

Nous insistons : l'erreur commise consiste en ceci, que, dans l'exemple ci-dessus, *la matérialisation simultanée* des deux formules $\frac{aR}{bD}$ et $\frac{bR}{aD}$ est voulue et obtenue par des organes combinés à cet effet, alors qu'il est facile de construire d'autres dispositifs ne matérialisant que l'une ou l'autre des deux formules. *C'est d'ailleurs ainsi que l'on procède lorsque les deux leviers à enclencher se trouvent dans deux cabines différentes.*

L'analyse de ce simple exemple fait bien saisir au lecteur comment des doutes doivent naître en lui sur la légitimité du principe dont il s'agit. D'une façon générale, il faut bien voir que, si ce pseudo-principe apparaît trop souvent implicitement, c'est qu'un grand nombre d'appareils d'enclenchements — ceux sur lesquels on raisonne ordinairement — réalisent, comme on vient de le montrer, la réciprocité par un artifice de construction. Les cas où les deux enclenchements sont dissociés matériellement sont assez rares; on les a donc considérés comme des cas particuliers, comme des exceptions à la règle, alors qu'en y réfléchissant, on découvre que c'est l'inverse qui est vrai, et que la règle, d'ailleurs sans exception, c'est *l'inexistence de la réciprocité.*

Abstraction faite de l'importance théorique qui s'attache à la réfutation du principe évoqué, nous sommes également pénétrés de l'intérêt pratique de notre analyse en raison des conséquences qui en découlent.

Ce principe a plus d'une fois, en effet, été la cause originelle d'une insuffisance d'enclenchements entre deux leviers situés dans des postes différents. Il explique aussi les négligences que certains agents se croient autorisés à commettre dans la vérification matérielle des tables d'enclenchements où ils n'effectuent que la moitié des essais qu'ils devraient exécuter. De tels errements perdront désormais toute excuse et toute justification théorique.

Dans le cours de notre travail, pour définir sans erreur et sans ambiguïté la nature des choses, nous mettons en évidence le rôle exact de toutes les subordinations nécessaires entre un certain nombre de leviers, aussi bien lorsque ceux-ci sont réunis dans une même cabine que lorsqu'ils sont répartis entre plusieurs postes.

Dans un autre ordre, nous introduisons aussi un changement qui consiste à distinguer tous les enclenchements *usuels* (qu'ils soient binaires ou conditionnels) en deux grandes classes : *les enclenchements de position* et *les enclenchements de mouvement.* Cette classification inédite, qui repose uniquement sur leur mode d'action, simplifie beaucoup les descriptions en y introduisant plus de clarté.

Nous présentons, par suite, une technique, nouvelle par sa méthode, qui pourrait être intitulée « *anatomie de l'enclenchement* ».

Grâce à l'emploi des diagrammes Perrin, notre besogne a été facilitée, alors que, sans eux, elle aurait présenté les plus grandes difficultés, voire une impossibilité.

Estimant que la terminologie est une chose essentielle, nous avons proscrit toutes les désignations actuellement employées pour définir l'utilisation des enclenchements, et qui n'ont aucun rapport avec cette utilisation même. Nous nous sommes astreints à ne recourir qu'à des termes formant image et rappelant la fonction propre de chaque nature d'enclenchement.

Enfin, la théorie relative à la composition des enclenchements, pour obtenir les indirects, a été traitée d'une façon exhaustive : les règles données s'appliquent, croyons-nous, à tous les cas imaginables; des exemples variés ont été d'ailleurs traités dans un chapitre consacré entièrement à la question.

La structure même de notre étude nous a fourni, de surcroît, un complément imprévu : le moyen de rendre efficaces des enclenchements conditionnels devenus défaillants.

Soucieux de dire le plus possible dans le moindre espace et de ménager au maximum l'effort du lecteur, nous avons recouru largement aux schémas et aux dessins d'enclenchements.

A nos lecteurs de juger si nous avons réussi ce que nous nous sommes proposé : présenter sous une forme complète, claire et rationnelle, les principes de l'art de l'enclencheur.

PREMIÈRE PARTIE

THÉORIE DES ENCLENCHEMENTS

CHAPITRE PREMIER

PRINCIPES RELATIFS A LA MANŒUVRE DES SIGNAUX, AIGUILLES ET APPAREILS DIVERS.

---

1. Définitions. — Avant d'entreprendre l'étude des enclenchements, il importe d'exposer les dispositions généralement admises pour la manœuvre des signaux, désengageurs (1), aiguilles, verrous d'aiguilles et taquets d'arrêt, aussi appelés parfois blocs d'arrêt.

Tous ces appareils sont agencés de façon à ne pouvoir prendre que deux positions : la position dite position normale ou habituelle, qui est celle dans laquelle chaque appareil doit être laissé pendant les périodes où il n'est pas utilisé, et la position inverse dite position renversée.

2. Position normale des appareils. — La position normale des appareils est définie dans la consigne du poste dont ils dépendent. Il est de règle que :

les taquets ou blocs d'arrêt sont normalement relevés;

---

(1) Le désengageur est un appareil intercalé dans la transmission d'un signal et qui, dans sa position de fermeture, coupe la transmission du signal; celui-ci se ferme sous l'action de son contrepoids, même si son levier est en position d'ouverture, et il ne pourra être rouvert qu'après l'ouverture du désengageur et après que le levier du signal aura été placé en position de fermeture (s'il ne l'est déjà), puis ramené en position d'ouverture.

Le désengageur permet donc de subordonner l'ouverture du signal d'un poste à l'autorisation d'un autre poste.

les verrous d'aiguilles sont normalement engagés (sauf sur les réseaux du Nord et de Paris à Orléans);

les aiguilles situées sur les voies principales sont normalement disposées pour en assurer la continuité;

les signaux carrés des voies principales sont normalement fermés ainsi que les signaux d'avertissement et de ralentissement qui les précèdent;

les disques rouges, lorsqu'ils ne sont pas enclenchés avec le signal carré qui les suit, et certains signaux carrés des voies de service sont normalement ouverts.

Ces divers appareils sont ordinairement manœuvrés à l'aide de leviers et chaque appareil est attelé à son levier de manœuvre de manière à toujours prendre en campagne la position qui correspond à celle du levier dans la cabine de l'aiguilleur.

Par conséquent, les leviers de manœuvre n'ont eux-mêmes que deux positions stables possibles, car ils ne doivent jamais être abandonnés dans une position intermédiaire :

1° la position renversée ou abaissée qui est obtenue après que l'aiguilleur a tiré à fond un levier vers lui;

2° la position droite ou redressée dans laquelle un levier se trouve placé quand l'aiguilleur l'a repossé à fond en avant de lui.

3. Correspondance entre la position d'un levier et celle de l'appareil manœuvré. — La correspondance qui doit exister entre la position d'un levier et celle de l'appareil manœuvré par ce levier est définie par les règles suivantes :

I. — Tout appareil *autre qu'un signal ou un désengageur* est relié à la transmission qui l'actionne de façon que, lorsqu'il se trouve dans sa position normale en campagne, son levier de manœuvre soit en position droite.

II. — Tout signal ou désengageur est relié à son levier de manœuvre de façon que, lorsqu'il est fermé en campagne, son levier de manœuvre soit en position droite. Par conséquent, le levier d'un signal qui doit rester normalement ouvert est maintenu en position renversée.

Cette seconde règle n'est pas admise par tous les réseaux. Sur certains d'entre eux, les leviers des signaux sont maintenus en position droite lorsque ces signaux occupent leur position normale qui peut être celle de l'ouverture pour quelques-uns ou celle de la fermeture pour les autres. Il y a là une cause possible de confusion pour l'aiguilleur, non dangereuse toutefois en raison des enclenchements.

Le tableau suivant résume toutes les indications concernant la correspondance de la position d'un levier avec celle de l'appareil manœuvré par ce levier :

APPAREIL MANOEUVRÉ	POSITION DU LEVIER DE MANOEUVRE	
	DROITE	RENVERSÉE
Signal ou désengageur	Signal ou désengageur fermé	Signal ou désengageur ouvert
Verrou d'aiguille	Verrou engagé	Verrou dégagé
Aiguille	Aiguille normale (1)	Aiguille renversée
Taquet d'arrêt	Taquet relevé	Taquet abaissé

4. Positions possibles de l'ensemble des leviers d'un poste. — Dans tout poste d'aiguilleur l'agencement des organes d'enclenchement doit être tel que :

1° tous les leviers doivent pouvoir être placés ensemble dans leur position normale, sinon les prescriptions de la consigne qui règle la position et la manœuvre des appareils ne pourraient pas être exécutées;

2° tous les leviers doivent pouvoir se trouver ensemble en position droite;

3° les leviers reliés apr un enclenchement ne doivent pas pouvoir être manœuvrés en même temps, mais seulement l'un après l'autre.

Enfin, il est de règle que les leviers doivent toujours être amenés à l'une ou à l'autre de leurs positions extrêmes et que, par suite, ils ne doivent jamais être abandonnés dans une position intermédiaire.

---

(1) L'expression « aiguille droite » ne doit jamais être employée pour indiquer qu'une aiguille est dans sa position normale. Il ne faut s'en servir que pour les aiguilles qui n'ont pas de position normale, comme celles des postes à leviers d'itinéraires; on dit alors qu'elles sont « droites » ou « gauches », selon que la direction qu'elles donnent est celle de droite ou celle de gauche.

CHAPITRE II

ENCLENCHEMENTS

5. Historique. — Au début de l'exploitation des chemins de fer, les gares étaient peu étendues et les quelques aiguilles existantes étaient manœuvrées à pied d'œuvre par un personnel restreint. Puis, le développement graduel du trafic ayant nécessité à la fois l'agrandissement des gares et l'augmentation du nombre des voies, des aiguilles et des signaux, l'on fut amené à multiplier le nombre des aiguilleurs, si bien que, dans les gares importantes, il n'était pas rare de voir quatre ou cinq aiguilleurs répartis sur un petit espace aux abords de chaque tête d'un faisceau de voies.

Cette situation présentait deux graves défauts : 1° une exagération de la main-d'œuvre; 2° une insuffisance de la sécurité provenant de l'indépendance des leviers de manœuvre des signaux et des aiguilles.

C'est ainsi que l'on fut conduit à réunir dans un même poste ou cabine les leviers des aiguilles disséminées dans une certaine étendue d'une gare ainsi que ceux des signaux nécessaires à la protection des mouvements effectués dans cette partie de gare; on évitait bien ainsi le premier inconvénient, mais on laissait subsister le second, à un degré moindre toutefois, du fait que les opérations à effectuer pour le passage d'un train étaient désormais assurées par un seul agent et non plus par plusieurs aiguilleurs isolés, agissant sans coordination. Cependant, il restait toujours indispensable d'établir, soit entre les appareils eux-mêmes, soit entre leurs leviers de manœuvre, des liaisons ou dépendances matérialisant les prescriptions des consignes et empêchant par conséquent de placer les signaux et les aiguilles dans des conditions dangereuses pour la sécurité. *Ce sont ces liaisons qui ont reçu le nom d'enclenchements.*

Les premiers enclenchements ont été imaginés en 1855 par un aiguilleur de l'ancienne Compagnie des Chemins de fer de l'Ouest et réalisés par lui à l'aide de cordelettes et de baguettes de bois, puis perfectionnés d'abord par M. Vignier, ingénieur de la même Compagnie, et ensuite par divers constructeurs, notamment par la Maison Saxby.

6. Classification principale des enclenchements. — Les enclenchements sont dits binaires, ternaires, quaternaires, quinaires, etc., lorsqu'ils relient deux, trois, quatre, cinq, etc., leviers. D'une manière générale, un enclenchement reliant un groupe de plus de deux leviers est appelé enclenchement conditionnel (1) parce qu'il assujettit la position de l'un de ces leviers à la position des autres leviers du groupe et par conséquent au moins à une condition.

7. Combinaisons de positions de deux leviers indépendants. — Considérons deux leviers *a* et *b* indépendants, c'est-à-dire non reliés par un enclenchement quelconque. Puisque par construction ils ne peuvent occuper que deux positions stables (droite et renversée), les combinaisons que peuvent former leurs positions sont les suivantes :

1° *a* Droit,	*b* Droit,
2° *a* Renversé,	*b* Droit,
3° *a* Renversé,	*b* Renversé,
4° *a* Droit,	*b* Renversé.

Remarquons que l'on passe de l'une quelconque de ces combinaisons à la combinaison voisine par un seul déplacement de levier, de sorte qu'il suffit de quatre de ces déplacements pour former les quatre combinaisons ci-dessus.

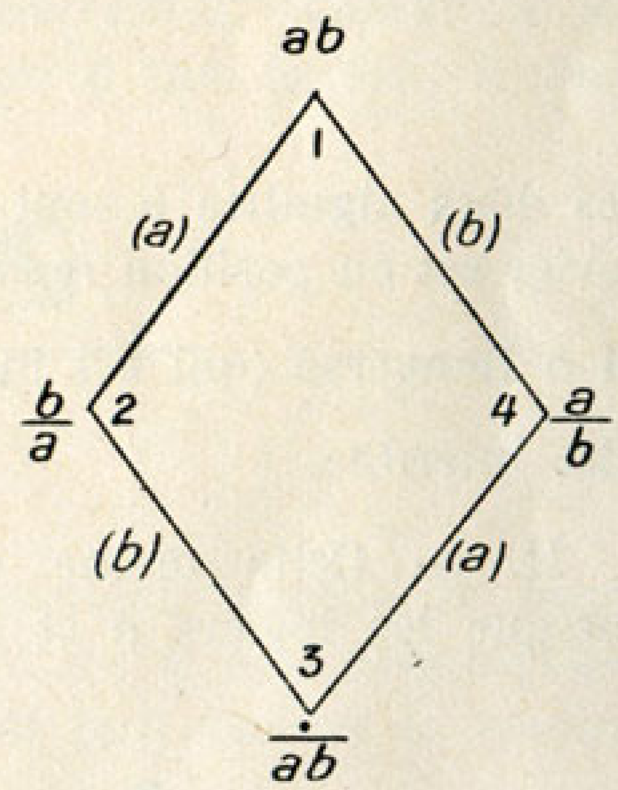


Fig. 1.

8. Losange Perrin. — Pour mettre en évidence ce qui précède, M. Perrin (2), Inspecteur général des Mines, ancien Directeur du Contrôle des Chemins de fer de l'Ouest, a imaginé de placer ces combinaisons aux sommets d'un losange, comme le montre la

---

(1) Les expressions « enclenchements multiples » et « enclenchements à termes multiples » sont également employées par certains ingénieurs pour désigner les enclenchements conditionnels.

(2) Voir *Annales des Mines*, 12e livraison de 1905 : Sur une méthode nouvelle de notation des enclenchements par M. R. Perrin, Inspecteur général des Mines.

figure 1. Chaque côté du losange est accompagné du symbole *entre parenthèses* du levier dont ce côté représente le déplacement.

9. Exemples d'application des enclenchements binaires. — On sait que par construction les leviers d'un poste doivent pouvoir se trouver tous ensemble en position droite; par conséquent, la première combinaison *a* Droit, *b* Droit est toujours possible. Mais il est souvent nécessaire d'exclure l'une des trois autres.

I. — Par exemple, il est évident qu'il faut interdire l'ouverture du signal carré *a* par le renversement du levier correspondant quand

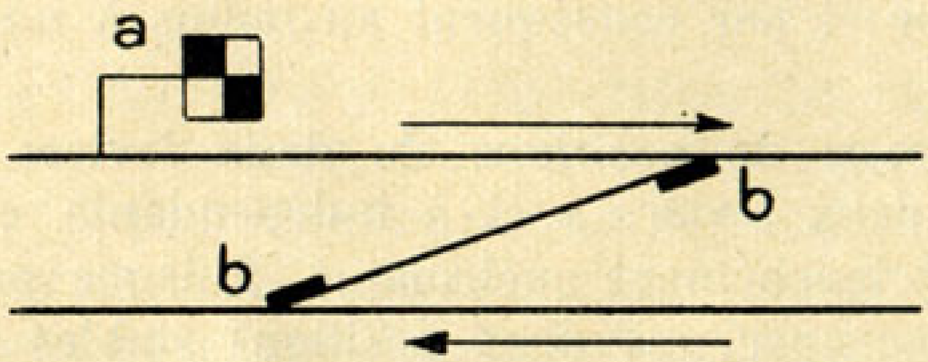


FIG. 2.

les deux aiguilles *b* sont déviées (fig. 2), ce qui arrive lorsque leur levier est en position renversée; donc, la combinaison 3, *a* Renversé et *b* Renversé (qui est marquée $\frac{\cdot}{ab}$ sur le losange de Perrin), doit être interdite.

II. — Cette même combinaison 3 doit aussi être interdite lorsque les leviers *a* et *b* sont utilisés pour manœuvrer les deux

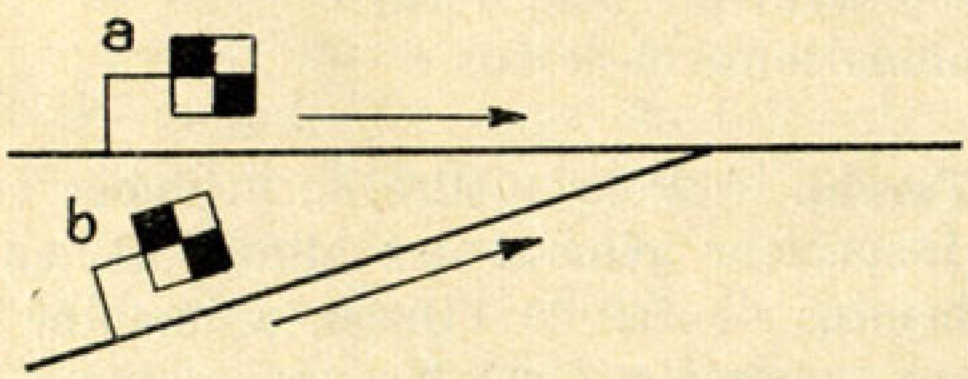


FIG. 3.

signaux carrés protégeant le confluent de deux voies sur un tronc commun. Dans ces deux cas, on dit que le renversement du levier *a* est incompatible avec le renversement du levier *b*.

III. — La figure 4 fait comprendre que, pour éviter la rupture de l'aiguille *a*, il faut interdire l'ouverture du signal *b*

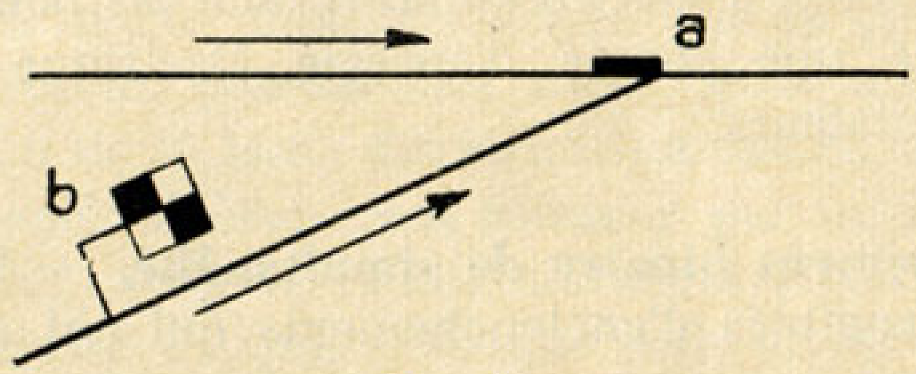


FIG. 4.

lorsque cette aiguille n'a pas été déviée vers ce signal; autrement dit, il faut que l'aiguille *a* en position droite interdise le renversement de *b*. La combinaison 4 (marquée $\frac{a}{b}$ sur le losange de Perrin) doit donc être exclue parce que le renversement de *b* est incompatible avec la position droite de *a*.

IV. — Enfin, lorsque les leviers *a* et *b* servent à commander un signal d'avertissement *a* et le signal carré *b* qui le suit, il faut

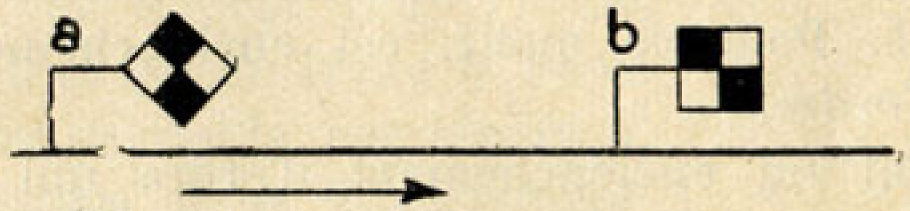


FIG. 5.

empêcher l'ouverture du signal d'avertissement lorsque le carré est fermé; autrement dit, le renversement de *a* est incompatible avec la position droite de *b* et, par suite, il faut exclure la combinaison 2 marquée $\frac{b}{a}$ sur le losange de Perrin.

10. Incompatibilité. — D'après ce qui précède, *une incompatibilité est l'indication de l'interdiction soit d'une combinaison de positions de leviers, soit, comme on va le voir, du mouvement d'un levier. On appelle enclenchement tout mécanisme propre à matérialiser une incompatibilité.* Pour cela, l'enclenchement établit entre deux leviers de signaux, aiguilles, etc., une dépendance qui se manifeste par l'immobilisation d'un levier dans une position donnée ou par sa libération lorsque l'autre levier occupe une position donnée, de façon à rendre impossible toute dérogation aux prescriptions de la consigne qui règle l'utilisation de ces appareils.

Cette dépendance entre les leviers est obtenue mécaniquement à l'aide de taquets, barres, verrous, serrures, etc., ou électriquement au moyen d'armatures d'électro-aimants dont les bobines sont mises en relation avec une source d'énergie électrique par l'intermédiaire de commutateurs.

11. Enclenchement binaire de simultanéité. — Revenons maintenant sur les exemples d'enclenchements qui ont été donnés plus haut.

L'enclenchement qui s'oppose à la formation de la combinaison 3 (exemples I et II, fig. 2 et 3) doit être appelé *enclenchement binaire de simultanéité*, parce que jamais les deux leviers ne peuvent occuper simultanément la position renversée. Dès que l'on commence à renverser l'un des leviers, l'autre se trouve immobilisé en position droite.

12. Enclenchement d'ordre. — L'enclenchement qui interdit la formation de la combinaison 4 (exemple III, fig. 4) permet de placer les deux leviers en position renversée, à la condition de les manœuvrer dans l'ordre voulu. Dans le cas présent, il faut renverser a avant b. Pour ce motif, cet enclenchement est appelé *enclenchement d'ordre.*

C'est également un enclenchement d'ordre qui s'oppose à la formation de la combinaison 2 (exemple IV, fig. 5). Dans l'espèce, il faut renverser b avant a.

En fait, les combinaisons 4 $\left(\frac{a}{b}\right)$ et 2 $\left(\frac{b}{a}\right)$ ne diffèrent l'une de l'autre que par une simple permutation de leviers. L'enclenchement qui interdit ces combinaisons est le même dans les deux cas, de sorte que, en dépit des apparences, il n'y a qu'une seule sorte d'enclenchement binaire d'ordre.

Les enclenchements de simultanéité et d'ordre qui viennent d'être définis doivent être classés dans la catégorie des *enclenchements binaires de position*, parce que leur fonction est d'exclure une combinaison de position de leviers.

13. Enclenchements binaires de mouvement. — L'emploi des enclenchements de position donna d'excellents résultats que l'on considéra d'abord comme suffisants. Puis on s'aperçut que d'autres améliorations s'imposaient, notamment pour supprimer la possibilité de déraillements provenant soit de la manœuvre intempestive du levier d'une aiguille prise en pointe au moment de l'arrivée d'un train ou pendant le passage d'un train, soit de l'entrebaillement de la lame directrice d'une aiguille abordée par la pointe sous l'effet de réactions créées au passage des roues. Pour assurer le collage et l'immobilisation de la lame directrice, on eut recours à un dispositif de verrouillage, généralement actionné par un levier autre que celui de l'aiguille; mais il fallait alors empêcher l'aiguilleur de manœuvrer un levier d'aiguille lorsque celle-ci est verrouillée, car cette opération aurait eu pour résultat d'avarier la tringle de transmission de cette aiguille. La solution de ces problèmes fut obtenue par l'emploi des enclenchements binaires de mouvement. Il en existe deux sortes : l'enclenchement de mouvement renversé et l'enclenchement de mouvement droit.

14. Enclenchement de mouvement renversé. — *L'enclenchement de mouvement renversé* a pour office d'immobiliser un levier dans ses deux positions exrtêmes, sa position droite et sa position renversée, lorsque l'autre levier auquel il est relié est dans sa position renversée. Cela revient à supprimer sur le losange de Perrin (fig. 7) les déplacements 2-3 et 3-2 du levier b, pour interdire le passage de la combinaison 2 à la combinaison 3, et inversement lorsque le levier a est renversé. Il résulte de cette suppression que les

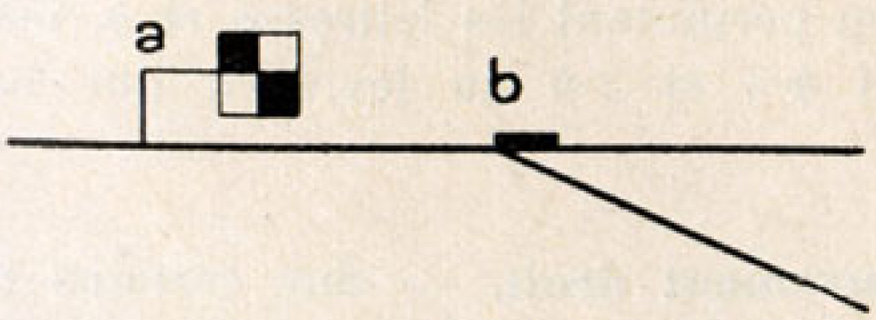


Fig. 6.

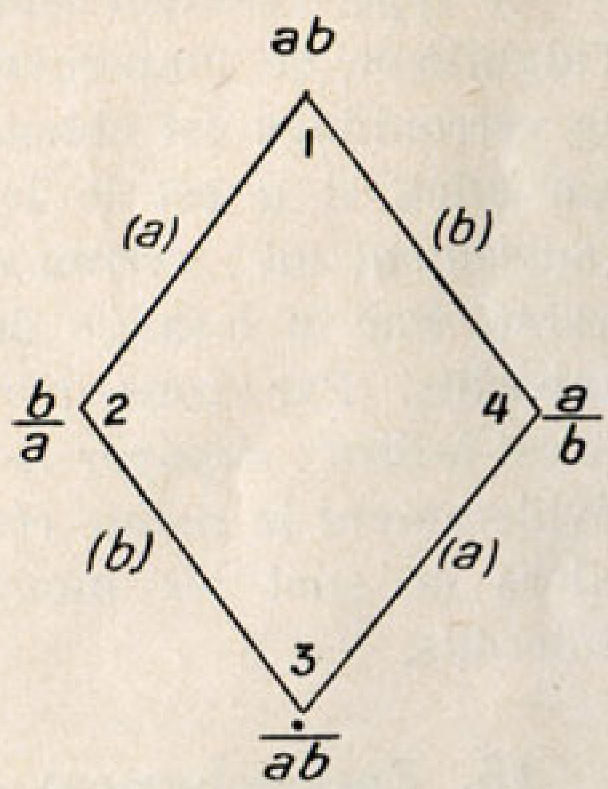


Fig. 7.

quatre combinaisons des leviers a et b sont permises et que le déplacement du levier b est incompatible avec le renversement du levier a. Si, comme l'indique la figure 6, le levier a manœuvre le signal carré qui précède l'aiguille b, on voit que, le fait d'ouvrir ce signal carré par le renversement de son levier, pour autoriser le passage d'un train, empêche l'aiguilleur de manœuvrer intempestivement cette aiguille.

Si l'on intervertit la fonction des leviers *a* et *b*, conformément aux indications de la figure 8, c'est le levier *a* qui est immobilisé en position droite ou renversée par le renversement du levier *b*, et alors ce sont les déplacements 4-3 et 3-4 du levier *a* qui sont interdits sur le losange de Perrin.

Dans l'un et l'autre cas, c'est le même enclenchement qui interdit le déplacement d'un levier reliant deux combinaisons voisines

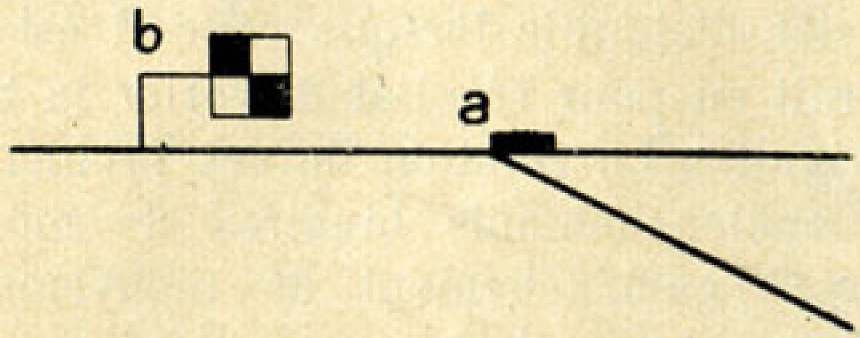


Fig. 8.

sur le losange de Perrin, lorsque l'autre levier est en position renversée. C'est la raison pour laquelle on lui donne le nom d'*enclenchement de mouvement renversé.*

Ce type d'enclenchement doit être aussi employé pour empêcher l'aiguilleur de manœuvrer une aiguille verrouillée dans le cas où le verrouillage est obtenu par le renversement du levier du verrou. En effet, si *a* est le levier du verrou de l'aiguille *b*, *a* renversé (autrement dit : *verrou engagé*) enclenche le levier *b* droit ou renversé. Sur le losange de Perrin, les déplacements 2-3 et 3-2 sont interdits. Par conséquent, l'aiguilleur doit redresser le levier *a* (c'est-à-dire : *dégager le verrou*) pour libérer le levier *b*. On obtient évidemment le même résultat en permutant les lettres *a* et *b*, mais alors ce sont les mouvements 4-3 et 3-4 du levier *a* qui sont interdits.

15. Enclenchement de mouvement droit. — Sur certains réseaux, le verrou reste normalement engagé afin d'éviter qu'un train ne puisse trouver une aiguille entrebaillée si le signal carré qui la précède vient à être franchi en position de fermeture.

Si *a* est le levier du verrou de l'aiguille *b*, *a* en position droite (autrement dit *verrou engagé*) enclenche *b* droit ou renversé. Sur le losange de Perrin, les quatre combinaisons sont permises, mais les déplacements 1-4 et 4-1 du levier *b* sont interdits par la position droite du levier *a*. Par conséquent, l'aiguilleur doit renverser le levier *a* (c'est-à-dire *dégager le verrou*) pour libérer le levier *b*.

Si l'on intervertit la fonction des leviers *a* et *b*, on obtient le même résultat, mais alors ce sont les mouvements 1-2 et 2-1 du levier *a* qui sont interdits.

En résumé, l'impossibilité pour l'aiguilleur de changer la position de l'aiguille est réalisée par la position droite du levier du verrou, d'où le nom d'*enclenchement de mouvement droit* donné à ce type d'enclenchement.

CHAPITRE III

NOTATION DES ENCLENCHEMENTS

16. Notation Cossmann. — Les enclenchements de position et de mouvement ne concernent pas seulement les groupements de deux leviers; nous aurons ultérieurement à en étudier l'application aux groupements de trois leviers et plus. Or, il est évident *a priori* que le nombre des combinaisons de positions de leviers s'élève rapidement avec le nombre de ces leviers, de sorte qu'on a reconnu la nécessité de créer un mode d'écriture ou *notation* permettant de désigner chaque enclenchement d'une manière précise et brève, sinon il eût fallu avoir recours à des périphrases d'une exactitude douteuse.

La notation la plus connue est celle imaginée par M. Cossmann, Ingénieur de la Compagnie du Nord. Elle consiste à écrire l'enclenchement à réaliser sous la forme d'une fraction dans laquelle le levier enclencheur se place au numérateur et le levier enclenché au dénominateur, chaque levier étant désigné par son symbole (lettre ou numéro) accompagné de l'indication de sa position droite ou renversée dans l'enclenchement.

17. Enclenchement de simultanéité. — L'enclenchement de simultanéité entre les leviers *a* et *b* s'écrira donc : $\frac{a\mathrm{R}}{b\mathrm{D}}$ et $\frac{b\mathrm{R}}{a\mathrm{D}}$; ce qui doit se lire : *a* Renversé immobilise (autrement dit enclenche) *b* Droit, et *b* Renversé enclenche *a* Droit. La formule $\frac{a\mathrm{R}}{b\mathrm{D}}$ indique qu'après avoir renversé le levier *a*, le levier *b* ne peut pas être déplacé de sa position droite; cette formule caractérise l'enclenchement qui interdit le passage de la position 2 à la position 3 sur le losange de Perrin. Quant à la formule $\frac{b\mathrm{R}}{a\mathrm{D}}$, elle signifie qu'après avoir renversé le levier *b* le levier *a* ne peut pas l'être; elle caractérise un deuxième enclenchement, celui qui interdit le passage de la combinaison 4 à la combinaison 3 sur le losange de Perrin.

Il importe de bien remarquer que l'organe enclencheur doit nécessairement matérialiser à la fois les deux formules $\frac{a\text{R}}{b\text{D}}$ et $\frac{b\text{R}}{a\text{D}}$. En effet, supposons pour un instant que l'organe enclencheur soit construit de façon à réaliser seulement l'interdiction indiquée par la formule $\frac{a\text{R}}{b\text{D}}$. Partant de la combinaison 1, toujours possible par construction, on peut à volonté renverser a ou b. Si l'on a renversé a, l'organe enclencheur immobilise b dans sa position droite et il est impossible de former la combinaison 3. Mais si l'on a commencé par renverser b, comme par hypothèse, la formule $\frac{b\text{R}}{a\text{D}}$ n'est pas matérialisée, rien n'empêche de renverser a aussi et d'avoir à la fois aR et bR.

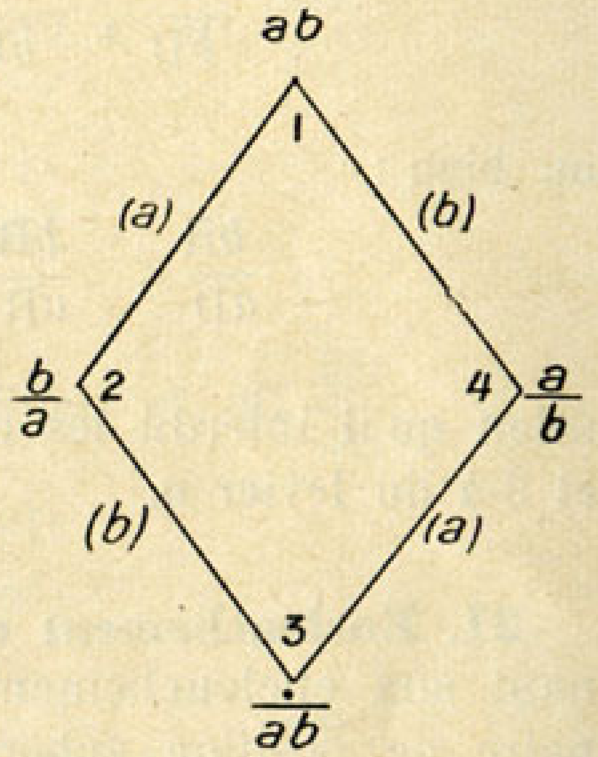


Fig. 9.

18. Enclenchement d'ordre. — L'enclenchement d'ordre entre les leviers a et b est défini par les formules : $\frac{a\text{D}}{b\text{D}}$ et $\frac{b\text{R}}{a\text{R}}$ ou bien $\frac{b\text{D}}{a\text{D}}$ et $\frac{a\text{R}}{b\text{R}}$, selon qu'il doit interdire la combinaison 4 ou la combinaison 2.

19. Enclenchement de mouvement droit. — L'enclenchement de mouvement droit est défini par les trois formules :

$$\frac{a\text{D}}{b\text{D}}, \quad \frac{a\text{D}}{b\text{R}} \quad \text{et} \quad \frac{b \text{ pendant sa course}}{a\text{R}}$$

ou bien :

$$\frac{b\text{D}}{a\text{D}}, \quad \frac{b\text{D}}{a\text{R}} \quad \text{et} \quad \frac{a \text{ pendant sa course}}{b\text{R}}$$

selon qu'il interdit les déplacements 1-4 et 4-1 du levier b ou 1-2 et 2-1 du levier a.

20. Enclenchement de mouvement renversé. — L'enclenchement de mouvement renversé est défini par :

$$\frac{a\text{R}}{b\text{D}}, \quad \frac{a\text{R}}{b\text{R}} \quad \text{et} \quad \frac{b \text{ pendant sa course}}{a\text{D}}$$

ou bien :

$$\frac{b\text{R}}{a\text{D}}, \quad \frac{b\text{R}}{a\text{R}} \quad \text{et} \quad \frac{a \text{ pendant sa course}}{b\text{D}}$$

selon qu'il interdit les déplacements 2-3 et 3-2 du levier b ou 4-3 et 3-4 du levier a.

21. Enclenchement conditionnel ternaire. — Arrivons maintenant aux enclenchements conditionnels. Soit l'enclenchement ternaire de position subordonnant l'ouverture du signal d'avertissement a au renversement de l'un des leviers b et c du signal carré situé en aval du signal d'avertissement. On démontrera plus loin que l'organe enclencheur doit nécessairement matérialiser les trois formules suivantes :

$$1.\ \text{Si } b\text{D}, \ \frac{c\text{D}}{a\text{D}} \ ; \ 2.\ \text{Si } c\text{D}, \ \frac{a\text{R}}{b\text{R}} \ ; \ 3.\ \text{Si } a\text{R}, \ \frac{b\text{D}}{c\text{R}}$$

qui, par simple permutation des deux termes du numérateur, se transforment ainsi :

$$1\ \textit{bis}.\ \text{Si } c\text{D}, \ \frac{b\text{D}}{a\text{D}} \ ; \ 2\ \textit{bis}.\ \text{Si } a\text{R}, \ \frac{c\text{D}}{b\text{R}} \ ; \ 3\ \textit{bis}.\ \text{Si } b\text{D}, \ \frac{a\text{R}}{c\text{R}} .$$

Mais on peut encore exprimer le même enclenchement par les trois formules suivantes obtenues en inscrivant deux leviers au lieu d'un seul au dénominateur :

$$4.\ \frac{b\text{D}}{a\text{D ou } c\text{R}} \ ; \ 5.\ \frac{c\text{D}}{a\text{D ou } b\text{R}} \ ; \ 6.\ \frac{a\text{R}}{b\text{R ou } c\text{R}}$$

soit au total 9 formules distinctes.

22. Enclenchement conditionnel quaternaire. — Terminons par un exemple d'enclenchement quaternaire de position établissant la dépendance suivante : les leviers a et d ne peuvent pas occuper tous deux la position renversée lorsque les leviers b et c

sont droits. Dans ce cas, l'organe enclencheur doit matérialiser les 28 formules suivantes :

$$1.\ \text{Si } b\text{D et } c\text{D}, \frac{a\text{R}}{d\text{D}}\ ;\ 1\ \textit{bis}.\ \text{Si } c\text{D et } a\text{R}, \frac{b\text{D}}{d\text{D}};$$

$$1\ \textit{ter}.\ \text{Si } a\text{R et } b\text{D}, \frac{c\text{D}}{d\text{D}}\ ;$$

$$2.\ \text{Si } b\text{D et } c\text{D}, \frac{d\text{R}}{a\text{D}}\ ;\ 2\ \textit{bis}.\ \text{Si } c\text{D et } d\text{R}, \frac{b\text{D}}{a\text{D}};$$

$$2\ \textit{ter}.\ \text{Si } d\text{R et } b\text{D}, \frac{c\text{D}}{a\text{D}}\ ;$$

$$3.\ \text{Si } b\text{D et } a\text{R}, \frac{d\text{R}}{c\text{R}}\ ;\ 3\ \textit{bis}.\ \text{Si } a\text{R et } d\text{R}, \frac{b\text{D}}{c\text{R}};$$

$$3\ \textit{ter}.\ \text{Si } d\text{R et } b\text{D}, \frac{a\text{R}}{c\text{R}};$$

$$4.\ \text{Si } c\text{D et } a\text{R}, \frac{d\text{R}}{b\text{R}}\ ;\ 4\ \textit{bis}.\ \text{Si } a\text{R et } d\text{R}, \frac{c\text{D}}{b\text{R}};$$

$$4\ \textit{ter}.\ \text{Si } d\text{R et } c\text{D}, \frac{a\text{R}}{b\text{R}}\ ;$$

$$5.\ \text{Si } b\text{D}, \frac{c\text{D}}{a\text{D ou } d\text{D}}\ ;\ 5\ \textit{bis}.\ \text{Si } c\text{D}, \frac{b\text{D}}{a\text{D ou } d\text{D}}\ ;$$

$$6.\ \text{Si } b\text{D}, \frac{a\text{R}}{c\text{R ou } d\text{D}}\ ;\ 6\ \textit{bis}.\ \text{Si } a\text{R}, \frac{b\text{D}}{c\text{R ou } d\text{D}}\ ;$$

$$7.\ \text{Si } b\text{D}, \frac{d\text{R}}{a\text{D ou } c\text{R}};\ 7\ \textit{bis}.\ \text{Si } d\text{R}, \frac{b\text{D}}{a\text{D ou } c\text{R}}\ ;$$

$$8.\ \text{Si } c\text{D}, \frac{a\text{R}}{b\text{R ou } d\text{D}}\ ;\ 8\ \textit{bis}.\ \text{Si } a\text{R}, \frac{c\text{D}}{b\text{R ou } d\text{D}}\ ;$$

$$9.\ \text{Si } c\text{D}, \frac{d\text{R}}{a\text{D ou } b\text{R}}\ ;\ 9\ \textit{bis}.\ \text{Si } d\text{R} \frac{c\text{D}}{a\text{D ou } b\text{R}}\ ;$$

10. Si $a\mathrm{R}, \dfrac{d\mathrm{R}}{b\mathrm{R} \text{ ou } c\mathrm{R}}$; 10 *bis*. Si $d\mathrm{R}, \dfrac{a\mathrm{R}}{b\mathrm{R} \text{ ou } c\mathrm{R}}$;

11. $\dfrac{a\mathrm{R}}{b\mathrm{R} \text{ ou } c\mathrm{R} \text{ ou } d\mathrm{D}}$; 12. $\dfrac{b\mathrm{D}}{a\mathrm{D} \text{ ou } c\mathrm{R} \text{ ou } d\mathrm{D}}$;

13. $\dfrac{c\mathrm{D}}{a\mathrm{D} \text{ ou } b\mathrm{R} \text{ ou } d\mathrm{D}}$; 14. $\dfrac{d\mathrm{R}}{a\mathrm{D} \text{ ou } b\mathrm{R} \text{ ou } c\mathrm{R}}$;

Bien entendu, les formules d'enclenchements quinaires sont encore plus nombreuses.

23. Nombre d'énoncés d'un enclenchement dans la notation Cossmann. — D'une manière générale, le nombre N_L des formules permettant d'écrire et d'énoncer un enclenchement dans le système Cossmann est donné par l'expression suivante dans laquelle L désigne le nombre des leviers reliés par l'enclenchement, C_L^L, C_L^{L-1}, C_L^{L-2}, C_L^3, C_L^2, désignent les nombres de combinaisons (au sens algébrique du mot) (1) formées par L leviers pris L à L, (L — 1) à (L — 1) ....., 3 à 3 et enfin 2 à 2 : $N_L = 2\,C_L^2 + 3\,C_L^3 + \ldots\ldots (L-1)\,C_L^{L-1} + L C_L^L$, de sorte que pour L = 2, 3, 4, 5 ou 6, on obtient : $N_2 = 2$; $N_3 = 9$; $N_4 = 28$; $N_5 = 75$; $N_6 = 186$.

On voit avec quelle rapidité le nombre des formules s'élève.

24. Critique de la notation Cossmann. — La notation Cossmann, qui donne des formules simples dans le cas des enclenchements binaires, est inutilisable dans le cas des enclenchements conditionnels, surtout lorsque ceux-ci intéressent plus de trois leviers, en raison de la multiplicité des formules susceptibles de traduire une incompatibilité et surtout de la difficulté de reconnaître leur équivalence.

D'après M. Bricka (2), « la notation Cossmann a l'inconvénient « de substituer aux relations fondamentales qui doivent exister « entre les appareils pour qu'une condition donnée de sécurité soit « réalisée, une des liaisons mécaniques destinées à produire ce « résultat. Elle ne fait pas ressortir le rôle de ces liaisons dont une

(1) On sait que le nombre C_m^n des combinaisons de m objets pris n à n est égal à :

$$C_m^n = \frac{m.\,(m-1\,\ldots\ldots\,(m-n+1)}{1.2\,\ldots\ldots\,(n-1)\,.n}$$

(2) *Cours de Chemins de fer* professé à l'Ecole des Ponts et Chaussées par G. Bricka (Tome I, page 455).

« partie est supposée exister implicitement sans que rien n'indique « qu'il en soit ainsi; elle complique en outre, comme on le verra « plus loin, l'étude des relations des enclenchements entre eux ». M. Bricka ajoute « qu'il est plus simple et plus clair de définir les « enclenchements par la combinaison des positions des appareils « considérés qu'ils ont pour objet d'éviter ».

25. Notation Bricka. — C'est là le principe de la *notation par incompatibilité* dont l'invention revient effectivement à M. Bricka. Cette notation consiste à écrire entre crochets le symbole de chacun des leviers intéressés dans les positions que l'enclenchement a pour office de rendre incompatibles. Voici des exemples (fig. 9) :

L'*enclenchement de simultanéité* (combinaison 3 exclue) est défini par l'incompatibilité [*a*R, *b*R] qui s'énonce : *a*R est incompatible avec *b*R.

L'*enclenchement d'ordre* correspond à l'incompatibilité [*b*D, *a*R] ou à l'incompatibilité [*a*D, *b*R] suivant que la combinaison 2 ou la combinaison 4 est exclue.

L'*enclenchement de mouvement droit* est défini par [*b*D, mouvement de *a*] lorsque les déplacements 1 — 2 et 2 — 1 du levier *a* sont interdits ou par [*a*D, mouvement de *b*] lorsque les déplacements 1 — 4 et 4 — 1 du levier *b* sont interdits.

L'*enclenchement de mouvement renversé* est défini par [*a*R, mouvement de *b*] lorsque les déplacements 2 — 3 et 3 — 2 de *b* sont interdits ou par [*b*R, mouvement de *a*] lorsque les déplacements 4 — 3 et 3 — 4 de *a* sont interdits.

Les enclenchements ternaire et quaternaire indiqués en notation Cossmann ont respectivement pour formule d'incompatibilité : [*a*R, *b*D, *c*D] et [*a*R, *b*D, *c*D, *d*R].

26. Notation Descubes. — Pour simplifier les inscriptions, M. Descubes (1), Directeur des Travaux à la Compagnie de l'Est, a remplacé les lettres D et R utilisées dans la notation Bricka par les signes + et — placés en exposant et il a adopté le signe ± placé aussi en exposant pour indiquer les leviers en mouvement, de sorte que les formules d'incompatibilité qui viennent de servir d'exemples dans la notation Bricka : [*a*R, *b*R] ; [*b*D, *a*R] ; [*a*D, *b*R] ; [*b*D, mouvement de *a*] ; [*a*D, mouvement de *b*] ; [*a*R, mouvement

---

(1) Etude sur les Enclenchements, par M. Descubes (*Revue générale des Chemins de fer*, n° 5, novembre 1898).

de *b*]; [*b*R, mouvement *a*]; [*a*R, *b*D, *c*D] et [*a*R, *b*D, *c*D, *d*R] deviennent respectivement dans la notation Descubes : $[a^-b^-]$; $[b^+a^-]$; $[a^+b^-]$; $[b^+a^\pm]$; $[a^+b^\pm]$; $[a^-b^\pm]$; $[b^-a^\pm]$; $[a^-b^+c^+]$ et $[a^-b^+c^+d^-]$.

La simplification ainsi obtenue est évidente.

27. Notation Perrin. — Enfin, M. Perrin a aussi imaginé une notation par incompatibilité qui se distingue des deux précédentes par son extrême simplicité et sa clarté. M. Perrin écrit chaque combinaison de positions de leviers sous la forme d'une fraction dont le numérateur comprend le ou les leviers qui sont en position droite et dont le dénominateur est formé du ou des leviers qui sont en position renversée.

Lorsque tous les leviers d'une combinaison sont en position renversée, on les inscrit au dénominateur d'une fraction dont le numérateur est représenté par un point, comme par exemple : $\frac{\cdot}{abc}$. Au contraire, si tous les leviers sont en position droite dans une combinaison, on met un point au dénominateur, exemple : $\frac{abc}{\cdot}$, ou plus simplement on supprime le dénominateur en omettant le point ainsi que la barre de fraction et l'exemple ci-dessus devient : *abc*.

Il résulte de ceci qu'un levier M en position droite s'écrit M et que le même levier en position renversée s'écrit $\frac{\cdot}{\mathrm{M}}$.

Enfin, pour représenter la mise en mouvement d'un levier on écrit son symbole entre parenthèses. Ainsi l'expression (M) indique le déplacement du levier M.

Il reste convenu que l'inscription entre crochets d'une combinaison de leviers suffit à lui donner le caractère d'une incompatibilité, mais il est aussi évident que les crochets peuvent être supprimés lorsque le texte indique que cette combinaison est une incompatibilité. Par exemple $\left[\frac{ab}{c}\right]$ est équivalent à l'incompatibilité $\frac{ab}{c}$.

Les neuf formules d'incompatibilité écrites plus haut d'après les systèmes Bricka et Descubes deviennent respectivement en notation Perrin : $\frac{\cdot}{ab}$; $\frac{b}{a}$; $\frac{a}{b}$; $b\,(a)$; $a\,(b)$; $\frac{}{a}\,(b)$; $\frac{\cdot}{b}\,(a)$; $\frac{bc}{a}$ et $\frac{bc}{ad}$.

28. Transformations d'une formule d'incompatibilité. — Mais la notation Perrin présente encore l'avantage de permettre, avec beaucoup plus de clarté que les systèmes Bricka et Descubes, la transformation de la formule d'une incompatibilité quelconque en équations définissant chacune des liaisons élémentaires dont l'association constitue l'enclenchement proprement dit qui matérialise cette incompatibilité. Cette transformation s'accomplit en écrivant à la suite de la formule d'incompatibilité : 1° le signe « = » qui doit se lire « immobilise » ou bien « enclenche » ; 2° le symbole « $\frac{\cdot}{\cdot}$ » qui est celui d'une fraction à termes indéterminés. Puis, on transporte à droite du signe « = » l'un quelconque des leviers figurant dans l'incompatibilité en ayant soin de le placer au numérateur de la nouvelle fraction s'il était au dénominateur de l'incompatibilité ou inversement de le mettre au dénominateur de la nouvelle fraction s'il était au numérateur de l'incompatibilité, comme si l'on opérait sur une équation algébrique. On répète cette opération autant de fois que la formule d'incompatibilité comprend de leviers, de façon à faire figurer chacun des leviers une seule fois à droite du signe « = ».

Par exemple de $\left[\frac{\cdot}{ab}\right]$ on tire :

$\frac{\cdot}{a} = b$, qui se lit : aR immobilise (ou enclenche) bD, et $\frac{\cdot}{b} = a$, qui se lit : bR immobilise (ou enclenche) aD,

De l'incompatibilité $\left[\frac{bc}{a}\right]$ on tire :

I. — $\frac{b}{a} = \frac{\cdot}{c}$, qui se lit : si bD, aR enclenche cR,

II. — $\frac{c}{a} = \frac{\cdot}{b}$, qui se lit : si cD, aR enclenche bR,

III. — $bc = a$, qui se lit : si bD, cD enclenche aD, ou encore : bD et cD enclenchent aD.

Lorsqu'une formule d'incompatibilité contient un levier à l'état de mouvement, la règle ci-dessus doit être légèrement modifiée comme le montrent les exemples suivants :

De $[a(b)]$ on tire :

I. — $(b) = \frac{\cdot}{a}$, qui s'énonce : le mouvement de b enclenche aR, ou encore : b pendant sa course enclenche aR,

$$\left.\begin{matrix}\text{II}\\ \text{et}\\ \text{III}\end{matrix}\right\} a = (b) \text{ qui se dédouble en } \left\{\begin{aligned} a &= b \\ a &= \frac{\cdot}{b}\end{aligned}\right.$$

Ceci s'énonce : aD immobilise bD et bR.

De même, de l'incompatibilité $\left[\frac{(a)}{bc}\right]$ on tire :

I. — $\frac{(a)}{b} = c$, qui se lit : si bR, le mouvement de a enclenche cD,

II. — $\frac{(a)}{c} = b$, qui se lit : si cR, le mouvement de a enclenche bD,

$$\left.\begin{array}{c}\text{III}\\ \text{et}\\ \text{IV}\end{array}\right\} \frac{\cdot}{bc} = (a), \text{ qui se dédouble en } \left\{\begin{array}{l} \frac{\cdot}{bc} = a;\ b\text{R et } c\text{R enclenchent } a\text{D},\\ \frac{\cdot}{bc} = \frac{\cdot}{a};\ b\text{R et } c\text{R enclenchent } a\text{R}.\end{array}\right.$$

Dans son mémoire, M. Perrin indique que de toute formule d'incompatibilité comprenant plus de deux leviers, on peut tirer d'autres équations en faisant passer non plus un, mais plusieurs leviers (et au maximum tous les leviers moins un) à droite du signe « = »; mais alors il faut énoncer le second membre de l'équation en intercalant le mot « ou » entre chacun des leviers qui y figurent.

Reprenons à titre d'exemple l'incompatibilité $\left[\frac{bc}{a}\right]$ dont on a tiré plus haut les trois équations : $\frac{b}{a} = \frac{\cdot}{c}$; $\frac{c}{a} = \frac{\cdot}{b}$; $bc = a$. En faisant passer deux leviers au lieu d'un à droite du signe « = », on obtiendra les trois nouvelles équations suivantes :

$$b = \frac{a}{c}; \qquad c = \frac{a}{b}; \qquad \frac{\cdot}{a} = \frac{\cdot}{bc}.$$

La première s'énonce : bD enclenche aD *ou* cR.

29. Transformation d'une formule d'enclenchement élémentaire. — On vient de voir combien il est aisé de déduire d'une formule d'incompatibilité tous les enclenchements ou liaisons élémentaires dont l'association est nécessaire pour matérialiser cette incompatibilité.

La transformation inverse est aussi facile; toutefois, comme un enclenchement élémentaire isolé peut entrer dans la composition de deux incompatibilités différentes, il faut au moins deux enclenchements élémentaires pour déterminer une seule incompatibilité.

Par exemple, l'enclenchement élémentaire : si aD, $\frac{c\text{R}}{b\text{R}}$ se trans-

transcrit immédiatement en $\frac{a}{c} = \frac{\cdot}{b}$ qui constitue un élément des deux incompatibilités $\left[\frac{ab}{c}\right]$ et $\left[\frac{a}{c}(b)\right]$.

En adjoignant à $\frac{a}{c} = \frac{\cdot}{b}$ un second enclenchement élémentaire, on éliminera à coup sûr celle des deux incompatibilités qui ne convient pas.

Ce second enclenchement élémentaire pourra être :

$$\text{si } a\mathrm{D}, \frac{b\mathrm{D}}{c\mathrm{D}} \text{ qui se transcrit en } ab = c,$$

$$\text{ou : si } b\mathrm{D}, \frac{c\mathrm{R}}{a\mathrm{R}} \text{ qui se transcrit en } \frac{b}{c} = \frac{\cdot}{a};$$

l'un ou l'autre combiné avec le premier détermine l'incompatibilité $\left[\frac{ab}{c}\right]$.

Au contraire, si le second enclenchement élémentaire est : si $a\mathrm{D}$, $\frac{c\mathrm{R}}{b\mathrm{D}}$ qui se transcrit en $\frac{a}{c} = b$, c'est l'incompatibilité $\left[\frac{a}{c}(b)\right]$ qui se trouve déterminée. En effet : $\frac{a}{c} = \frac{\cdot}{b}$ et $\frac{a}{c} = b$ dérivent nécessairement de $\frac{a}{c} = (b)$ qui lui-même provient de $\left[\frac{a}{c}(b)\right]$.

30. Diagrammes Perrin. — M. Perrin a encore imaginé un mode de représentation des combinaisons de leviers et de leurs déplacements susceptible de faciliter beaucoup la compréhension du rôle des enclenchements. La description en a été donnée à propos des combinaisons formées par deux leviers : c'est le losange de Perrin. Ce procédé d'illustration peut s'étendre, moyennant une transformation convenable, aux enclenchements conditionnels; mais avant de l'exposer, il est nécessaire d'apprendre à rechercher toutes les combinaisons que peuvent former les positions droite et renversée de leviers groupés par 3, 4, 5, etc.

31. Combinaisons des positions possibles d'un groupe de *n* leviers. — Commençons par un groupe de trois leviers. Il est évident que l'on obtiendra toutes les combinaisons possibles des positions des leviers *a*, *b*, *c* en écrivant « *c*D » et « *c*R » à la suite de chacune des quatre combinaisons des deux leviers *a* et *b*.

Avec ab on forme abc et $\dfrac{ab}{c}$,

Avec $\dfrac{b}{a}$ on forme $\dfrac{bc}{a}$ et $\dfrac{b}{ac}$,

Avec $\dfrac{\cdot}{ab}$ on forme $\dfrac{c}{ab}$ et $\dfrac{\cdot}{abc}$,

Avec $\dfrac{a}{b}$ on forme $\dfrac{ac}{b}$ et $\dfrac{a}{bc}$,

soit $4 \times 2 = 8$ combinaisons de trois leviers.

De même, on obtiendra tous les groupements possibles des positions des leviers *a, b, c, d* en écrivant « dD » et « dR » à la suite de chacune des huit combinaisons des leviers *a, b* et *c*, ce qui donnera les $8 \times 2 = 16$ combinaisons suivantes :

$$abcd \text{ et } \frac{abc}{d}; \quad \frac{abd}{c} \text{ et } \frac{ab}{cd}; \quad \frac{bcd}{a} \text{ et } \frac{bc}{ad}; \quad \frac{bd}{ac} \text{ et } \frac{b}{acd};$$

$$\frac{cd}{ab} \text{ et } \frac{c}{abd}; \quad \frac{d}{abc} \text{ et } \frac{\cdot}{abcd}; \quad \frac{acd}{b} \text{ et } \frac{ac}{bd}; \quad \frac{ad}{bc} \text{ et } \frac{a}{bcd}.$$

De même encore on obtiendra tous les groupements possibles des positions des leviers *a, b, c, d, e* en écrivant « eD » et « eR » à la suite de chacune des 16 combinaisons ci-dessus et ainsi de suite de proche en proche. D'une manière générale, le nombre C des combinaisons possibles des positions d'un groupe L de leviers est : $C = 2^L$.

Un peu d'attention suffit pour se rendre compte que dans l'ensemble des combinaisons d'un groupe de L leviers, chacun d'eux figure en position droite dans une moitié des combinaisons et en position renversée dans l'autre moitié. Il en résulte que le nombre des déplacements nécessaires pour faire passer chaque levier d'une position à l'autre dans l'ensemble des combinaisons d'un groupe de L leviers est égal à $\dfrac{C}{2}$ et que pour les L leviers du groupe le nombre D de tous ces déplacements est :

$$D = \frac{C}{2} \times L = \frac{2^L}{2} \times L = L \times 2^{L-1}.$$

32. Diagramme Perrin pour trois leviers. — En appliquant ces formules au cas de trois leviers on trouve :

$$C = 2^3 = 8 \qquad D = 3 \times 2^{3-1} = 3 \times 4 = 12.$$

Ainsi donc, avec trois leviers, on peut former 8 combinaisons reliées les unes aux autres par 12 déplacements. C'est ce qui a conduit M. Perrin à utiliser un cube ou plutôt un parallélipipède pour représenter ces éléments, puisque chacune de ces figures géométriques possède huit sommets et douze côtés ou arêtes.

On peut adopter la disposition indiquée par la figure 10 où les huit combinaisons sont numérotées dans un ordre tel qu'on peut les former toutes successivement sans avoir à repasser deux fois par la même.

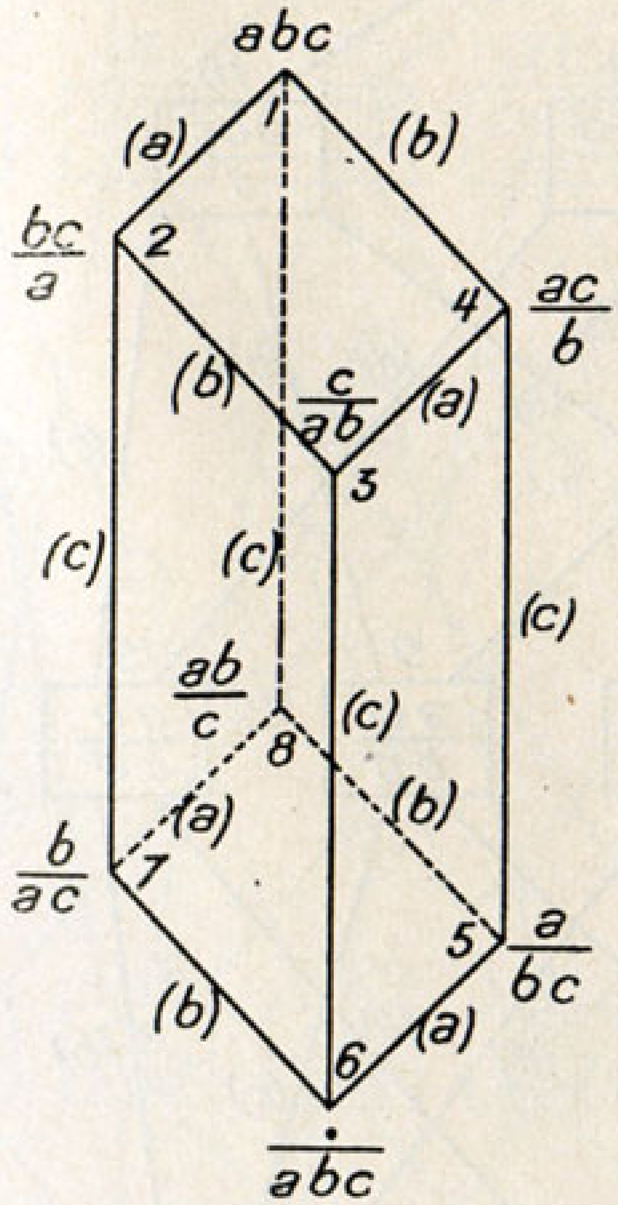


FIG. 10.

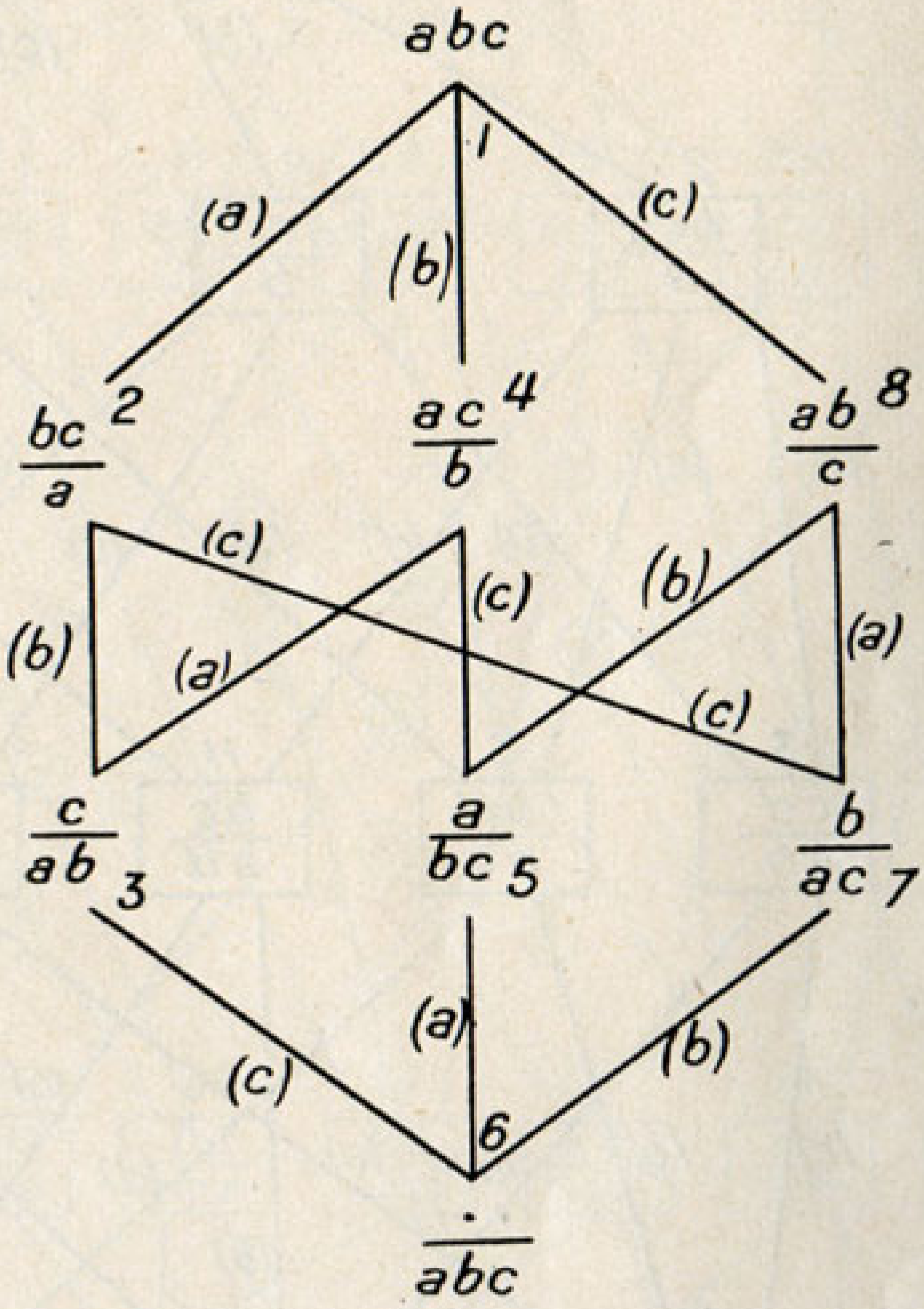


FIG. 11.

33. Application du diagramme Perrin aux cas de 4 et 5 leviers. — En appliquant les deux formules $C = 2^L$ et $D = L \times 2^{L-1}$ à un groupe de quatre leviers on obtient 16 combinaisons et 32 mouvements de leviers; on a de même pour un groupe de cinq leviers, 32 combinaisons et 80 mouvements.

Afin de pouvoir représenter ces éléments d'une façon simple et claire, quel que soit leur nombre, nous avons fait subir au parallélipipède de Perrin la transformation indiquée par la figure 11 qui nous servira de prototype pour tracer les diagrammes relatifs aux groupements de plus de trois leviers.

Cette transformation s'obtient en écrivant d'abord la combinaison abc; puis, un peu au-dessous, les combinaisons $\frac{bc}{a}$, $\frac{ac}{b}$ et $\frac{ab}{c}$ qui dérivent de abc par le renversement d'un levier.

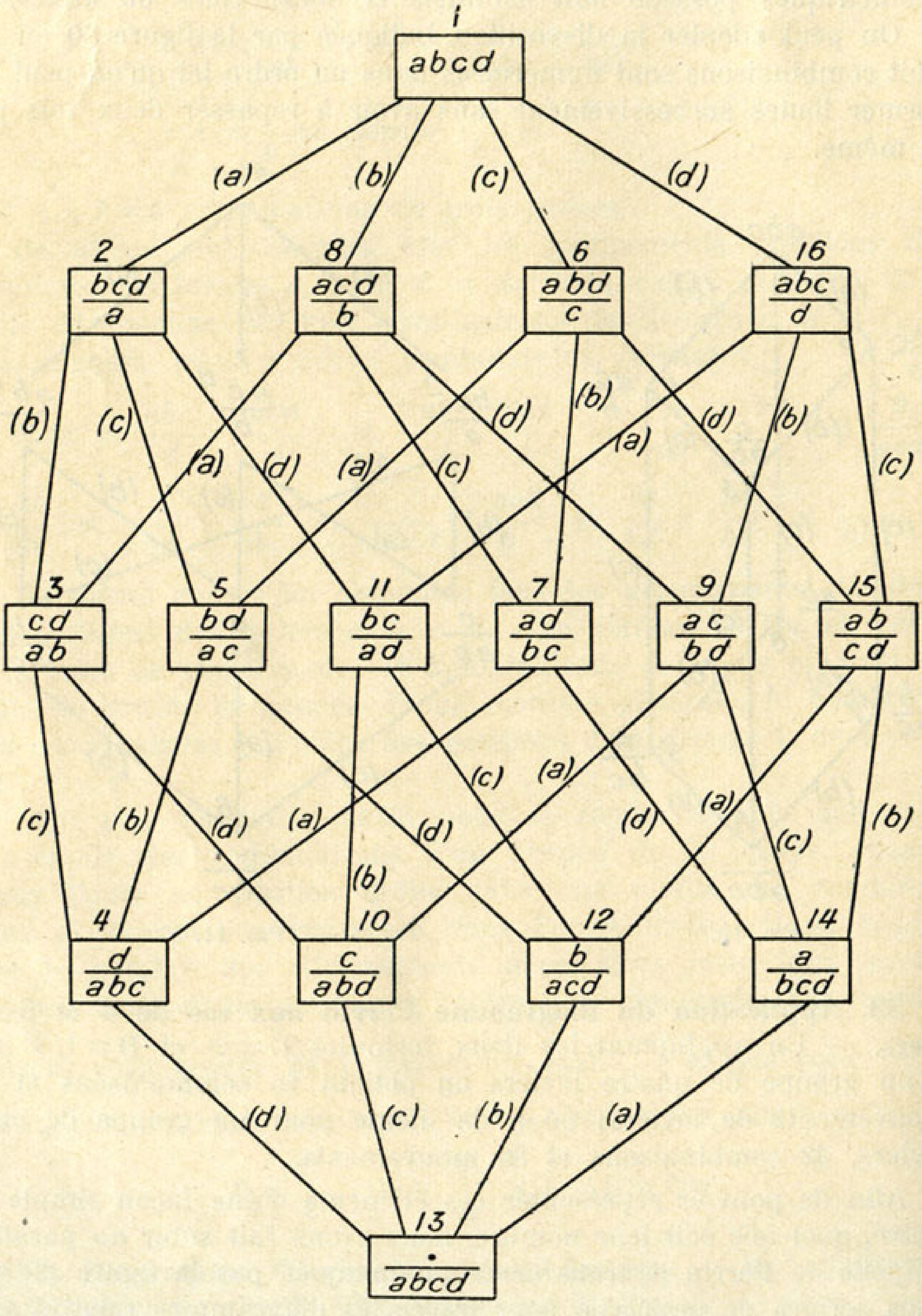


FIG. 12.

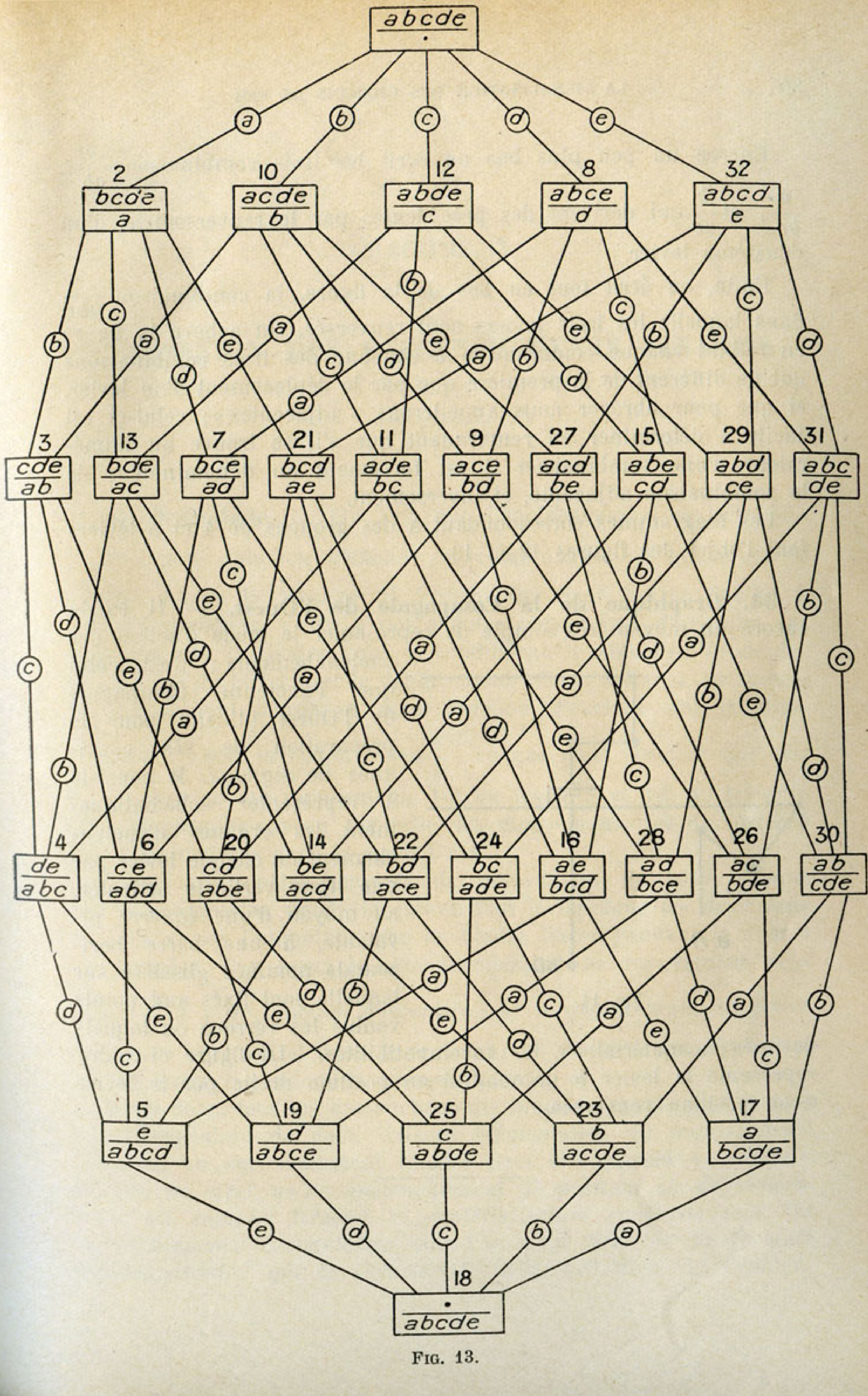

abcde / ·
2 bcde / a
10 acde / b
12 abde / c
8 abce / d
32 abcd / e
3 cde / ab
13 bde / ac
7 bce / ad
21 bcd / ae
11 ade / bc
9 ace / bd
27 acd / be
15 abe / cd
29 abd / ce
31 abc / de
4 de / abc
6 ce / abd
20 cd / abe
14 be / acd
22 bd / ace
24 bc / ade
16 ae / bcd
28 ad / bce
26 ac / bde
30 ab / cde
5 e / abcd
19 d / abce
25 c / abde
23 b / acde
17 a / bcde
18 · / abcde

FIG. 13.

Encore un peu plus bas on écrit les trois combinaisons $\frac{c}{ab}$, $\frac{a}{bc}$, et $\frac{b}{ac}$ qui dérivent des précédentes par le renversement d'un deuxième levier.

Enfin, on écrit tout en bas de la figure, la combinaison $\frac{\cdot}{abc}$ dans laquelle les trois leviers sont renversés. On achève la figure en reliant chaque combinaison à chacune des trois combinaisons qui ne diffèrent de la première que par le déplacement d'un levier, et que pour abréger nous appellerons « adjacentes » ; celui-ci est facile à déterminer en remarquant que s'il se trouve au numérateur d'une combinaison il est forcément au dénominateur de la combinaison adjacente, et inversement.

Les diagrammes correspondant à des groupes de 4 et 5 leviers font l'objet des figures 12 et 13.

34. Graphique de la Compagnie de l'Ouest. — Il existe encore un moyen très simple de représenter le mode d'action des enclenchements : c'est celui que l'ancienne Compagnie de l'Ouest utilisait pour la préparation de ses consignes de signaux. Il consiste à représenter schématiquement les organes d'enclenchement de chaque levier par une ligne verticale articulée, au moyen d'une équerre pivotante, à une barre horizontale nommée glissière sur laquelle sont fixés aux points voulus les verrous ou taquets destinés à matérialiser les incompatibilités. La figure ci-contre représente le levier b immobilisé en position droite par le levier a en position renversée.

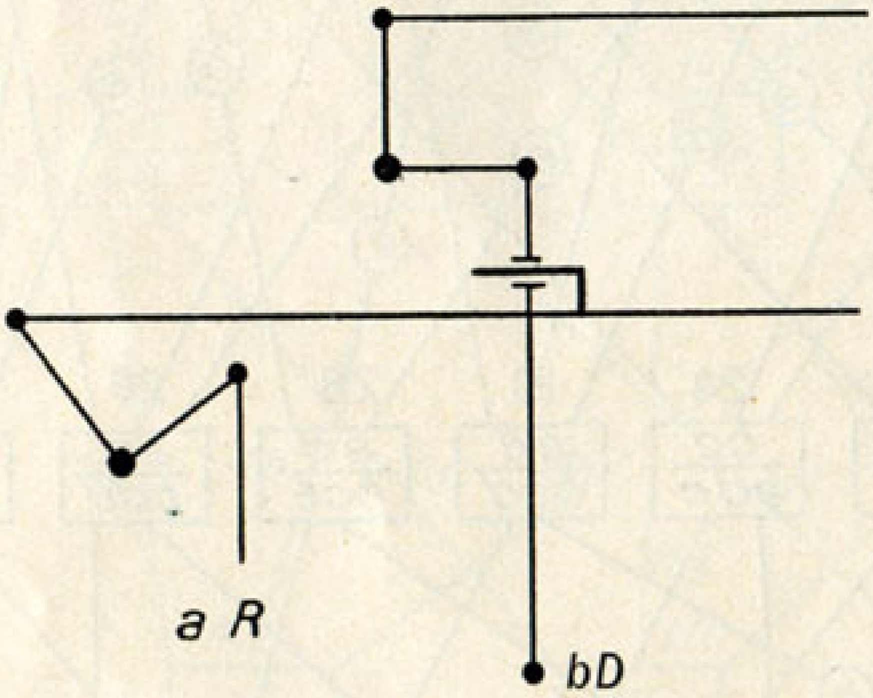


Fig. 14.

CHAPITRE IV

RÉALISATION DES ENCLENCHEMENTS BINAIRES

35. Préambule. — On sait que l'enclenchement de simultanéité a pour fonction d'exclure la combinaison $\frac{\cdot}{ab}$ qui porte le numéro 3 sur le losange de Perrin. Or, pour barrer l'accès à cette combinaison, il n'y a pas d'autre moyen que d'interdire les déplacements de leviers qui y conduisent, c'est-à-dire le déplacement 2-3 du levier *b* et le déplacement 4-3 du levier *a*. De même, l'enclenchement d'ordre a pour fonction d'exclure soit la combinaison $\frac{b}{a}$, soit la combinaison $\frac{a}{b}$, ce qui n'est possible que par la suppression des mouvements 1-2 du levier *a* et 3-2 du levier *b* dans le premier cas ou par celle des mouvements 1-4 du levier *b* et 3-4 du levier *a* dans le second cas.

Quant aux enclenchements de mouvement ils sont obtenus par la suppression du déplacement d'un levier *dans les deux sens opposés* et par l'immobilisation de l'autre levier pendant la course du premier. Par exemple, l'enclenchement de mouvement renversé $\frac{(a)}{b}$ a pour fonction d'interdire : 1° le déplacement du levier *a* dans le sens 4-3 et dans le sens 3-4; 2° les déplacements 2-3 et 1-4 du levier *b* pendant la course du levier *a*.

Ainsi donc, tous les enclenchements binaires usuels sont formés par l'association de deux liaisons élémentaires au moins. Ainsi constitué un enclenchement binaire peut être appelé « complet ». *On dit, en effet, qu'un enclenchement de position ou de mouvement est complet lorsque sa matérialisation comporte tous les enclenchements élémentaires que l'on peut tirer de la formule d'incompatibilité qui le caractérise.* Cette définition de l'enclenchement complet est absolument générale; elle s'applique donc également aux enclenchements conditionnels.

36. Enumération des enclenchements élémentaires binaires. — Ces liaisons élémentaires ont pour fonction d'interdire le déplacement d'un levier *dans un seul sens* et seulement *lorsque le second levier occupe une position donnée* ou bien pendant la course de ce second levier.

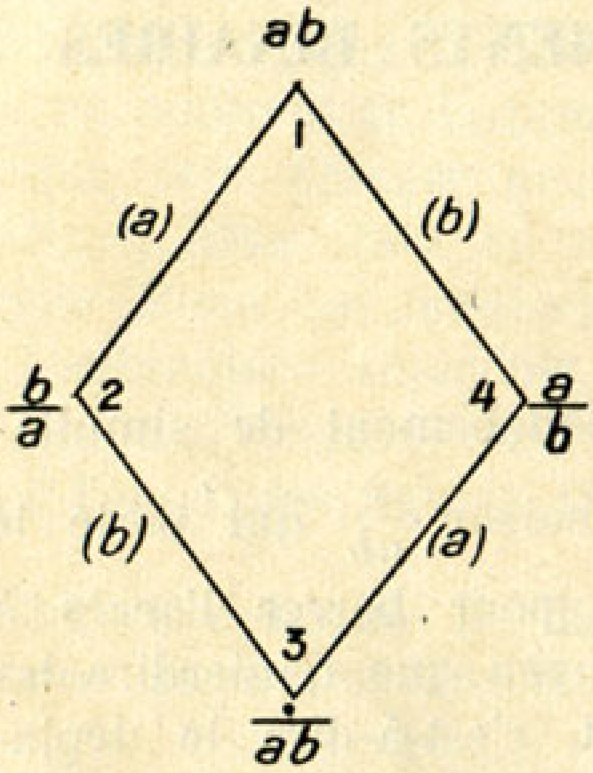


Fig. 15.

Ayant tracé le losange de Perrin, on se rend compte que le déplacement de chaque levier peut être interdit dans un sens ou dans l'autre ; par conséquent, le nombre des enclenchements élémentaires nécessaires pour interdire dans les deux sens les quatre déplacements de deux leviers s'élève à 8.

En voici l'énumération complétée par les formules d'incompatibilités et par les équations d'enclenchements qui leur correspondent :

I. — Interdiction du passage de la combinaison 1 à la combinaison 2 : $\left[ab\,(a)\right]$; $b = a$.

II. — Interdiction du passage de la combinaison 2 à la combinaison 1 : $\left[\frac{b}{a}\,(a)\right]$; $b = \frac{\cdot}{a}$

III. — Interdiction du passage de la combinaison 2 à la combinaison 3 : $\left[\frac{b}{a}\,(b)\right]$; $\frac{\cdot}{a} = b$

IV. — Interdiction du passage de la combinaison 3 à la combinaison 2 : $\left[\frac{\cdot}{ab}(b)\right]$; $\frac{\cdot}{a} = \frac{\cdot}{b}$

V. — Interdiction du passage de la combinaison 3 à la combinaison 4 : $\left[\frac{\cdot}{ab}\,(a)\right]$; $\frac{\cdot}{b} = \frac{\cdot}{a}$

VI. — Interdiction du passage de la combinaison 4 à la combinaison 3 : $\left[\frac{a}{b}\,(a)\right]$; $\frac{\cdot}{b} = a$

VII. — Interdiction du passage de la combinaison 4 à la combinaison 1 :

$$\left[\frac{a}{b}\,(b)\right] \; ; \; a = \frac{\cdot}{b}$$

VIII. — Interdiction du passage de la combinaison 1 à la combinaison 4 :

$$[ab\,(b)] \; ; \; a = b.$$

L'apparente complication des incompatibilités élémentaires ci-dessus s'évanouit si l'on remarque que chacune d'elles se compose de deux parties :

1° la combinaison située à l'origine du déplacement interdit;

2° le symbole entre parenthèses du levier qui doit rester immobile.

On verra plus loin que les huit enclenchements élémentaires énumérés ci-dessus sont insuffisants pour empêcher la manœuvre simultanée de deux leviers reliés par un enclenchement de mouvement droit ou renversé. Il importe donc d'avoir à sa disposition d'autres enclenchements élémentaires capables d'immobiliser, le cas échéant, un levier pendant la translation de l'autre, d'où leur nom d'*enclenchements pendant la course*. Il est évident qu'il doit exister quatre enclenchements pendant la course puisque les déplacements possibles de deux leviers sont au nombre de quatre.

En voici l'énumération (voir fig. 42):

IX. — $(a) = \frac{\cdot}{b}$; c'est-à-dire : a pendant sa course enclenche bR.

X. — $(a) = b$; c'est-à-dire : a pendant sa course enclenche bD.

XI. — $(b) = \frac{\cdot}{a}$; c'est-à-dire : b pendant sa course enclenche aR.

XII. — $(b) = a$; c'est-à-dire : b pendant sa course enclenche aD.

37. Transformation d'une formule d'incompatibilité en équation d'enclenchement. — D'autre part, il est indispensable d'apprendre à tirer d'une incompatibilité élémentaire l'équation de l'enclenchement qui la matérialise. La règle à suivre consiste à transporter à droite du signe « = » le levier qui figure deux fois dans l'incompatibilité (une fois en repos et une fois en mouvement) *en ayant soin de conserver tel quel le levier en repos*, c'est-à-dire sans le faire passer du numérateur au dénominateur et inversement.

Appuyons ces notions par quelques exemples et, à cet effet, considérons l'incompatibilité I ci-dessus qui interdit le passage de la combinaison 1 à la combinaison 2. Cette incompatibilité $[ab\,(a)]$

se lit : le déplacement de a est incompatible avec a Droit et b Droit. De cette incompatibilité on tire : $b = a\,(a)$ qui équivaut à $b = a\,\frac{a}{a}$ ou en définitive à : $b = a$.

L'incompatibilité $\left[\frac{b}{a}\,(a)\right]$ se lit : le déplacement de a est incompatible avec la combinaison $\frac{b}{a}$ ou encore avec b Droit et a Renversé. De cette incompatibilité on tire : $b = \frac{\cdot}{a}\,(a)$ qui équivaut à $b = \frac{\cdot}{a}\,\frac{a}{a}$ ou en définitive à $b = \frac{\cdot}{a}$.

Nous allons passer maintenant à la description des dispositifs propres à matérialiser les enclenchements élémentaires.

38. Interdiction du passage de la combinaison 1 à la combinaison 2, [$ab\,(a)$].

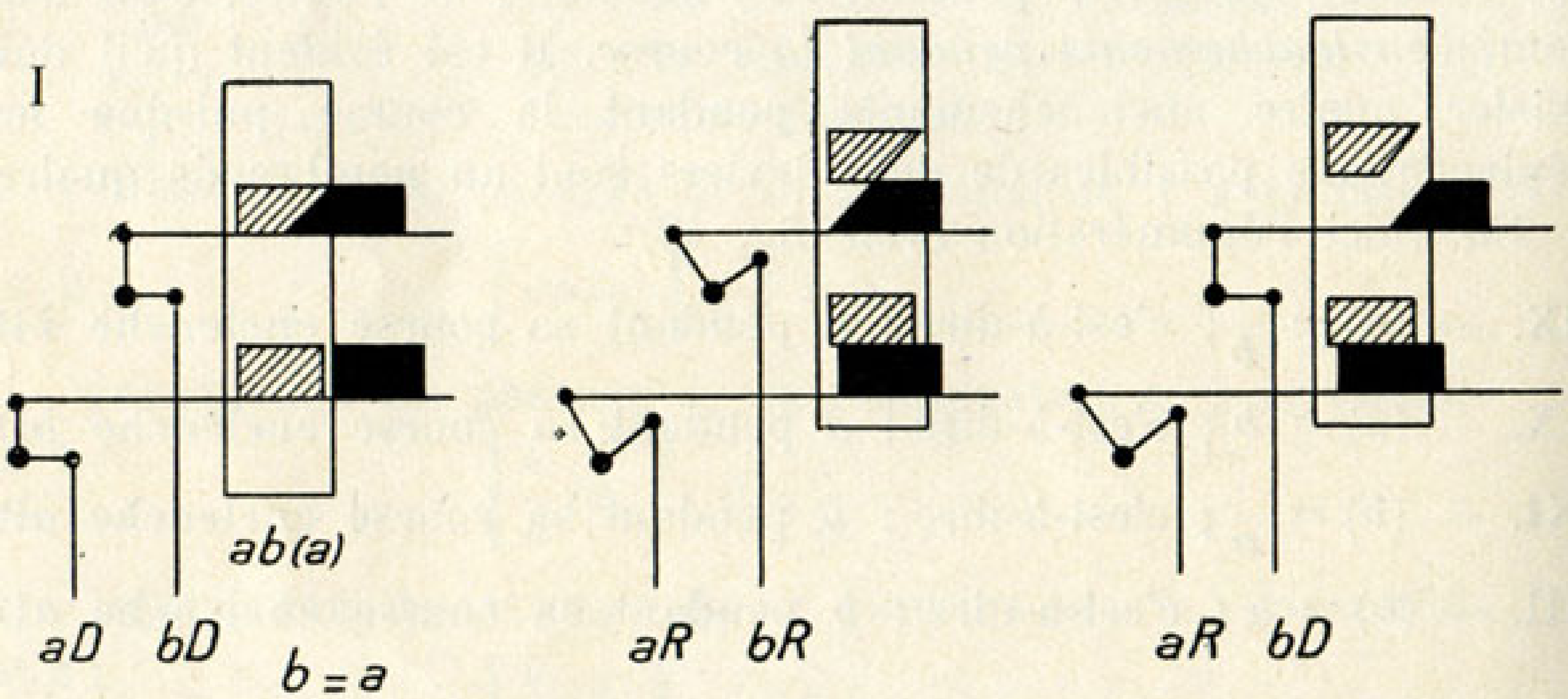


Fig. 16. — Réalisation à l'aide de blocs.

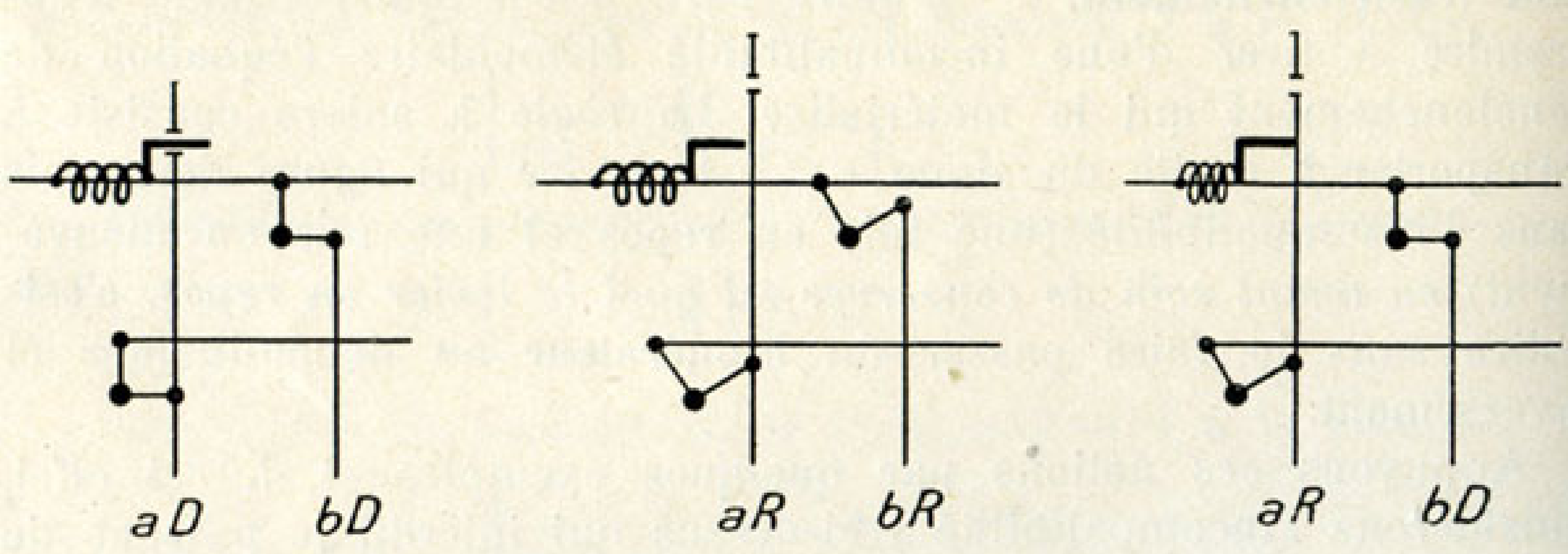


Fig. 17. — Réalisation à l'aide d'un verrou Vignier à ressort.

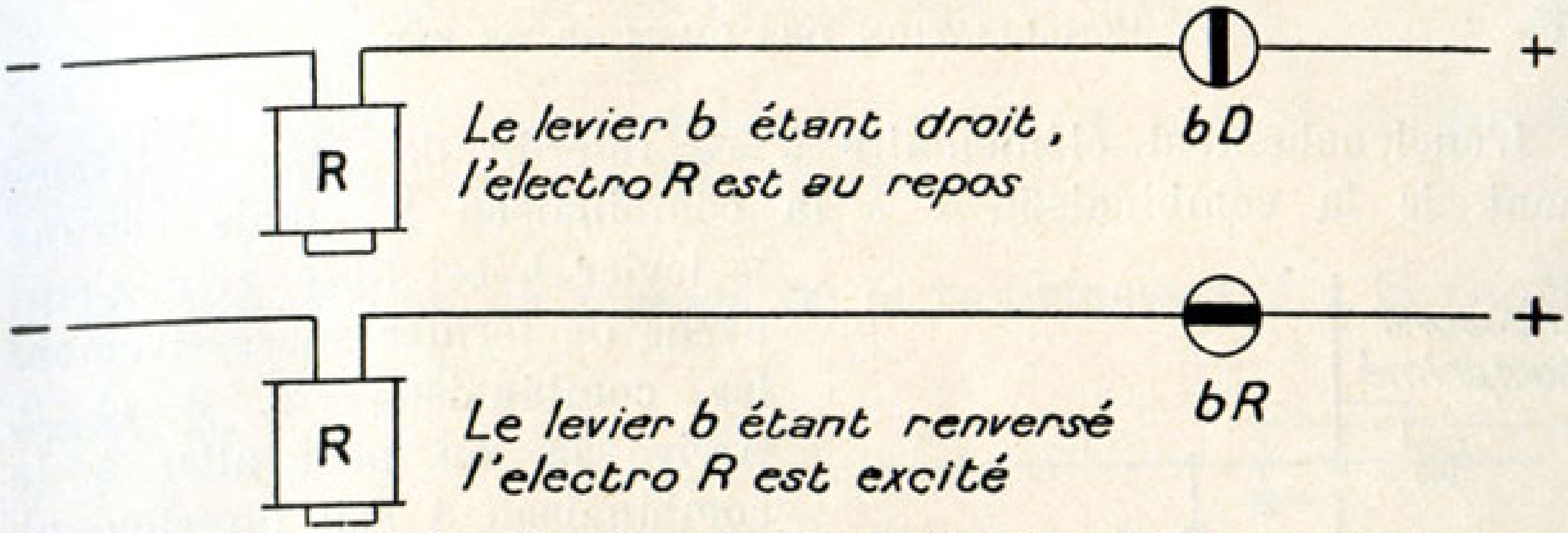


FIG. 18. — Schéma théorique du circuit électrique d'enclenchement.

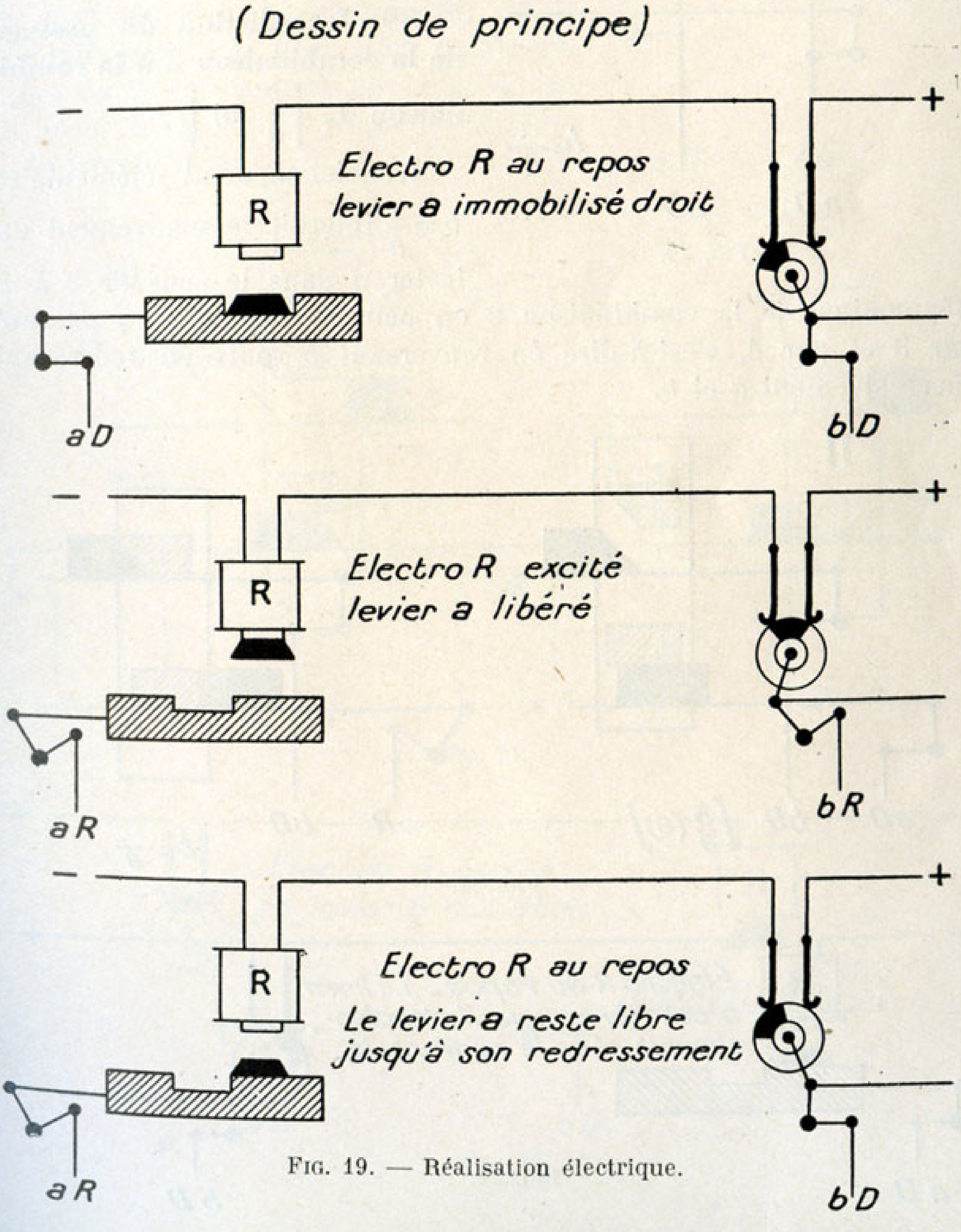


FIG. 19. — Réalisation électrique.

L'enclenchement élémentaire $b = a$ interdit de passer directement de la combinaison 1 à la combinaison 2 ; mais comme le levier b est libre, rien n'empêche de former successivement les combinaisons 4, 3 et 2. Arrivé là, on peut aller à la combinaison 1 soit directement, soit en repassant par 3 et 4.

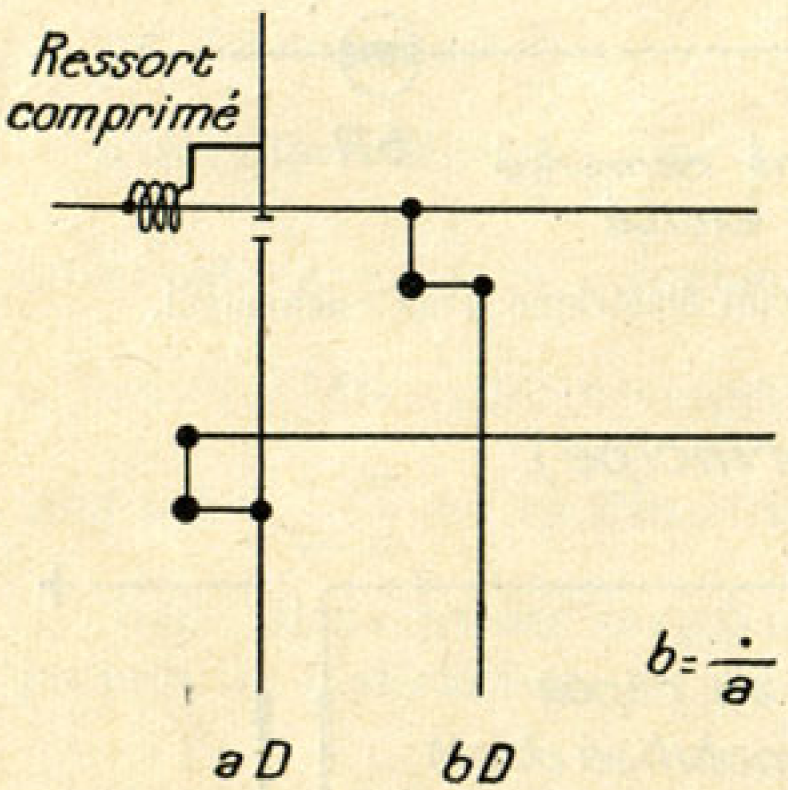


FIG. 20.

39. Interdiction du passage de la combinaison 2 à la combinaison 1, $\left[\frac{b}{a}(a)\right]$.

L'enclenchement élémentaire $b = \frac{\cdot}{a}$ interdit le mouvement du levier a dans le sens de 2 à 1. Néanmoins, de la combinaison 2 on peut revenir à 1 en passant par 3 et par 4, c'est-à-dire en renversant b, puis en redressant successivement a et b.

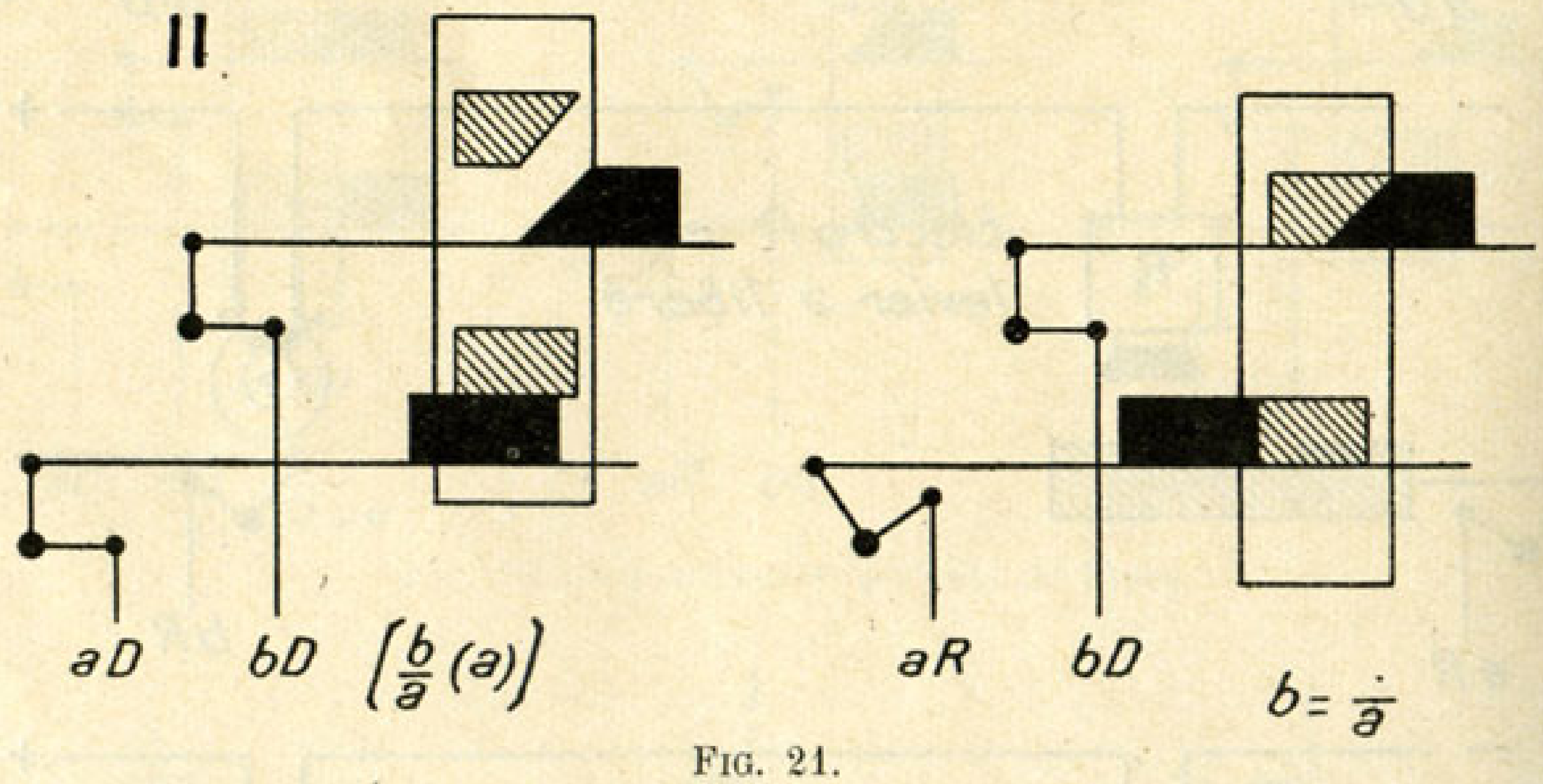


FIG. 21.

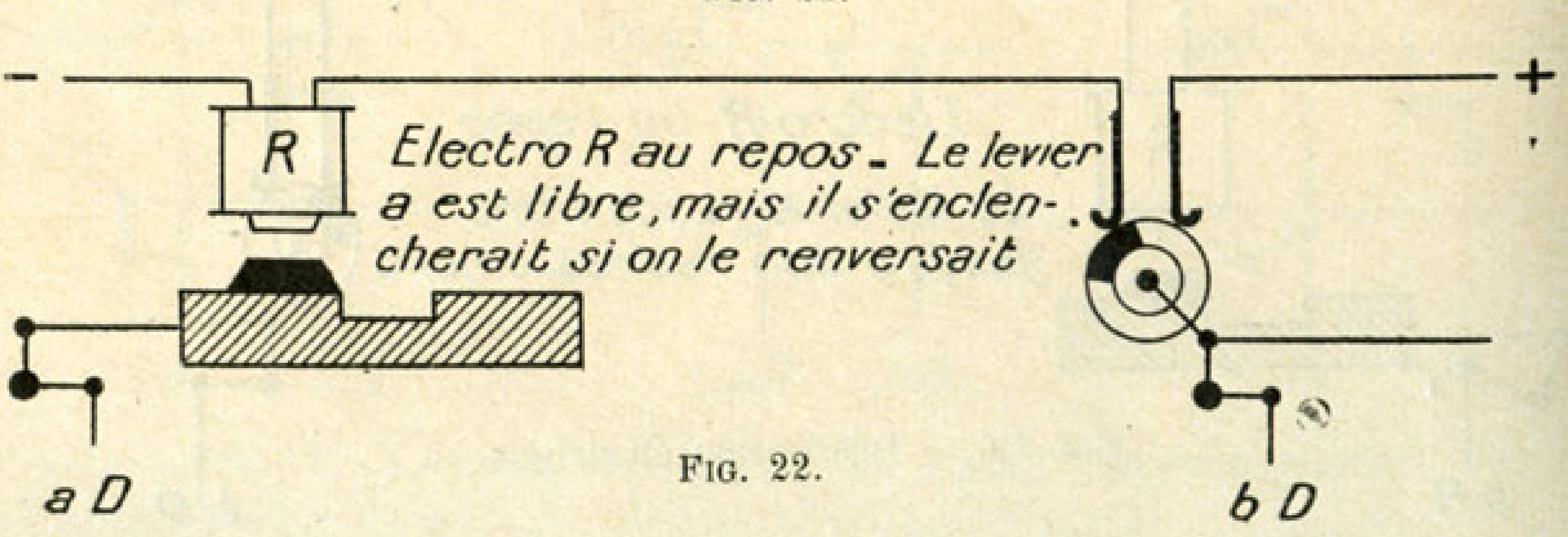


FIG. 22.

Comme dans le cas précédent les leviers a et b deviennent indépendants dès que b a été renversé.

40. Interdiction du passage de la combinaison 2 à la combinaison 3, $\left[\frac{b}{a}\,(b)\right]$.

L'enclenchement élémentaire $\frac{\cdot}{a} = b$ interdit le mouvement du levier b dans le sens de 2 à 3. Néanmoins, de la combinaison 2 on peut aller à la combinaison 3 en passant par 1 et 4, car le levier b est libre lorsque le levier a a été remis droit.

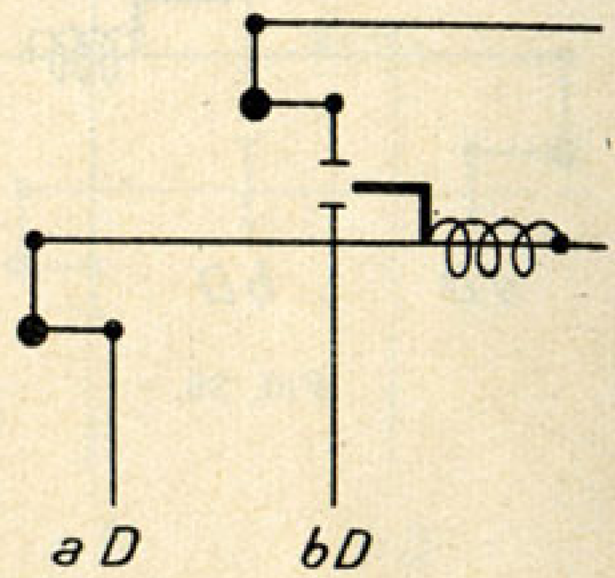


FIG. 23.

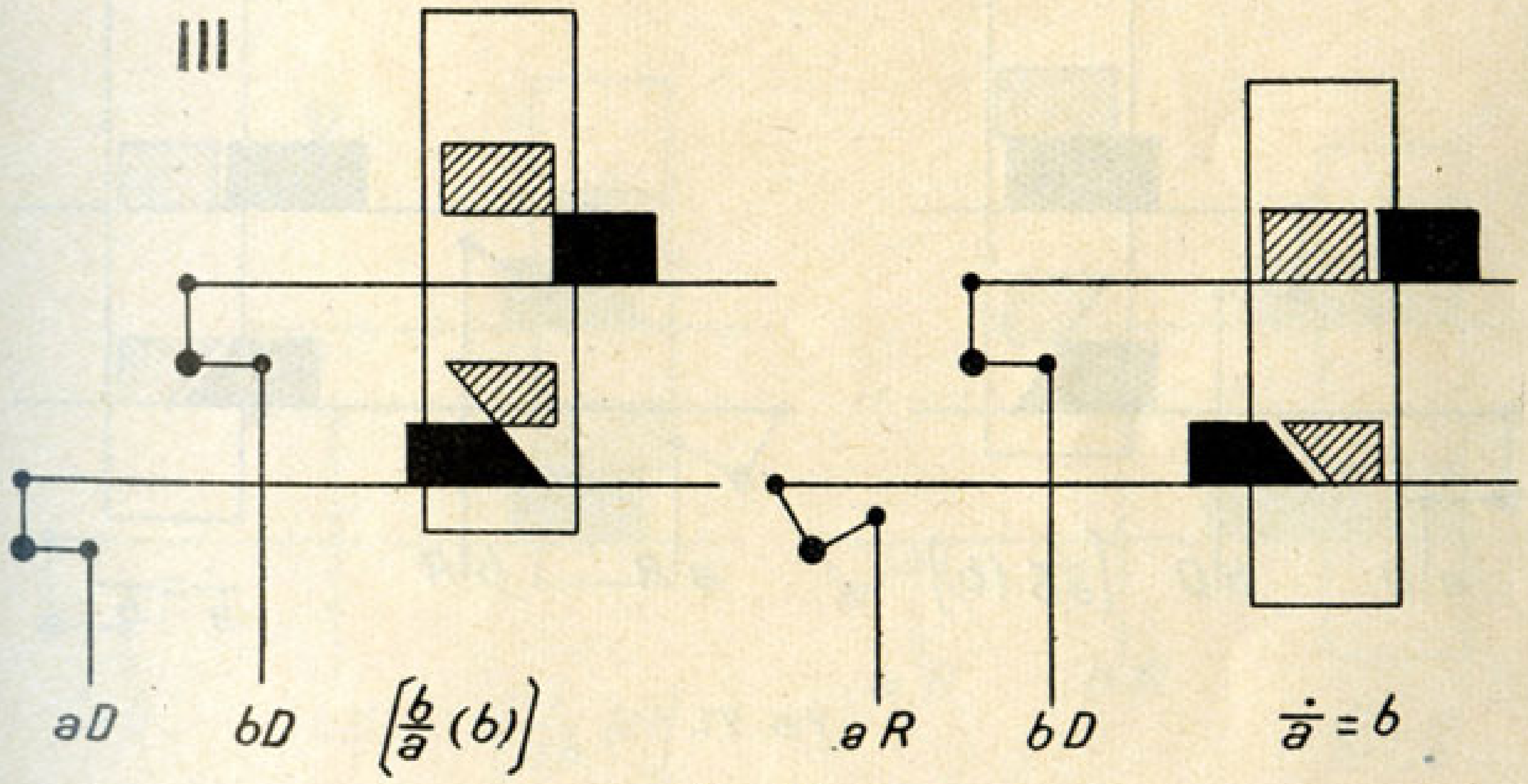


FIG. 24.

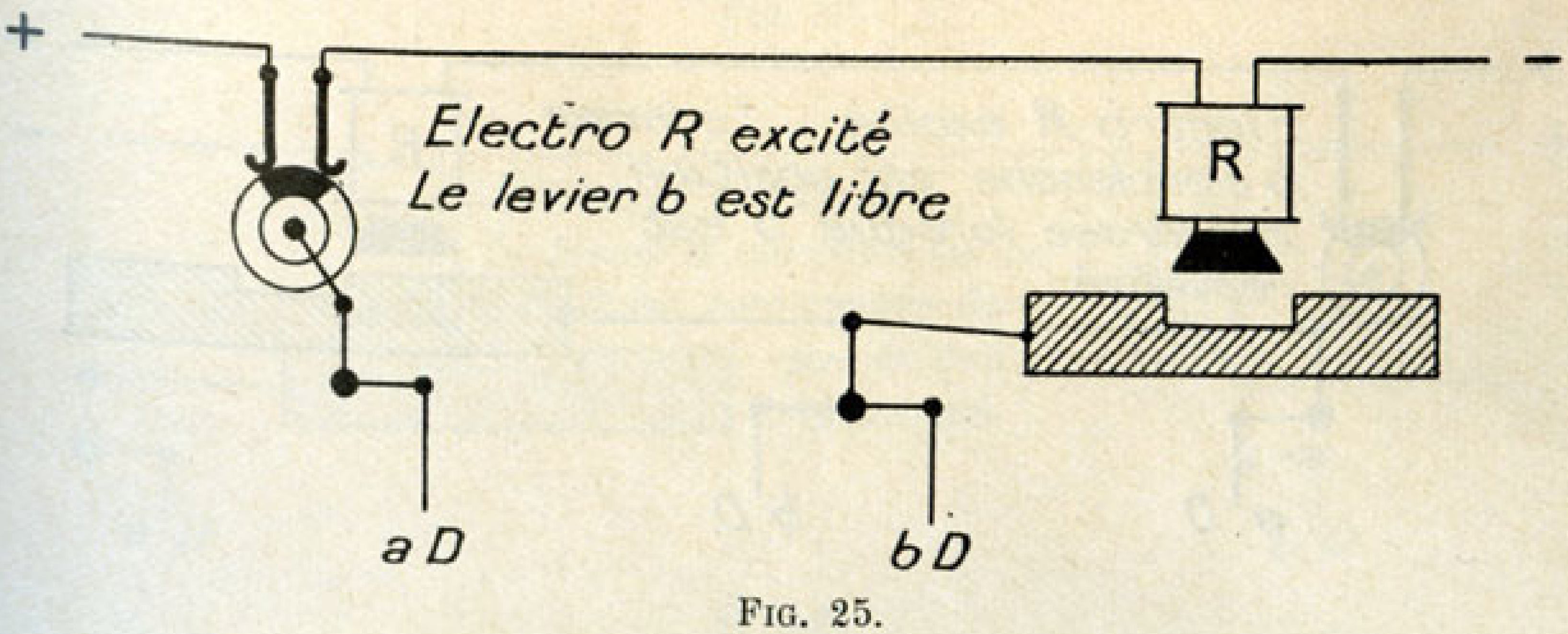


FIG. 25.

41. Interdiction du passage de la combinaison 3 à la combinaison 2, $\left[\frac{\cdot}{ab}\ (b)\right]$.

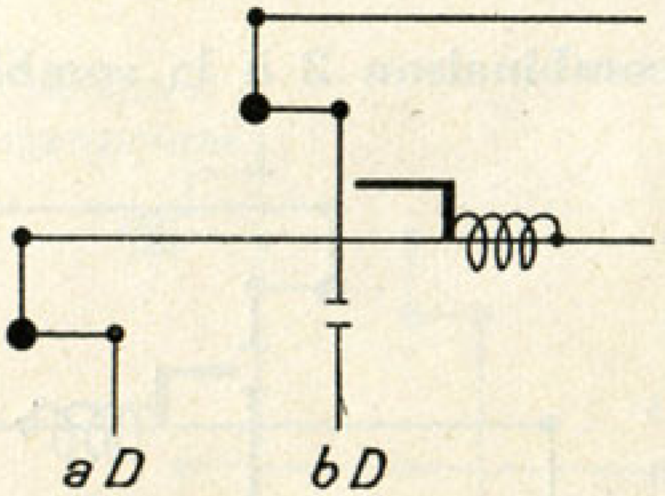


FIG. 26.

L'enclenchement élémentaire $\frac{\cdot}{a} = \frac{\cdot}{b}$ interdit le mouvement du levier b dans le sens de 3 à 2. Néanmoins, de la combinaison 3 on peut aller à la combinaison 2 en passant par 4 et 1, car le levier b est libéré par le redressement de a.

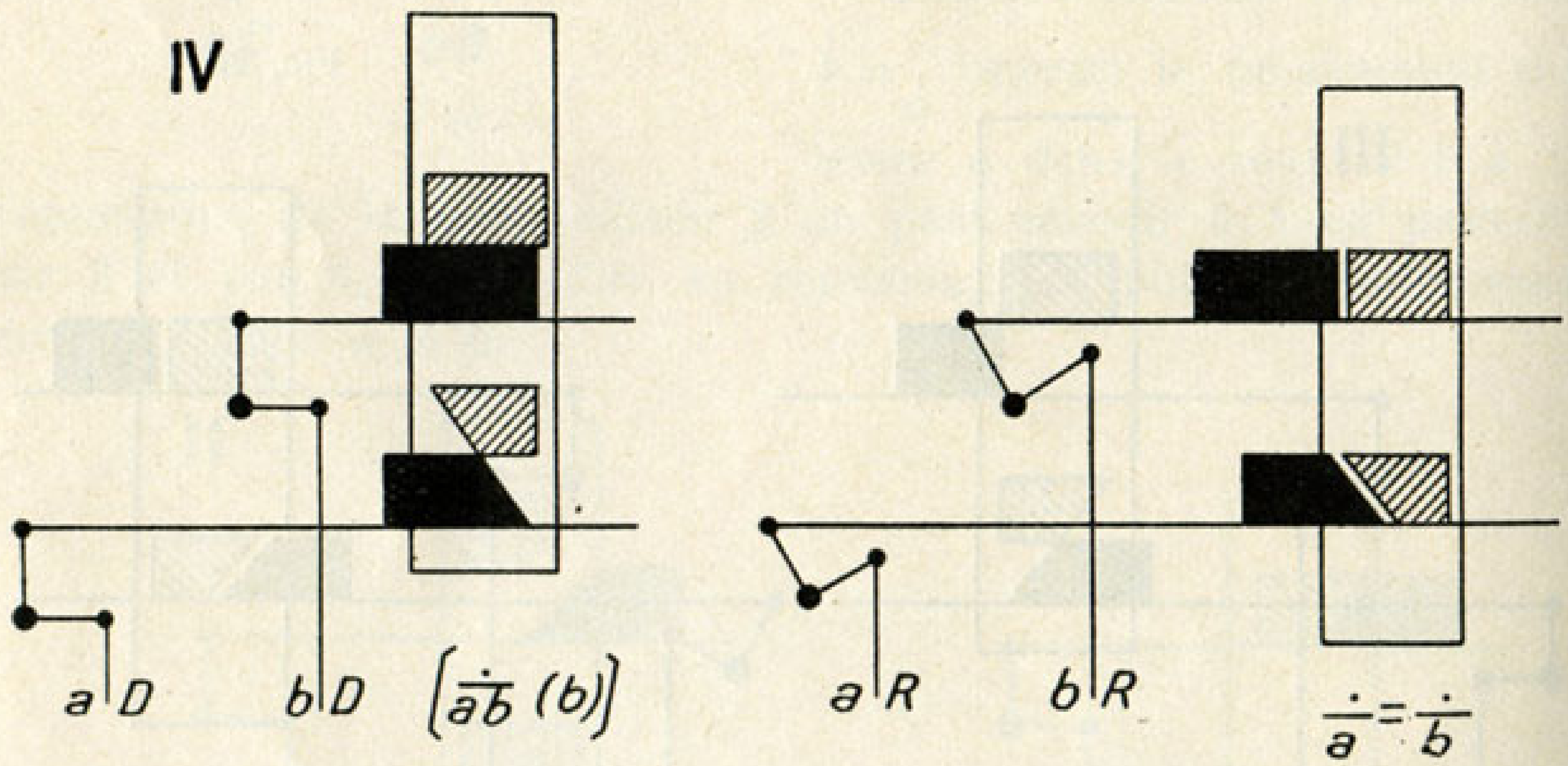


FIG. 27.

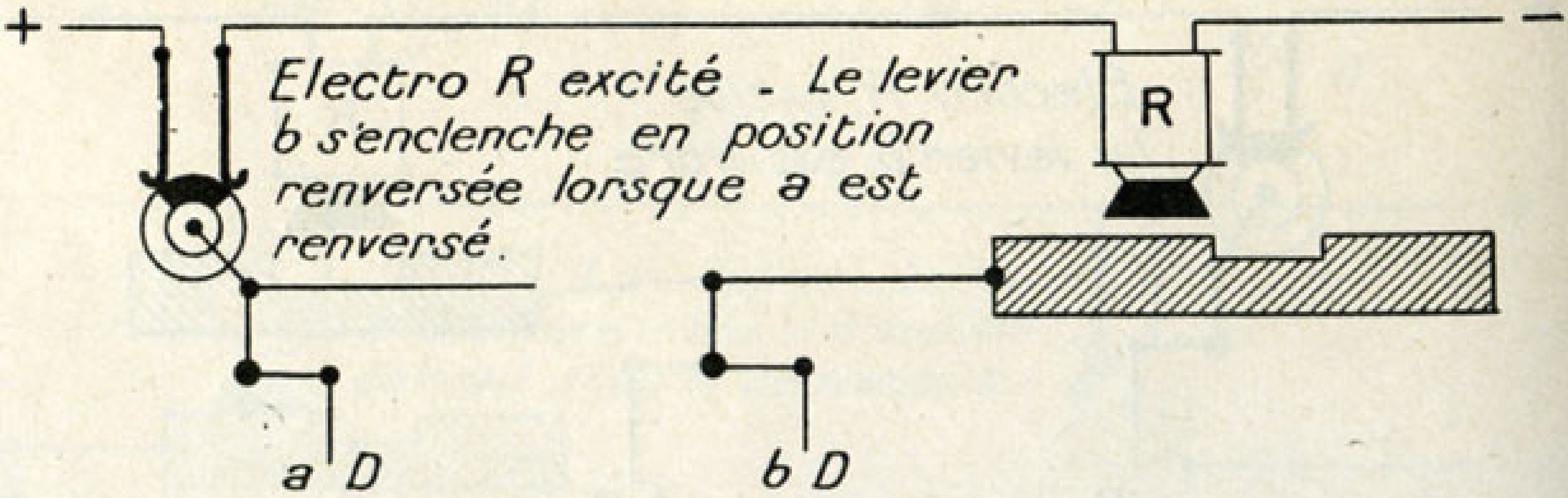


FIG. 28.

42. Interdiction du passage de la combinaison 3 à la combinaison 4, $\left[\frac{\cdot}{ab}(a)\right]$.

L'enclenchement élémentaire $\frac{\cdot}{b} = \frac{\cdot}{a}$ interdit le mouvement du levier a dans le sens de 3 à 4. Néanmoins, de la combinaison 3 on peut aller à la combinaison 4 en passant par 2 et par 1.

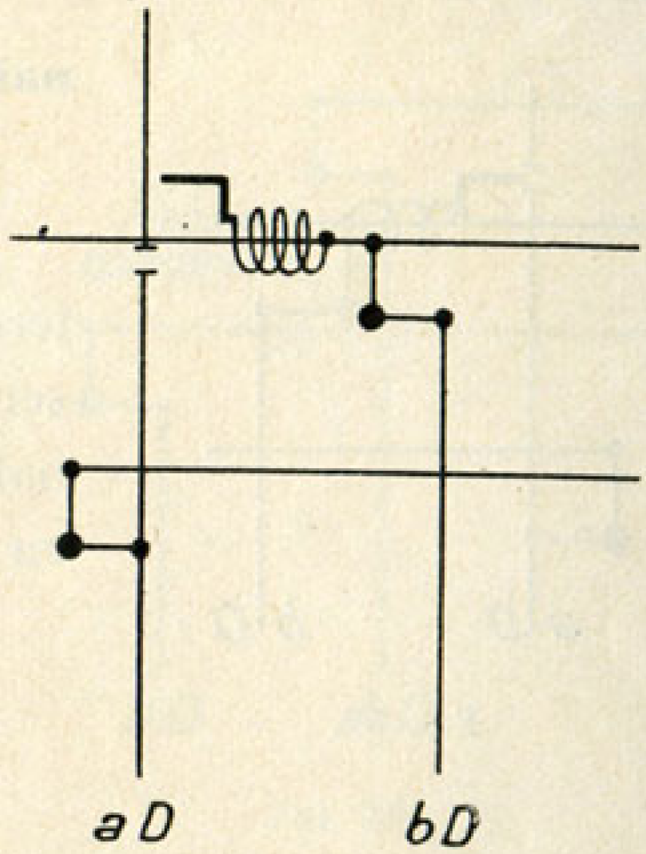


FIG. 29.

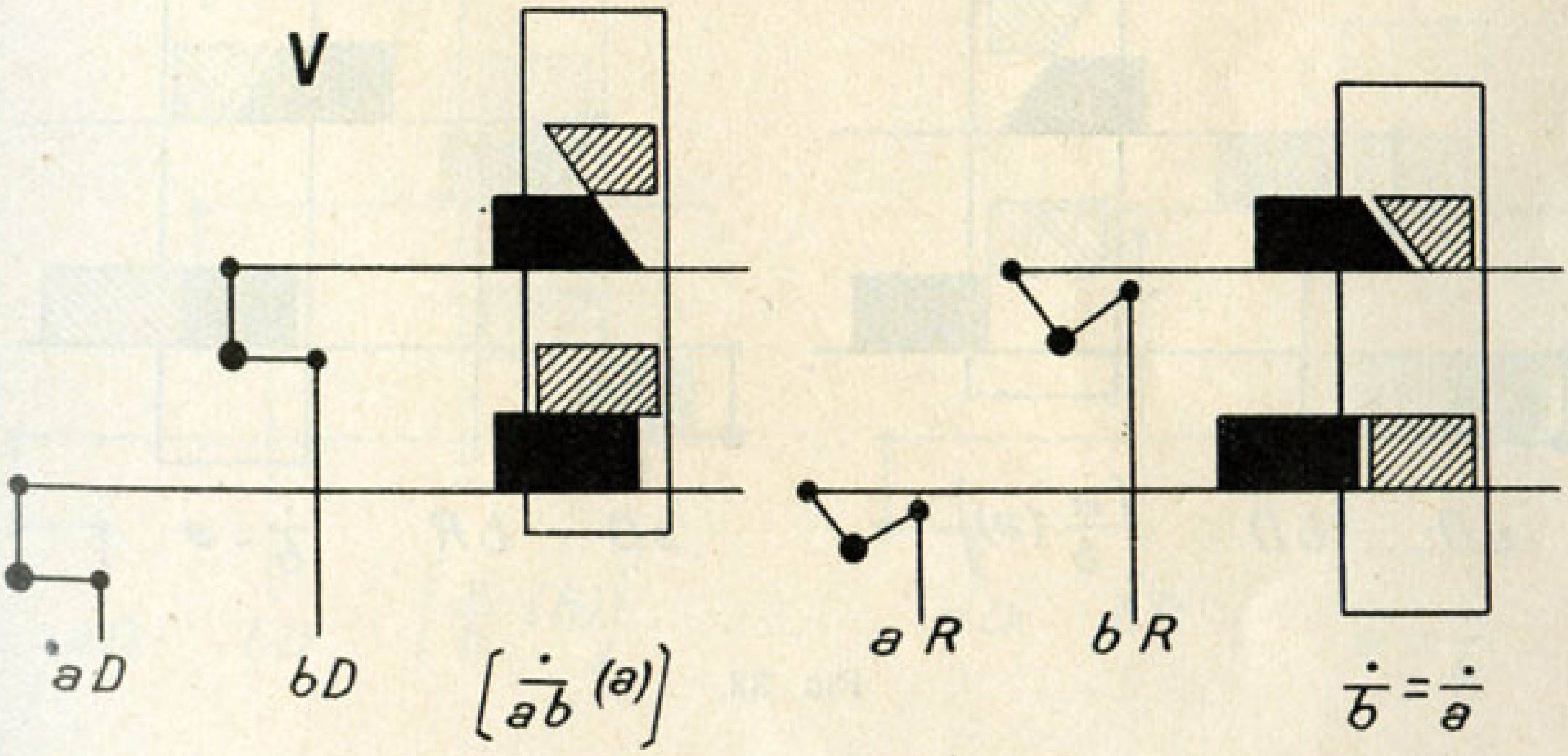


FIG. 30.

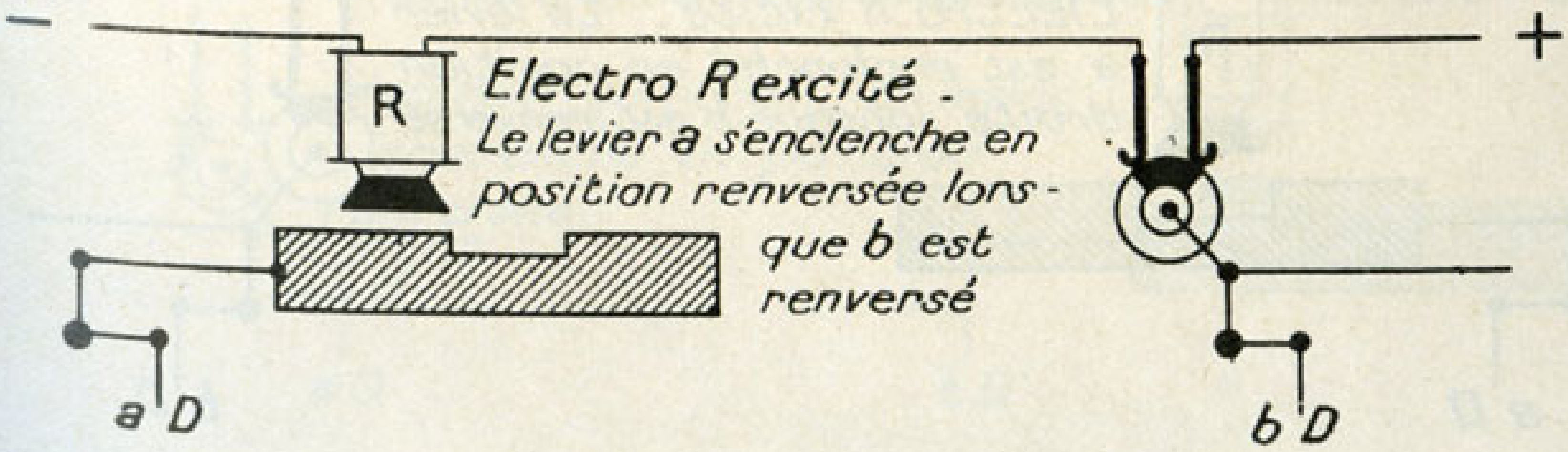


FIG. 31.

43. Interdiction du passage de la combinaison 4 à la combinaison 3, $\left[\frac{a}{b}(a)\right]$.

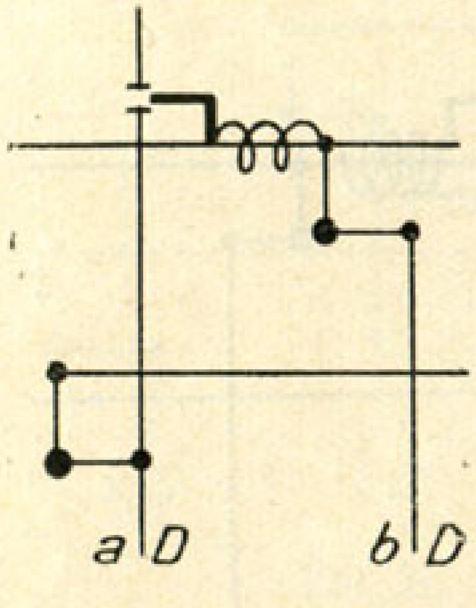


FIG. 32.

L'enclenchement élémentaire $\frac{\cdot}{b} = a$ interdit le mouvement du levier *a* dans le sens de 4 à 3. Néanmoins, de la combinaison 4 on peut aller à la combinaison 3 en passant par 1 et 2.

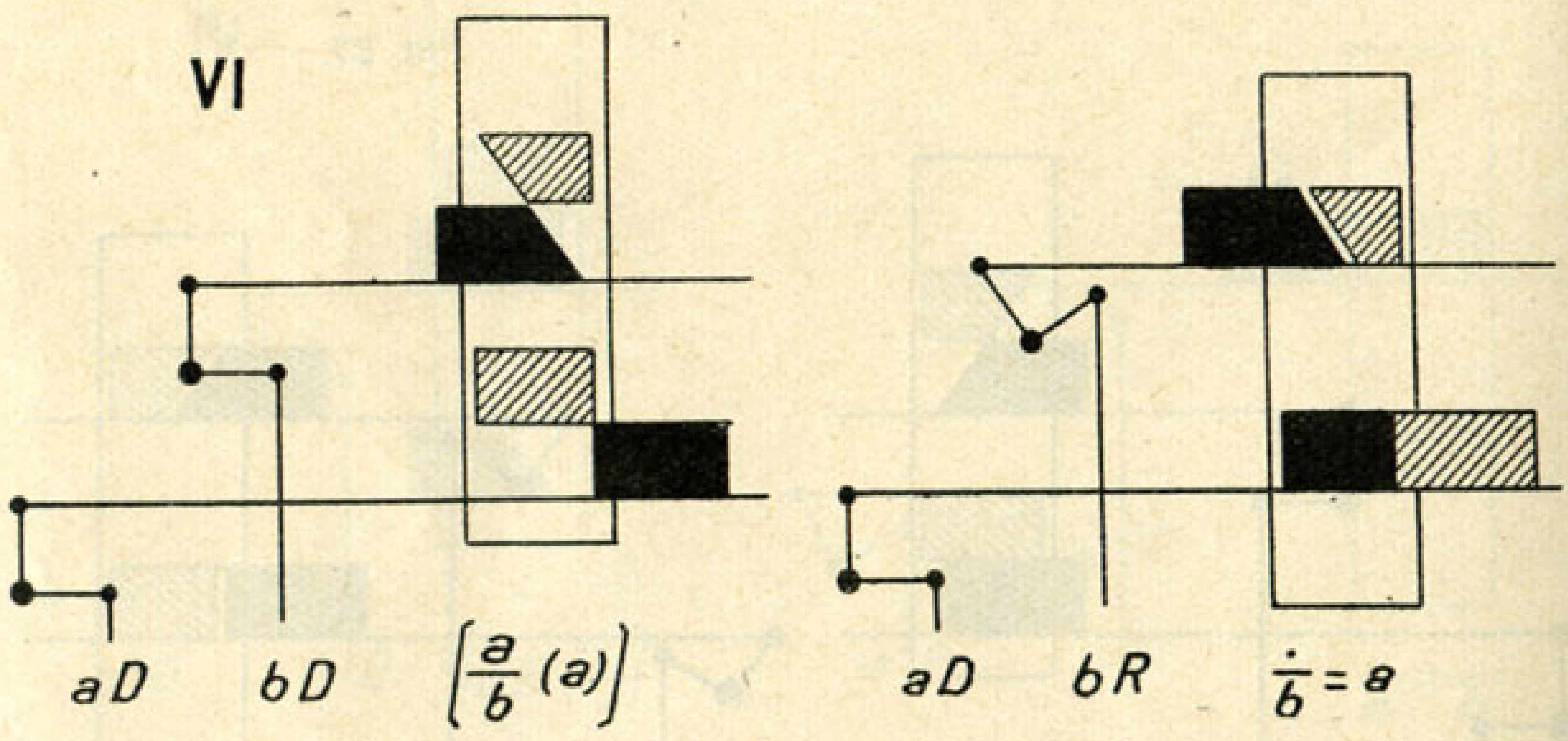


FIG. 33.

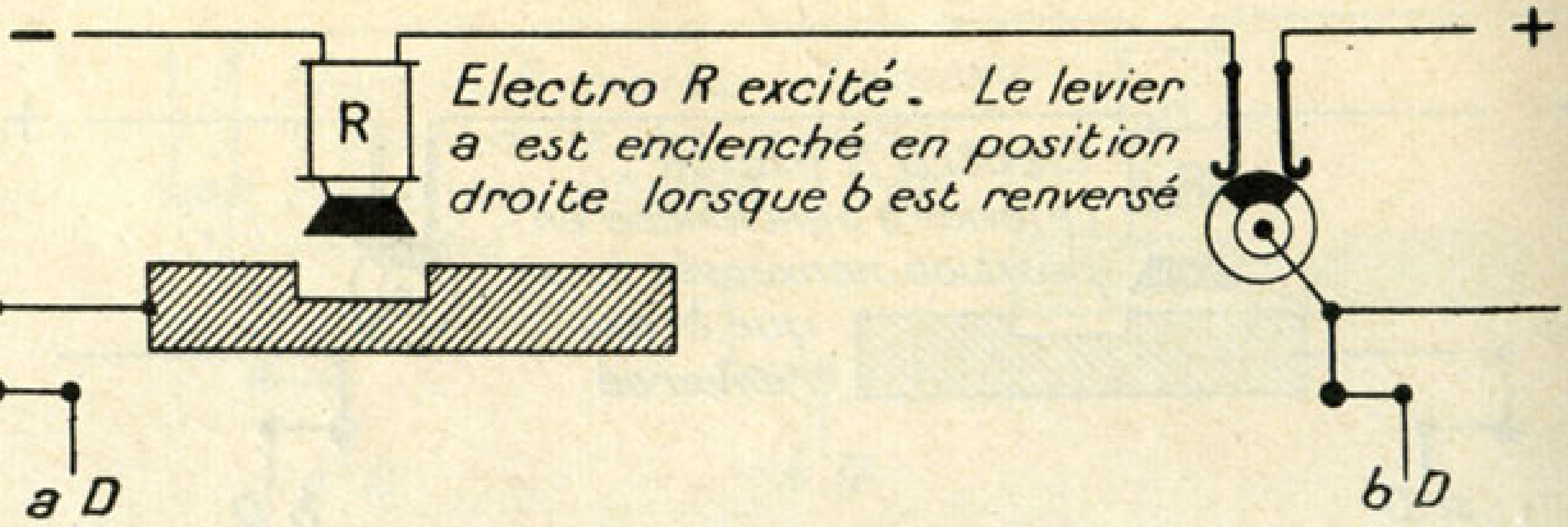


FIG. 34.

44. Interdiction du passage de la combinaison 4 à la combinaison 1, $\left[\frac{a}{b}\ (b)\right]$.

L'enclenchement élémentaire $a = \frac{\dot{}}{b}$ interdit le mouvement du levier b dans le sens de 4 à 1. Néanmoins, de la combinaison 4 on peut aller à la combinaison 1 en passant par 3 et 2.

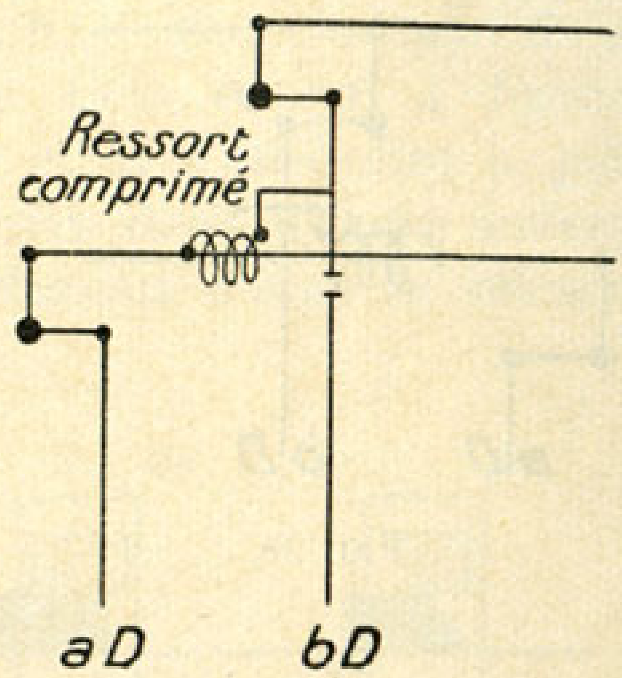


FIG. 35.

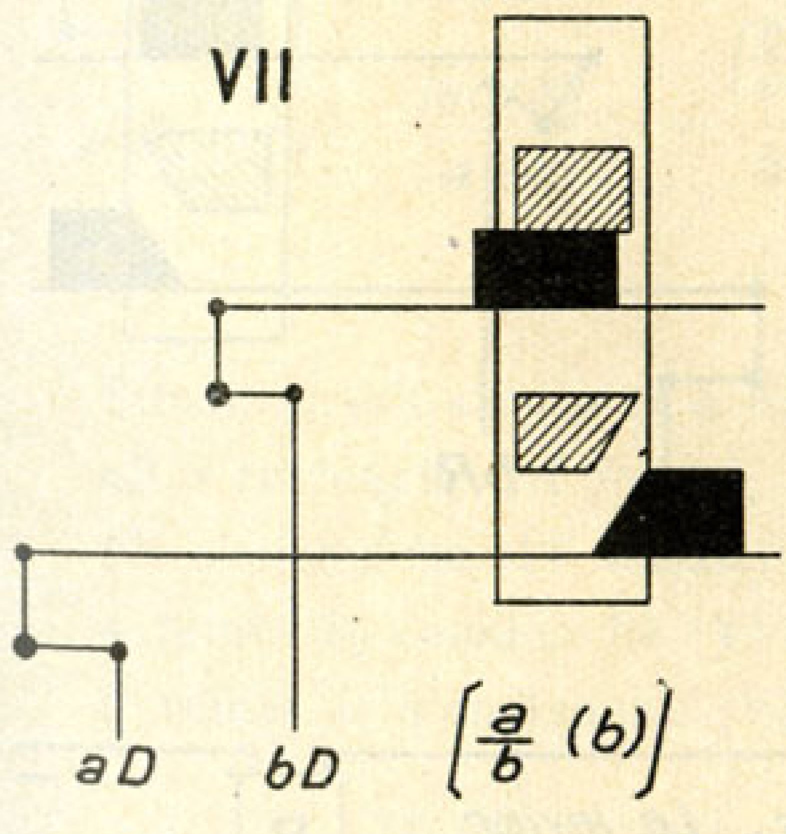


FIG. 36.

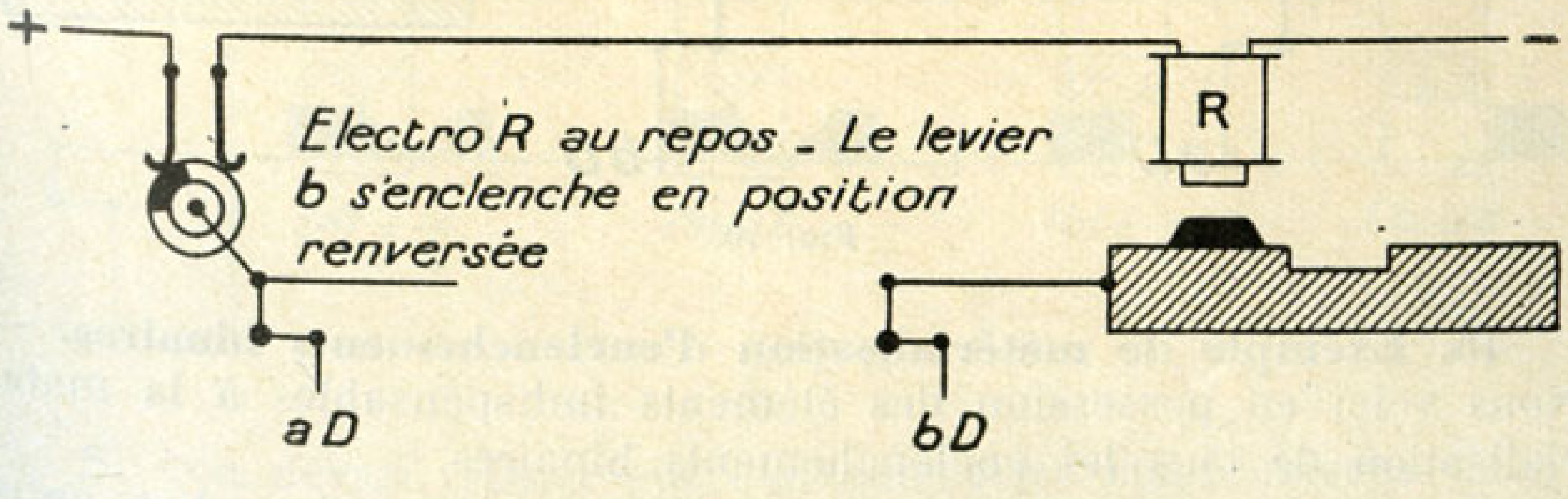


FIG. 37.

45. Interdiction du passage de la combinaison 1 à la combinaison 4, [$ab\,(b)$].

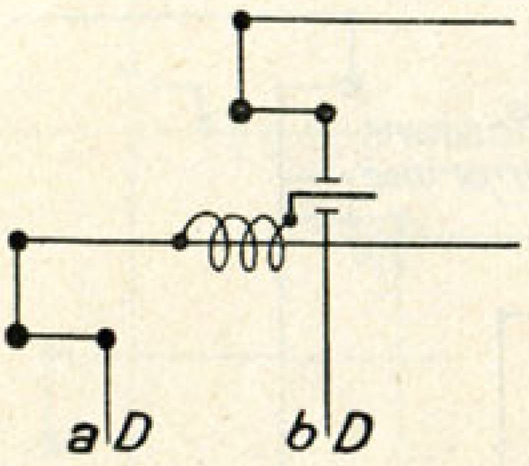


FIG. 38.

L'enclenchement élémentaire $a = b$ interdit le mouvement du levier b dans le sens de 1 à 4. Néanmoins, de la combinaison 1 on peut aller à la combinaison 4 en passant par 2 et 3.

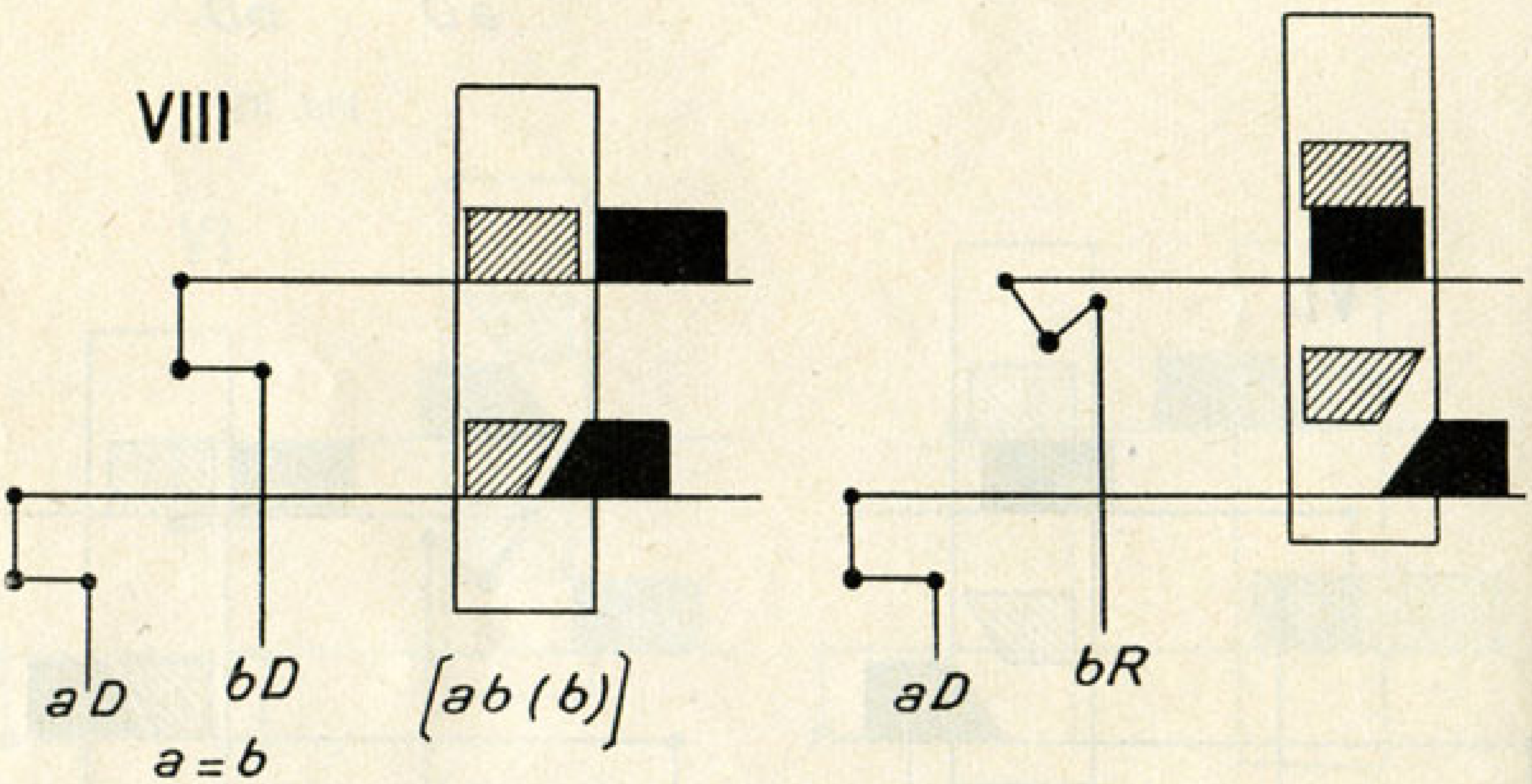


FIG. 39.

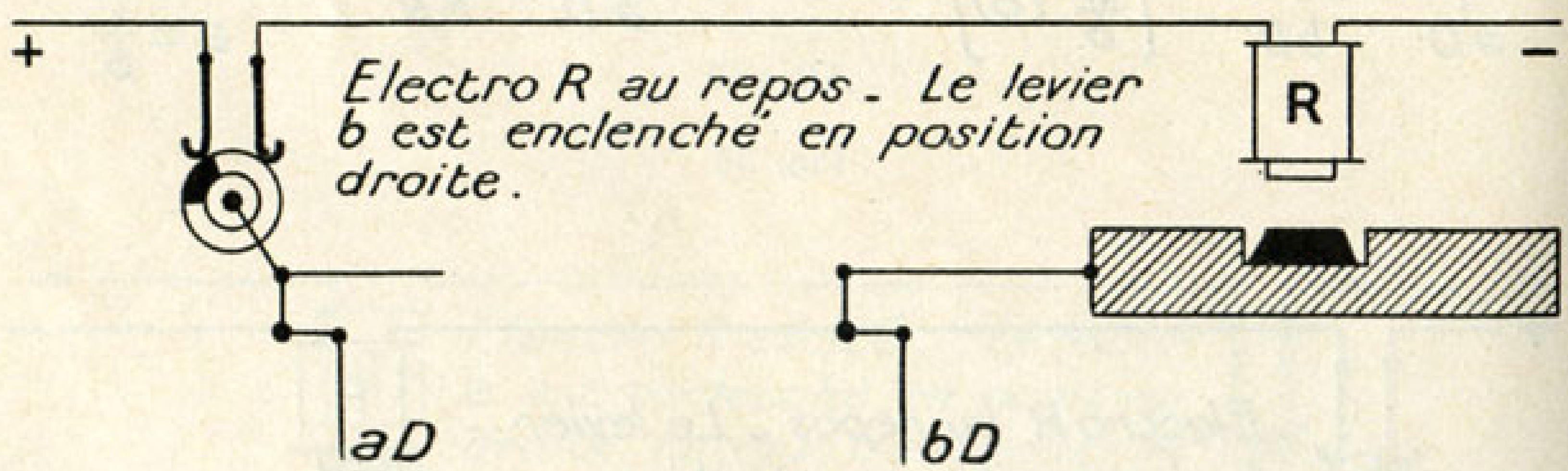


FIG. 40.

46. Exemple de matérialisation d'enclenchements binaires. — Nous voici en possession des éléments indispensables à la matérialisation de tous les enclenchements binaires.

Comme exemple d'application proposons-nous de relier entre eux les leviers a et b de façon qu'ils ne puissent être manœuvrés que dans l'ordre suivant en partant de la combinaison ab : 1° renversement de a; 2° renversement de b; 3° redressement de a; 4° redressement de b, et ainsi de suite. Cela revient à former successivement les combinaisons 2, 3, 4 et 1, c'est-à-dire à parcourir les quatre côtés du losange de Perrin dans le sens inverse des aiguilles d'une montre. La figure ci-dessous donne la solution du problème.

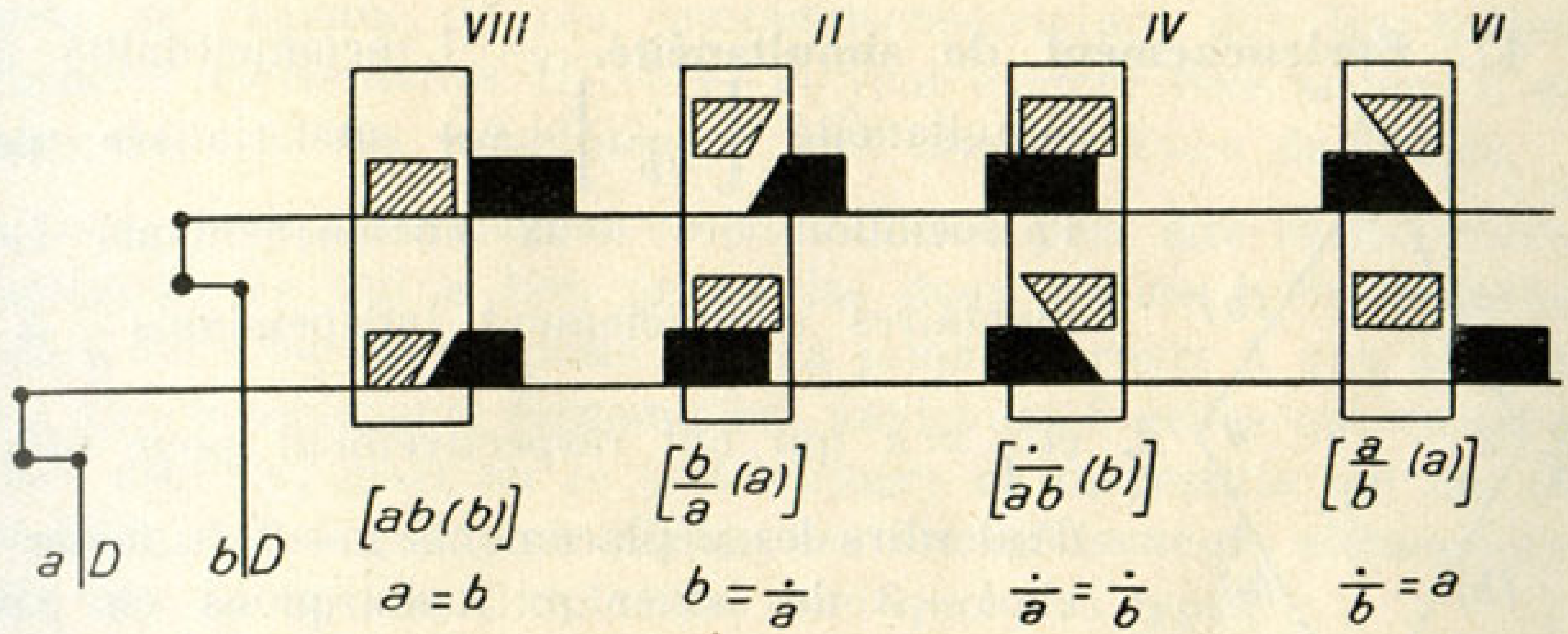


Fig. 41.

Situation initiale : a et b étant D, a est libre, b est enclenché D;
aR s'enclenche (II tombé) et libère b (VIII remonté);
bR s'enclenche (IV tombé) et libère a (II remonté);
a remis D s'enclenche (VI tombé) et libère b (IV remonté);
b remis D s'enclenche (VIII tombé) et libère a (VI remonté);

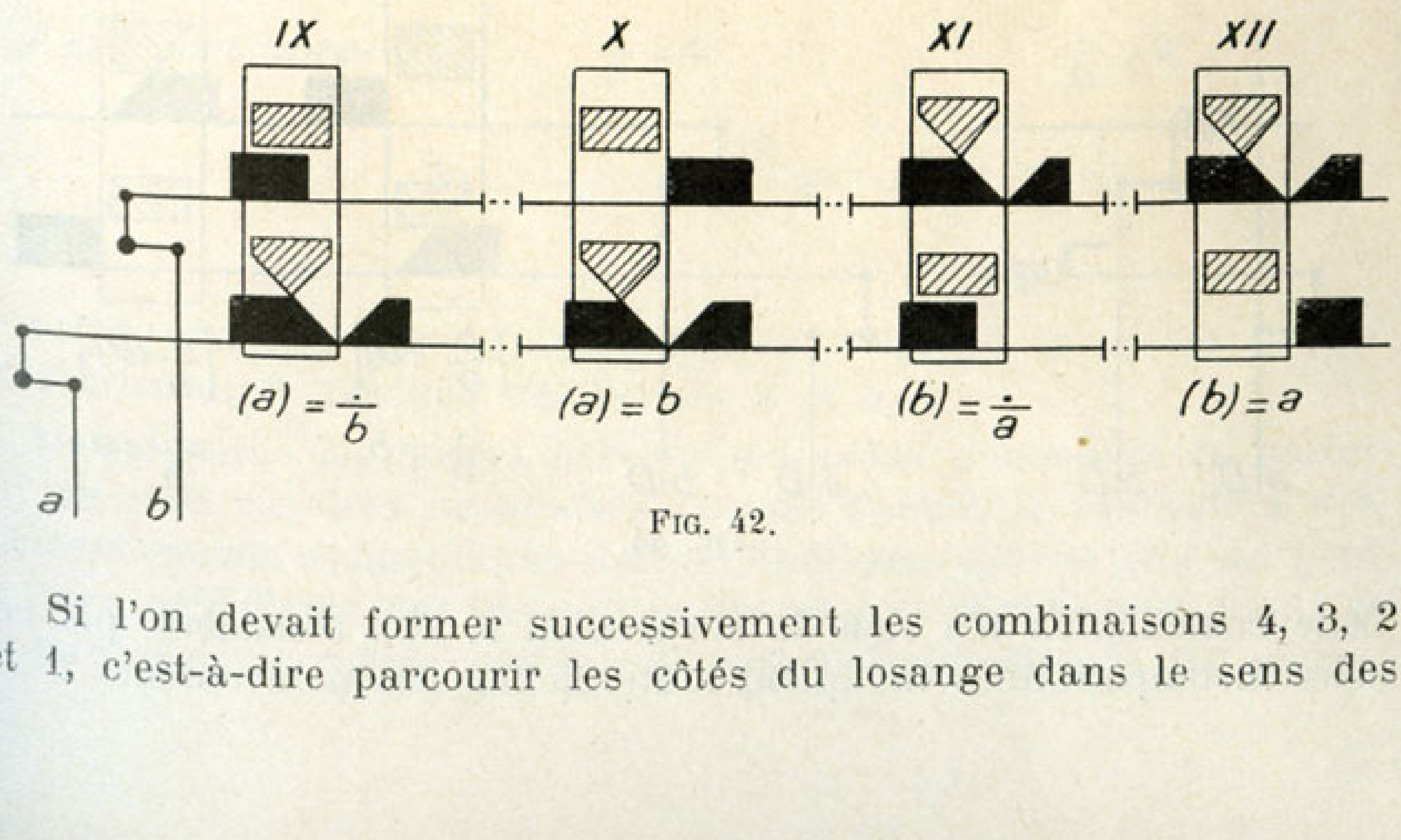


Fig. 42.

Si l'on devait former successivement les combinaisons 4, 3, 2 et 1, c'est-à-dire parcourir les côtés du losange dans le sens des aiguilles d'une montre, on utiliserait les enclenchements élémentaires I, VII, V et III.

On obtiendrait la réalisation électrique de ce problème en se servant des dispositifs portant respectivement les numéros des blocs mécaniques utilisés.

Quant aux quatre enclenchements pendant la course, énumérés antérieurement, ils peuvent être matérialisés à l'aide des blocs représentés figure 42.

47. Enclenchement de simultanéité. — L'incompatibilité de simultanéité $\left[\dfrac{\cdot}{ab}\right]$ est matérialisée par l'association des deux enclenchements élémentaires complètement indépendants $\dfrac{\cdot}{a} = b$ et $\dfrac{\cdot}{b} = a$ qui ont respectivement pour office d'interdire les déplacements 2 — 3 du levier b et 4 — 3 du levier a. Remarquons en passant que les deux équations $\dfrac{\cdot}{a} = b$ et $\dfrac{\cdot}{b} = a$ tirées de l'incompatibilité $\left[\dfrac{\cdot}{ab}\right]$ sont les mêmes que celles qui correspondent respectivement aux *incompatibilités* élémentaires $\left[\dfrac{b}{a}(b)\right]$ et $\left[\dfrac{a}{b}(a)\right]$.

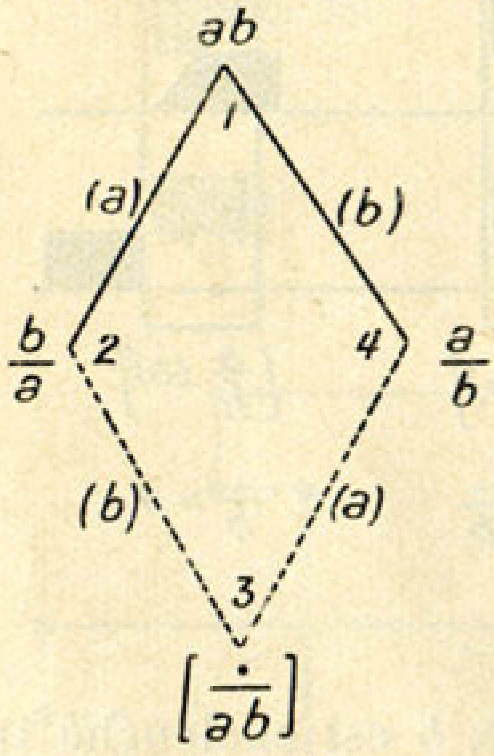


Fig. 43.

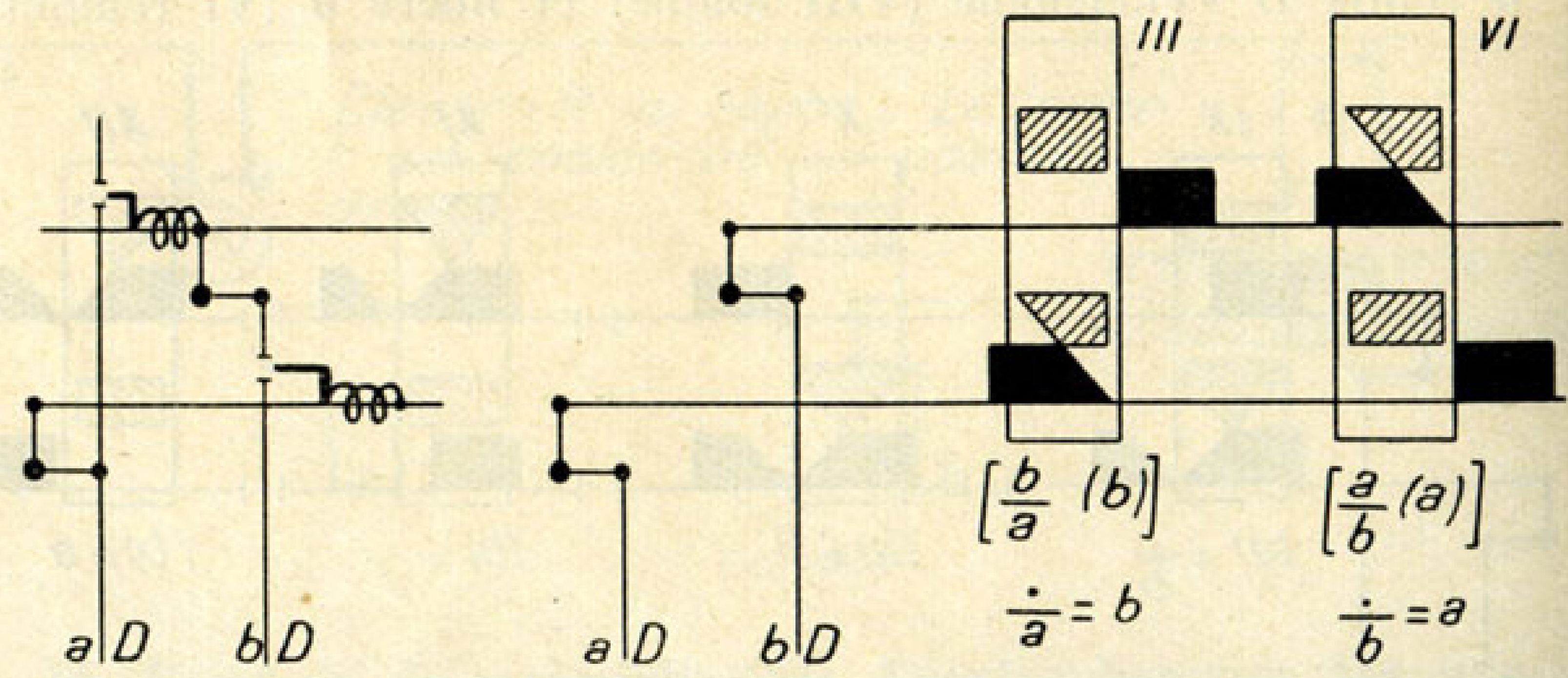


Fig. 44.

Cette constatation n'a rien de surprenant si l'on considère que ces deux incompatibilités indiquent l'interdiction des mouvements 2 — 3 et 4 — 3 aboutissant à la combinaison exclue $\frac{\cdot}{ab}$; celle-ci est la conséquence de celles-là. On peut donc dire que la combinaison $\frac{\cdot}{ab}$ se trouve au terme des mouvements 2 — 3 du levier b et 4 — 3 du levier a, alors que les combinaisons $\frac{b}{a}$ et $\frac{a}{b}$ sont respectivement placées à l'origine de chacun de ces mouvements. En fait, c'est à partir de chacune de ces combinaisons-origines que les enclenchements élémentaires III et VI doivent exercer leur action. Il est manifeste que ces combinaisons sont inverses l'une de l'autre.

Lorsque l'enclenchement de simultanéité peut être réalisé mécaniquement, ce qui a lieu quand les deux leviers intéressés sont réunis dans un même poste, on n'a jamais recours à une association d'enclenchements élémentaires analogues à celles qui viennent d'être décrites; mais on se sert toujours de dispositifs qui ont été spécialement conçus pour réunir ces enclenchements élémentaires sous une forme très simple. En voici quelques types.

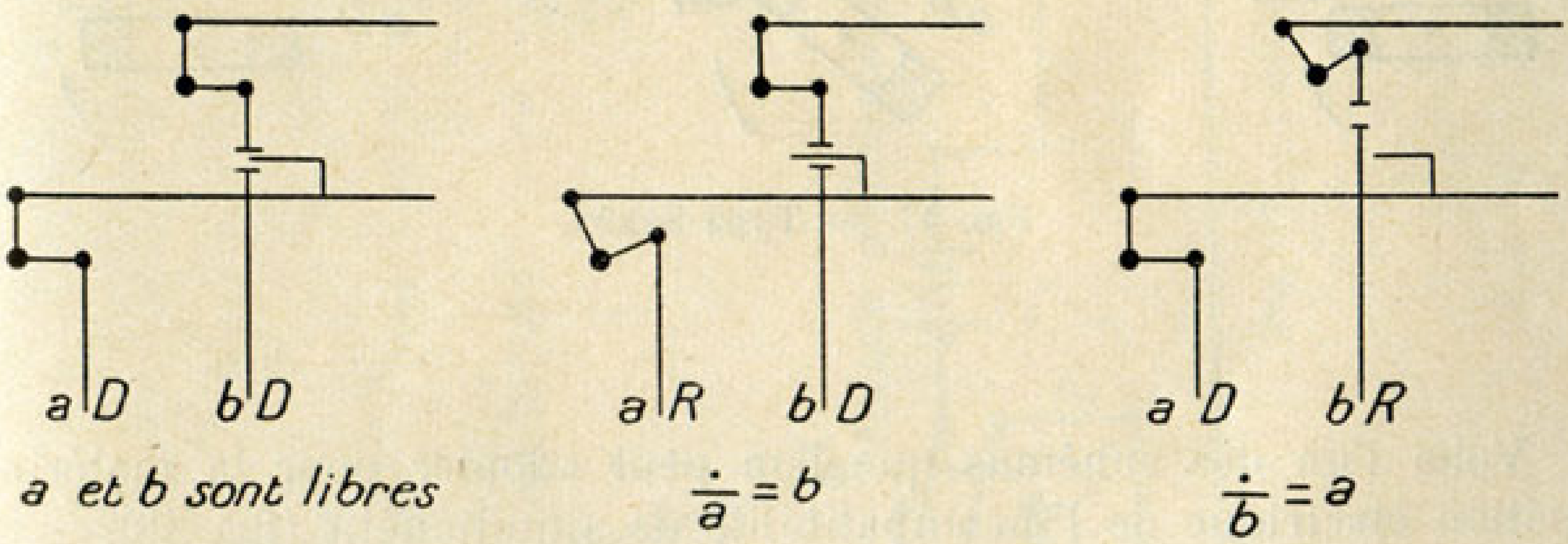


FIG. 45. — Type Vignier.

La représentation de l'enclenchement resterait la même si l'on intervertissait la position des leviers a et b.

Mais lorsque les leviers à relier entre eux dépendent de postes qui ne sont pas très rapprochés l'un de l'autre, la réalisation des enclenchements élémentaires devient indispensable et elle ne peut se faire qu'à l'aide des dispositifs électriques décrits plus haut ou au moyen de serrures, comme cela sera indiqué dans la III^{e} partie.

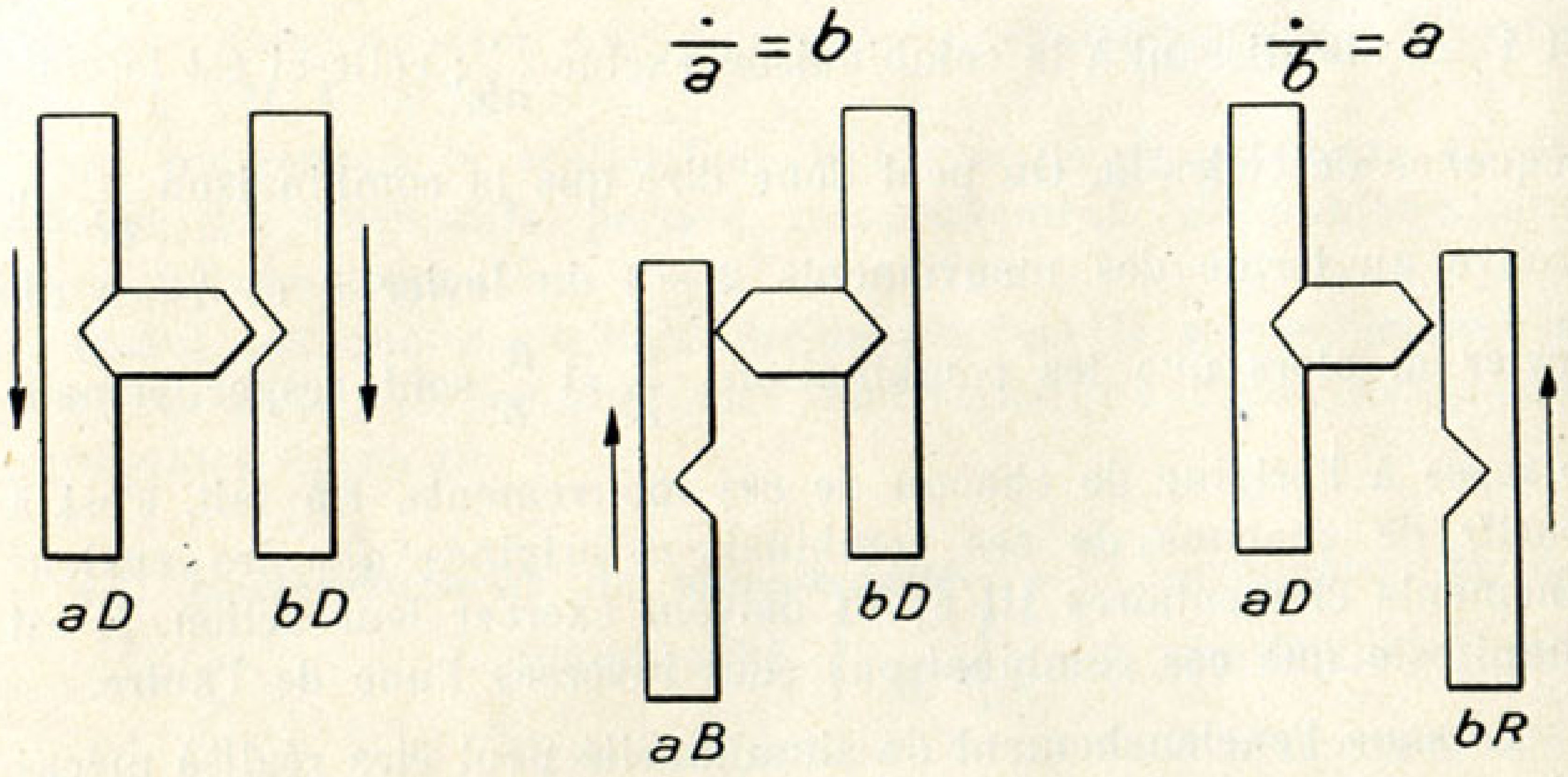


FIG. 46. — Type Stevens.

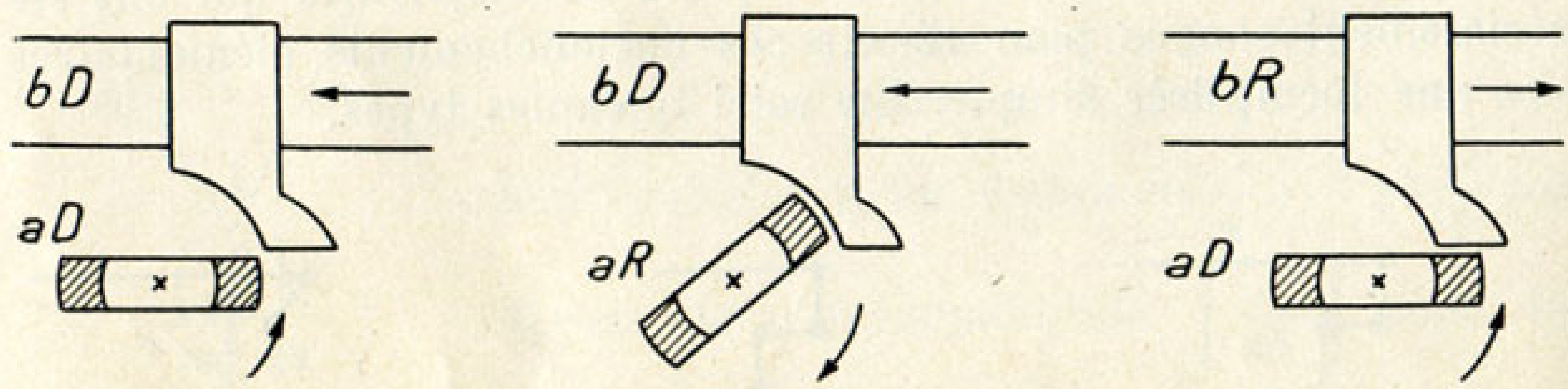


FIG. 47. — Type Saxby.

Voici l'un des schémas que l'on peut adopter pour la matérialisation électrique de l'incompatibilité de simultanéité (fig. 48).

Les électros R*a* et R*b* désexcités enclenchent respectivement les leviers *a* et *b*, mais seulement lorsque ceux-ci sont en position droite, comme cela a été indiqué aux schémas III et VI.

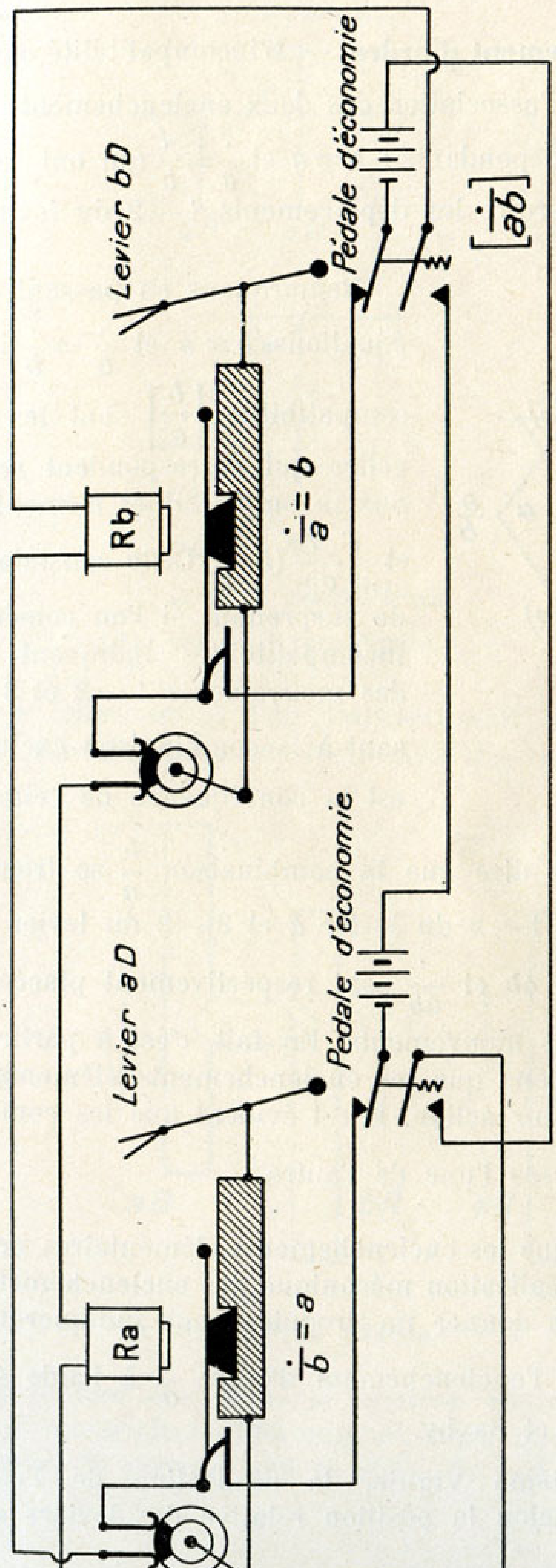


FIG. 48. — Réalisation électrique.

48. Enclenchement d'ordre. — L'incompatibilité d'ordre $\left[\frac{b}{a}\right]$ est matérialisée par l'association des deux enclenchements élémentaires complètement indépendants : $b = a$ et $\frac{\cdot}{a} = \frac{\cdot}{b}$ qui ont respectivement pour office d'interdire les déplacements $1 - 2$ du levier a et $3 - 2$ du levier b.

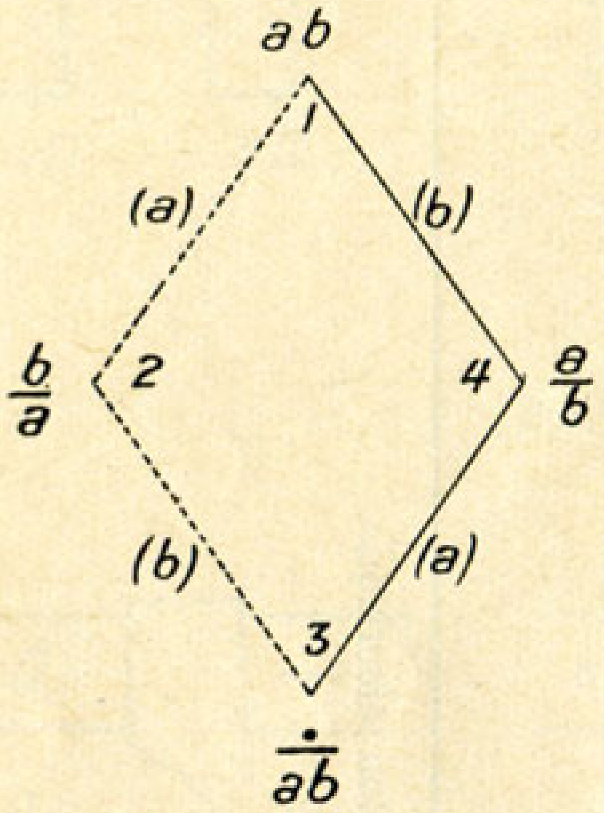


FIG. 49.

Remarquons en passant que les deux équations $b = a$ et $\frac{\cdot}{a} = \frac{\cdot}{b}$ tirées de l'incompatibilité $\left[\frac{b}{a}\right]$ sont les mêmes que celles qui correspondent respectivement aux incompatibilités élémentaires $[ab(a)]$ et $\left[\frac{\cdot}{ab}(b)\right]$. Cette constatation n'a rien de surprenant si l'on considère que ces incompatibilités indiquent l'interdiction des mouvements $1 - 2$ et $3 - 2$ aboutissant à la combinaison exclue $\frac{b}{a}$; celle-ci est la conséquence de celles-là.

On peut donc dire que la combinaison $\frac{b}{a}$ se trouve au terme des mouvements $1 - 2$ du levier a et $3 - 2$ du levier b, alors que les combinaisons ab et $\frac{\cdot}{ab}$ sont respectivement placées à l'origine de chacun de ces mouvements. En fait, c'est à partir de chacune de ces combinaisons que les enclenchements élémentaires I et IV doivent exercer leur action. Il est évident que les combinaisons ab et $\frac{\cdot}{ab}$ sont inverses l'une de l'autre.

Etant donné que les enclenchements élémentaires ne sont jamais utilisés pour la réalisation mécanique des enclenchemets, nous nous abstiendrons d'en donner un croquis; nous indiquerons seulement la réalisation de l'enclenchement d'ordre $\frac{b}{a}$ à l'aide des systèmes Vignier, Stevens et Saxby.

Dans le système Vignier la réalisation de l'enclenchement d'ordre change selon la position relative des leviers a et b.

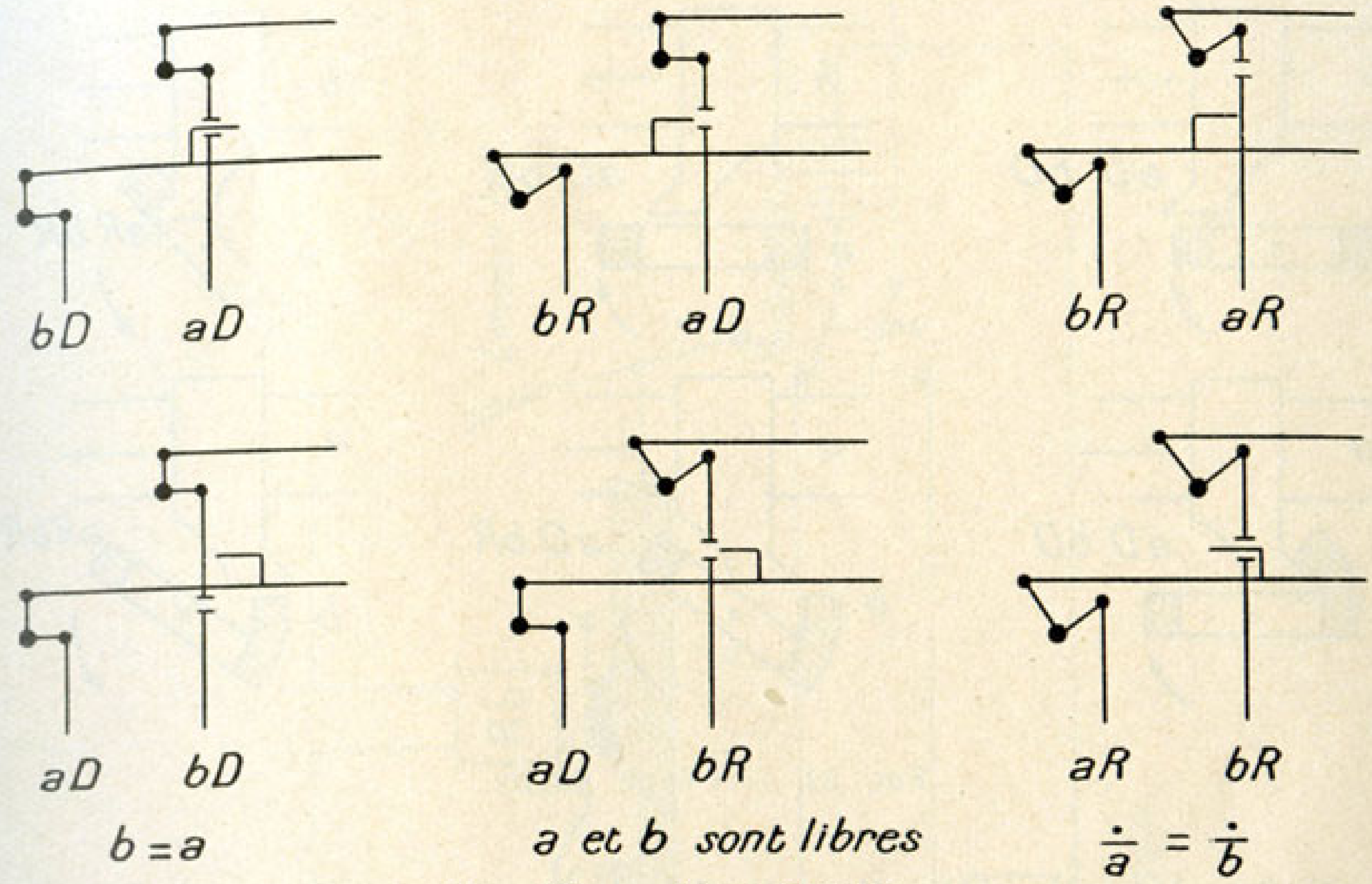


Fig. 50. — Type Vignier.

Dans le type Stevens, si l'on intervertissait la position des leviers, il faudrait évidemment intervertir celle des encoches (fig. 51).

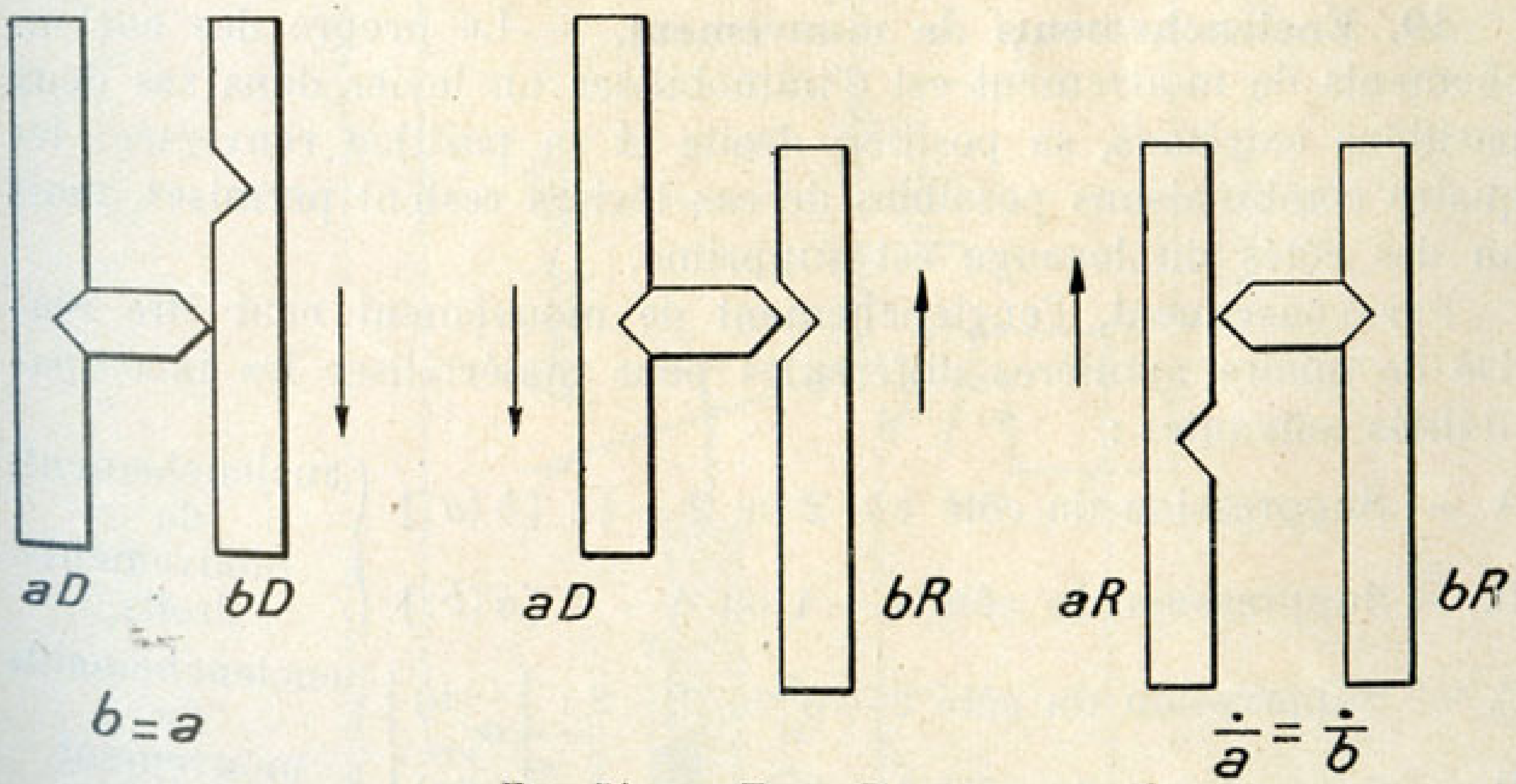


Fig. 51. — Type Stevens.

La figure 52 montre que, dans le système Saxby, l'enclenchement d'ordre est matérialisé différemment selon que le levier qui doit être manœuvré le premier (ici le levier b) agit sur une barre ou sur un gril.

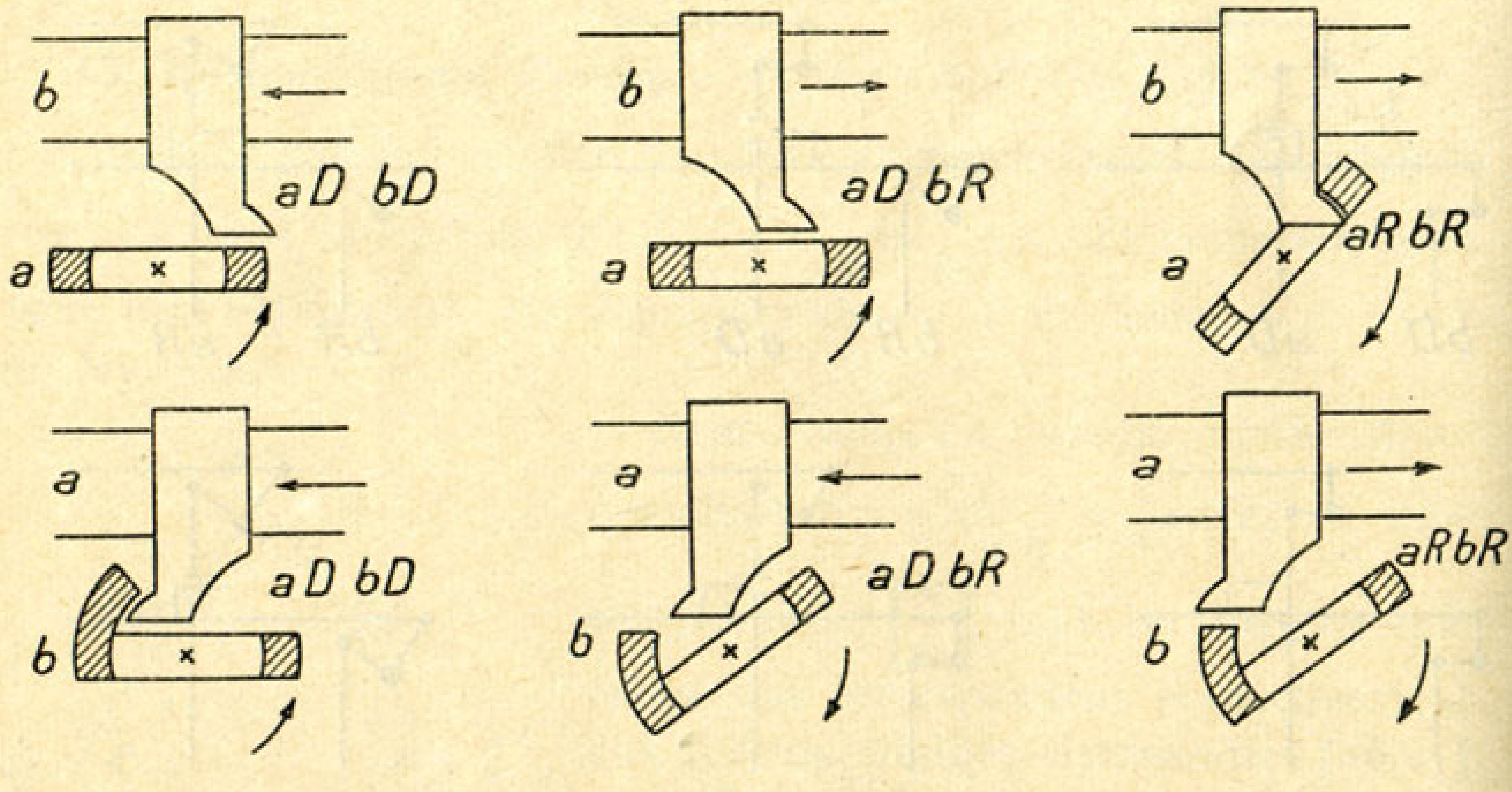


Fig. 52. — Type Saxby.

Enfin, dans la réalisation électrique de l'enclenchement d'ordre, l'électro Ra enclenche le levier a seulement en position droite, alors que l'électro Rb enclenche le levier b seulement en position renversée, comme cela a été indiqué aux schémas I et IV (fig. 53).

49. Enclenchements de mouvement. — Le propre des enclenchements de mouvement est d'immobiliser un levier dans ses deux positions extrêmes, sa position droite et sa position renversée; les quatre combinaisons possibles de ces leviers restent permises, mais un des côtés du losange est supprimé.

Par conséquent, l'enclenchement de mouvement peut être réalisé de quatre manières différentes pour matérialiser les incompatibilités suivantes :

A. — Suppression du côté 1 — 2 ou 2 — 1 : $[b\,(a)]$
B. — Suppression du côté 1 — 4 ou 4 — : $[a\,(b)]$
} enclenchements de mouvement droits,

C. — Suppression du côté 2 — 3 ou 3 — 2 : $\left[\frac{r}{a}(b)\right]$
D. — Suppression du côté 4 — 3 ou 3 — 4 : $\left[\frac{r}{b}(a)\right]$
} enclenchements de mouvement renversés.

En réalité, les incompatibilités A et B remplissent la même fonction car elles ne diffèrent que par une permutation de leviers; il suffira donc d'étudier l'une d'elles.

Il en est de même pour les incompatibilités C et D.

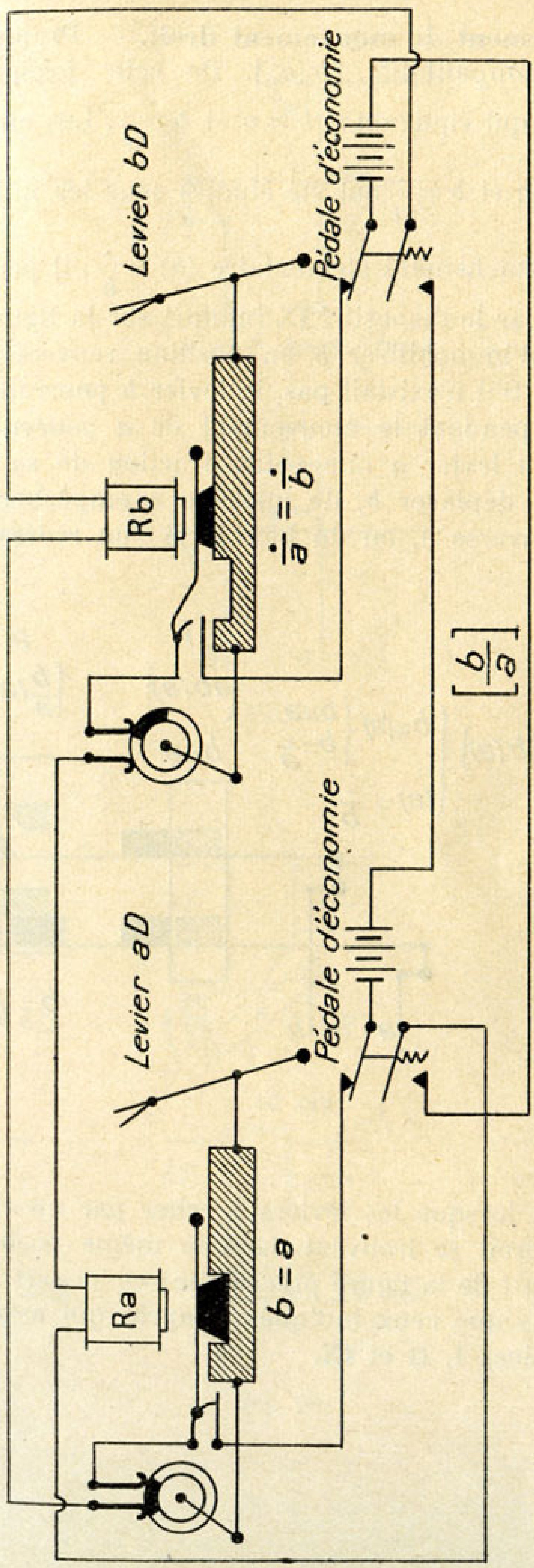


FIG. 53. — Réalisation électrique.

50. Enclenchement de mouvement droit. — Proposons-nous de matérialiser l'incompatibilité $[b\,(a)]$. De cette formule, on tire : $(a) = \frac{\cdot}{b}$ et $b = (a)$ qui équivaut à $b = a$ et $b = \frac{\cdot}{a}$. Les enclenchements élémentaires $b = a$ et $b = \frac{\cdot}{a}$ ont été étudiés sous les numéros I et II.

Quant à l'enclenchement élémentaire $(a) = \frac{\cdot}{b}$, il peut être réalisé mécaniquement par le dispositif IX indiqué sur la figure ci-dessous; sa fonction est d'immobiliser b en position renversée pendant le mouvement de a. S'il n'existait pas, le levier b pourrait être complètement redressé pendant le mouvement de a pourvu que l'on ait fait accomplir au levier a une petite fraction de sa course avant de commencer à déplacer b, de manière à empêcher la chute du bloc I si l'on renverse a, ou du bloc II si l'on redresse a.

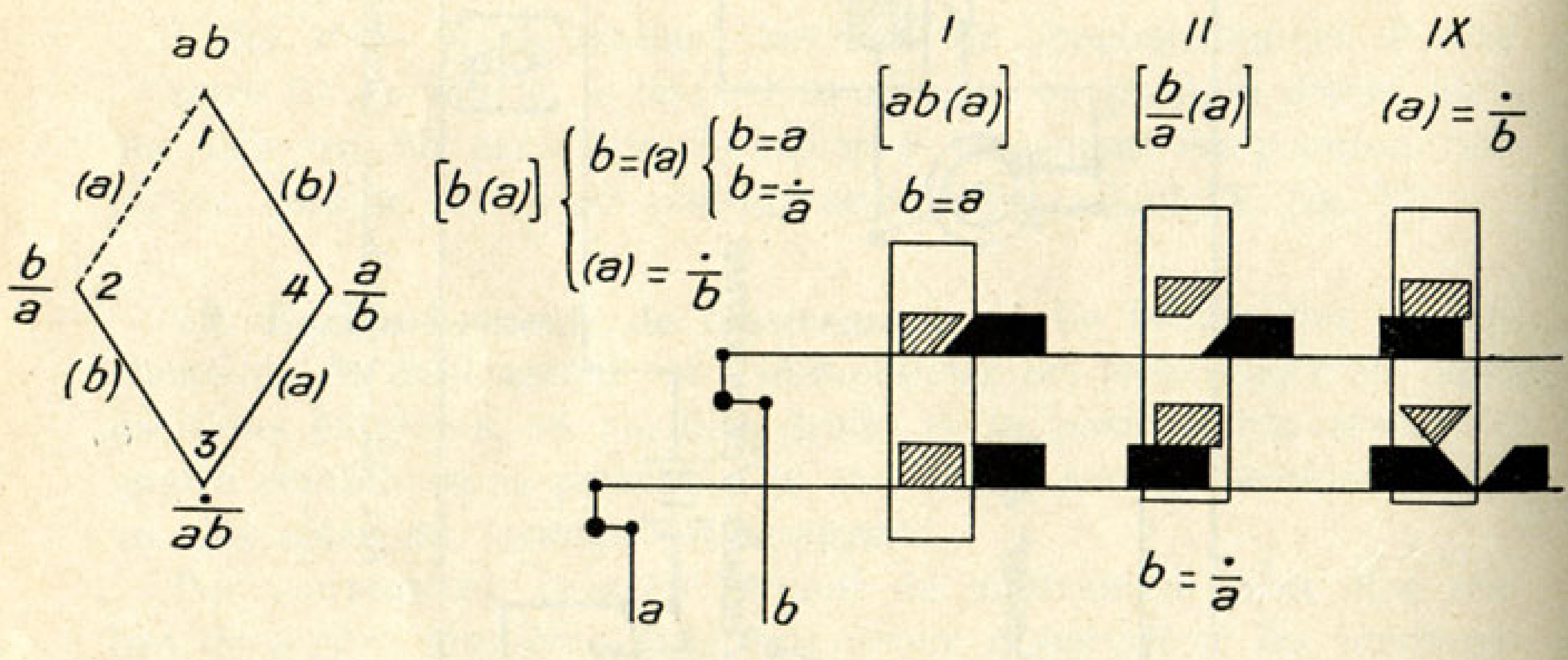


FIG. 54.

Pratiquement, lorsque les leviers à relier par un enclenchement de mouvement droit se trouvent dans le même poste, on n'utilise jamais le dispositif de la figure précédente; on se sert toujours d'enclenchements tels que ceux indiqués ci-après qui associent l'action de chacun des blocs I, II et IX.

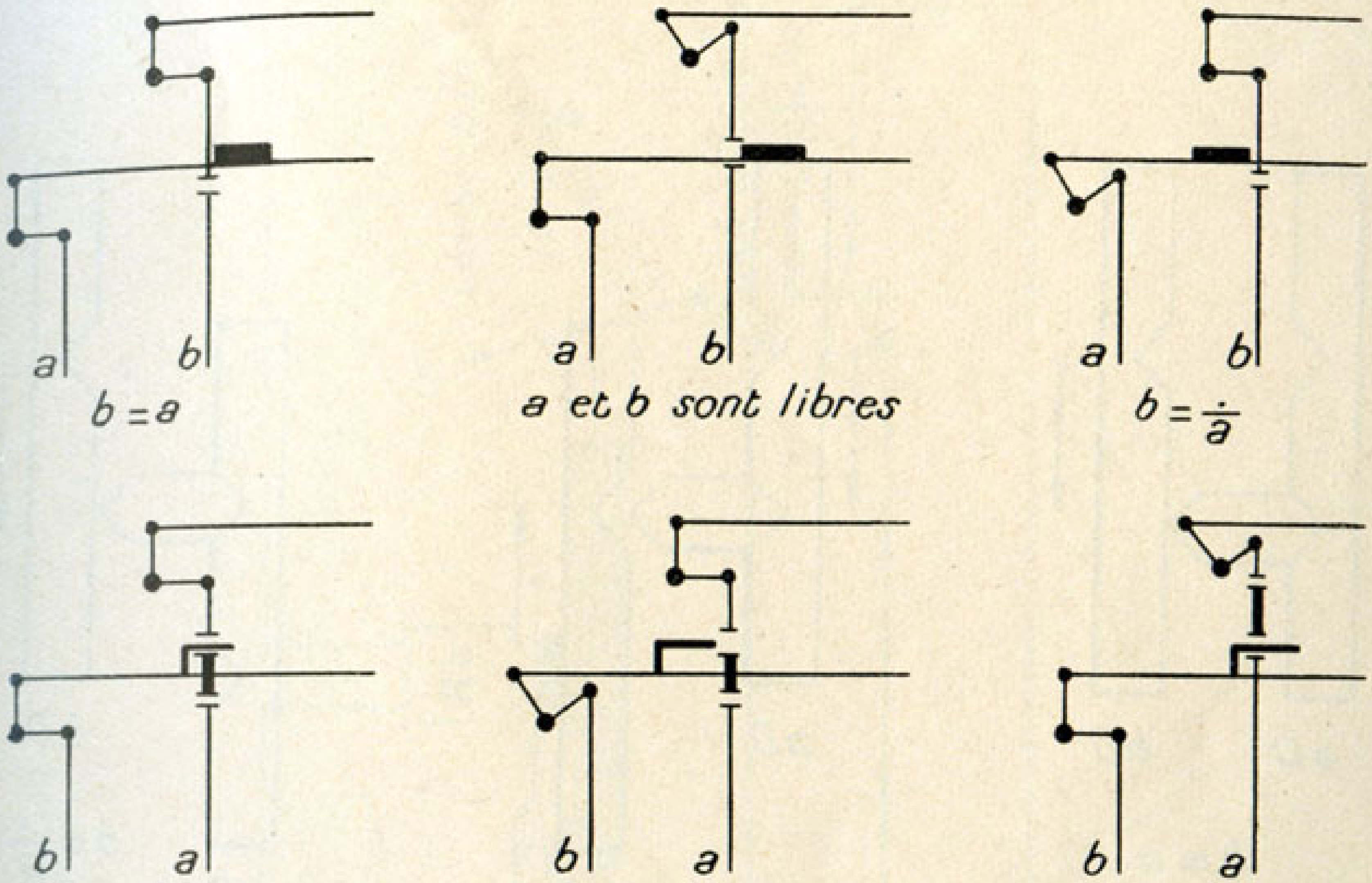

a
b
b = a
a
b
a et b sont libres
a
b
b = ȧ
b
a
b
a
b
a

FIG. 55.

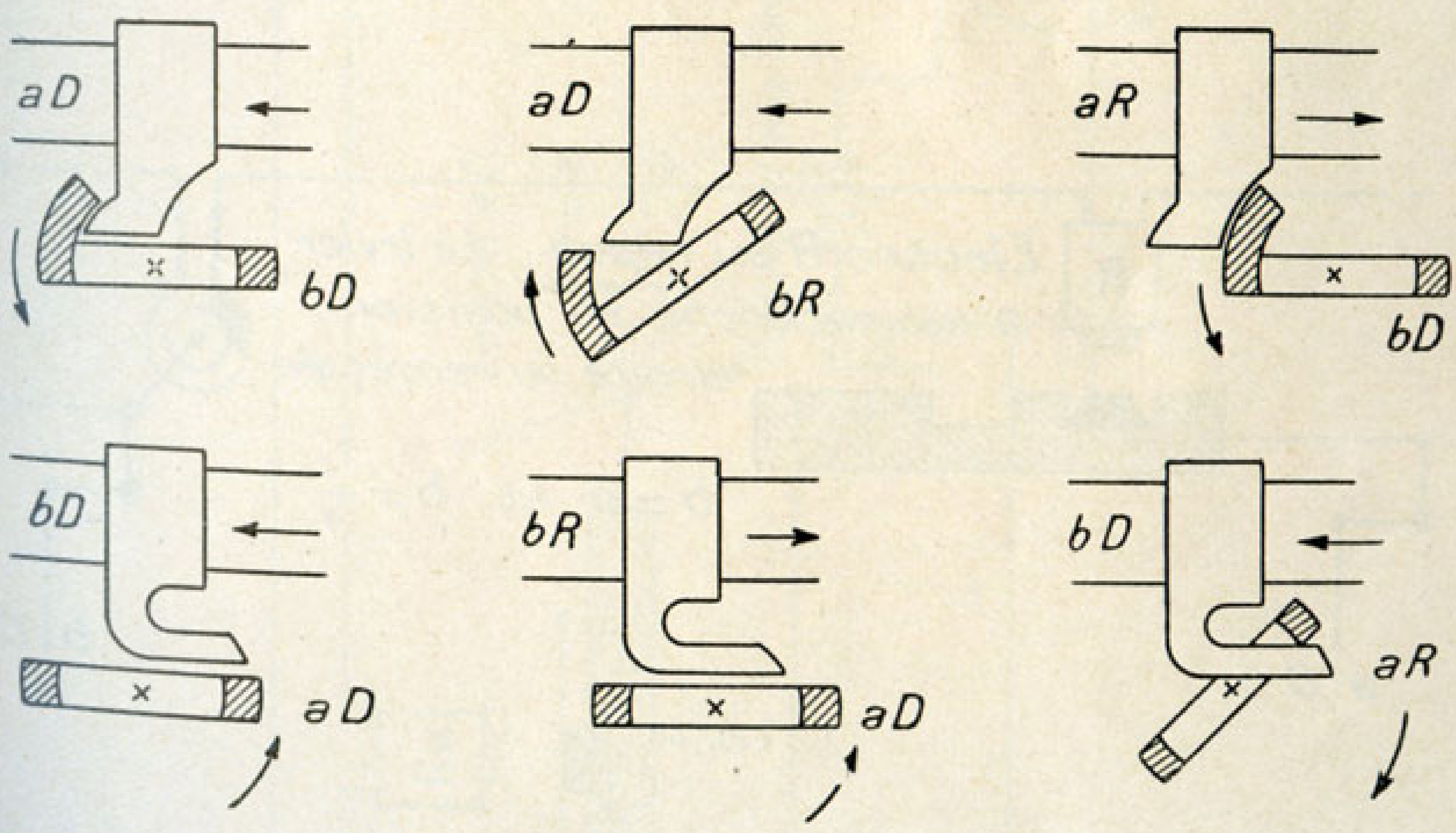

aD
bD
aD
bR
aR
bD
bD
aD
bR
aD
bD
aR

FIG. 56.

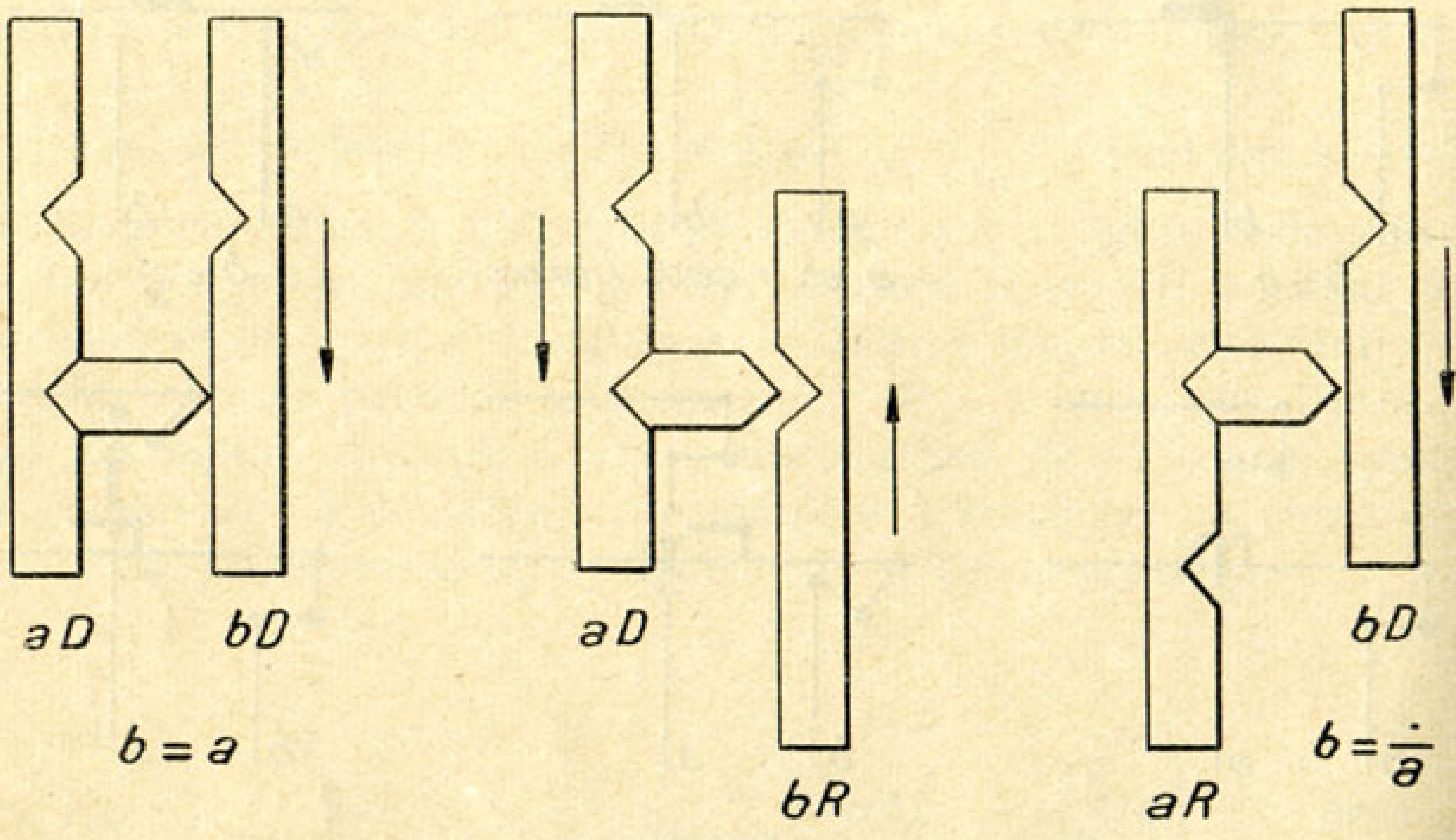

aD
bD
b = a
aD
bR
aR
bD
b = $\dot{\bar{a}}$

FIG. 57.

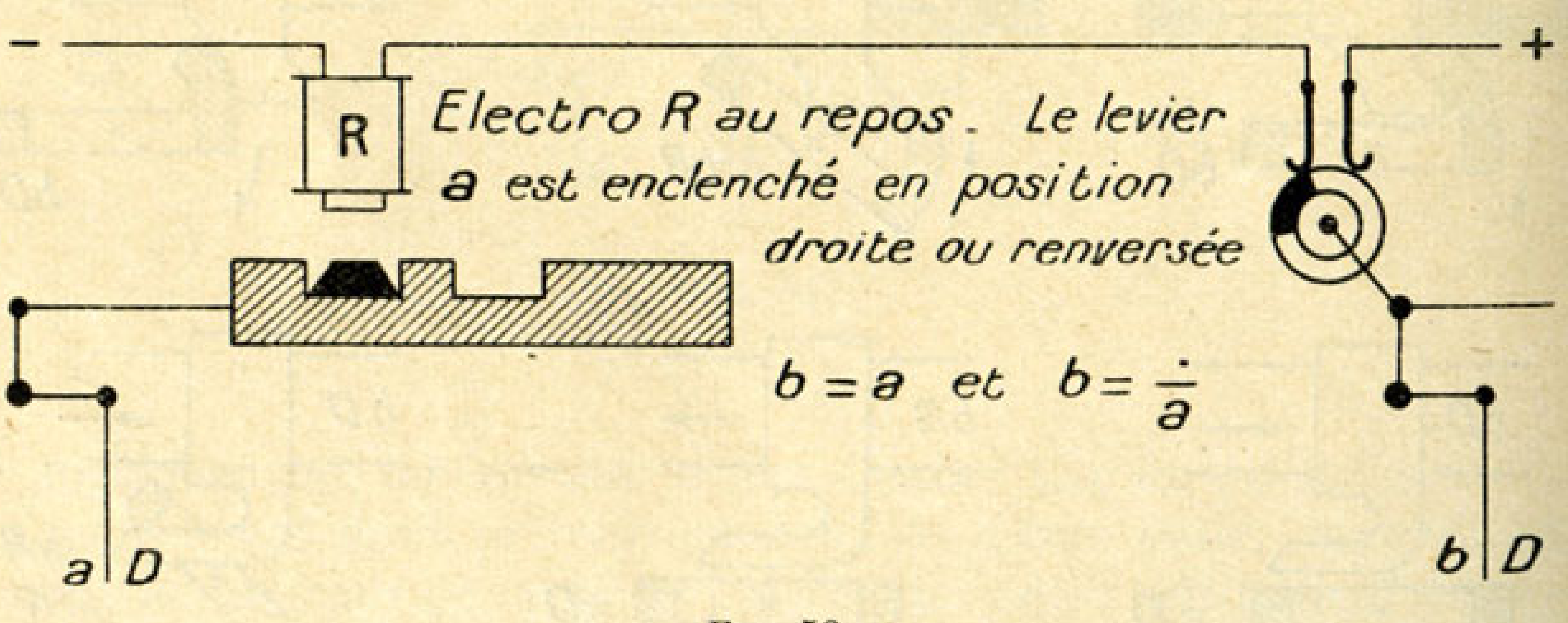
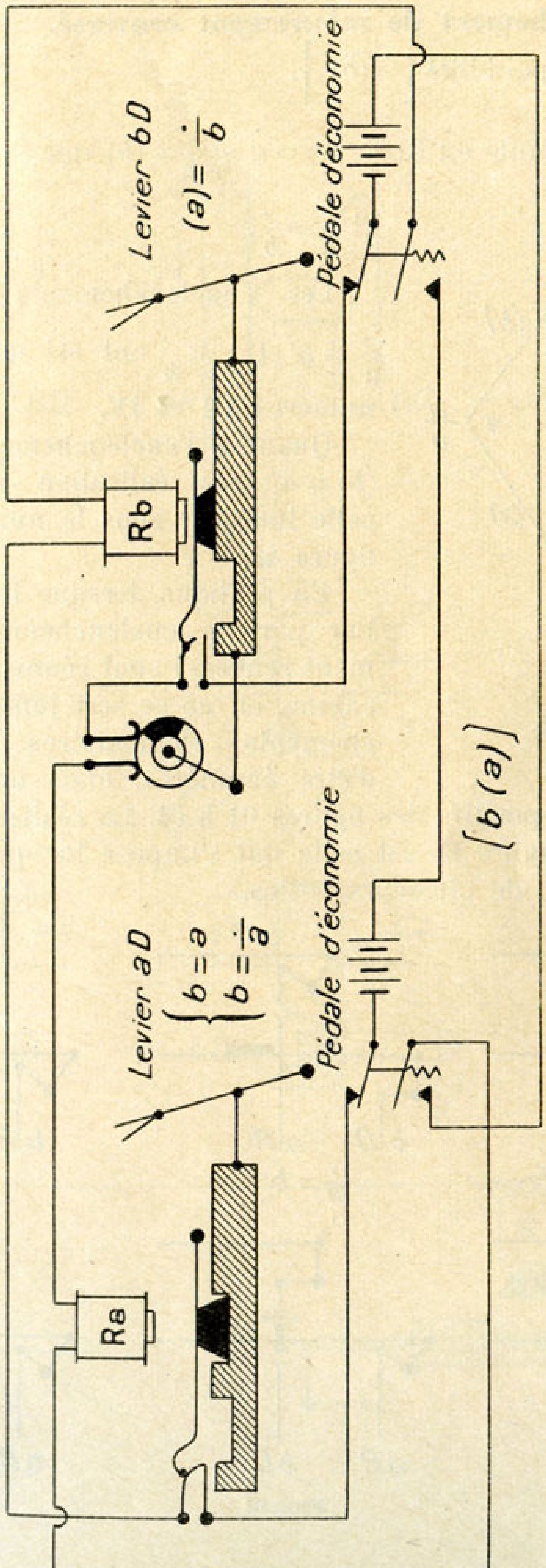

−
+
R
Electro R au repos. Le levier a est enclenché en position droite ou renversée
b = a et b = $\dot{\bar{a}}$
a D
b D

FIG. 58.



Levier bD
(a) = ḃ
Pédale d'économie
Rb
Levier aD
b = a
b = ȧ
Pédale d'économie
Ra
[b (a)]

FIG. 59.

51. Enclenchement de mouvement renversé. — Soit à matérialiser l'incompatibilité $\left[\,\frac{\cdot}{}\,(b)\,\right]$.

De cette formule on tire : $(b) = a$ et $\frac{\cdot}{a} = (b)$ qui équivaut à $\frac{\cdot}{a} = b$ et $\frac{\cdot}{a} = \frac{\cdot}{b}$.

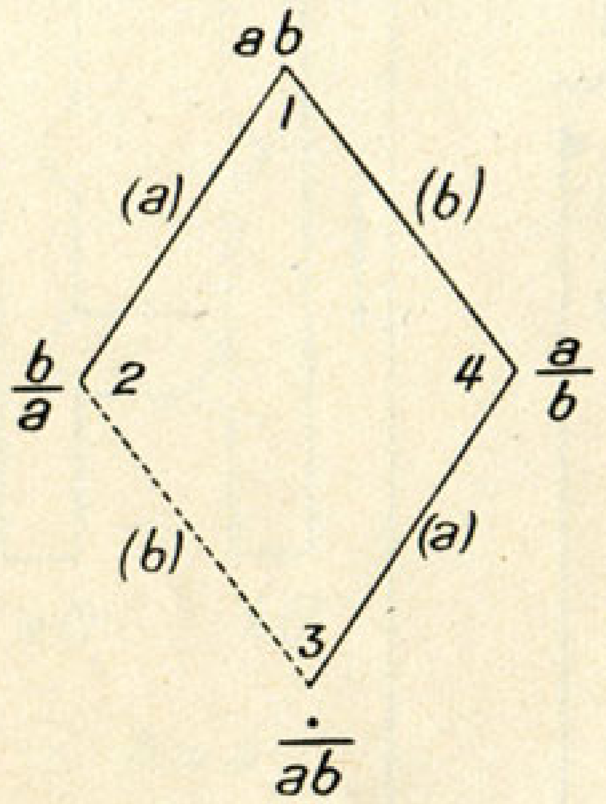


FIG. 60.

Les enclenchements élémentaires $\frac{\cdot}{a} = b$ et $\frac{\cdot}{a} = \frac{\cdot}{b}$ ont été étudiés sous les numéros III et IV.

Quant à l'enclenchement élémentaire $(b) = a$, sa réalisation mécanique est celle indiquée sous le numéro XII de la figure 42.

En pratique, lorsque les leviers à relier par un enclenchement de mouvement renversé sont réunis dans la même cabine, on ne se sert jamais des enclenchements élémentaires qui viennent d'être énumérés, mais on utilise généralement les dispositifs des figures 61 à 64. La réalisation électrique indiquée à la figure 65 est celle qui s'impose lorsque les leviers à relier dépendent de plusieurs postes.

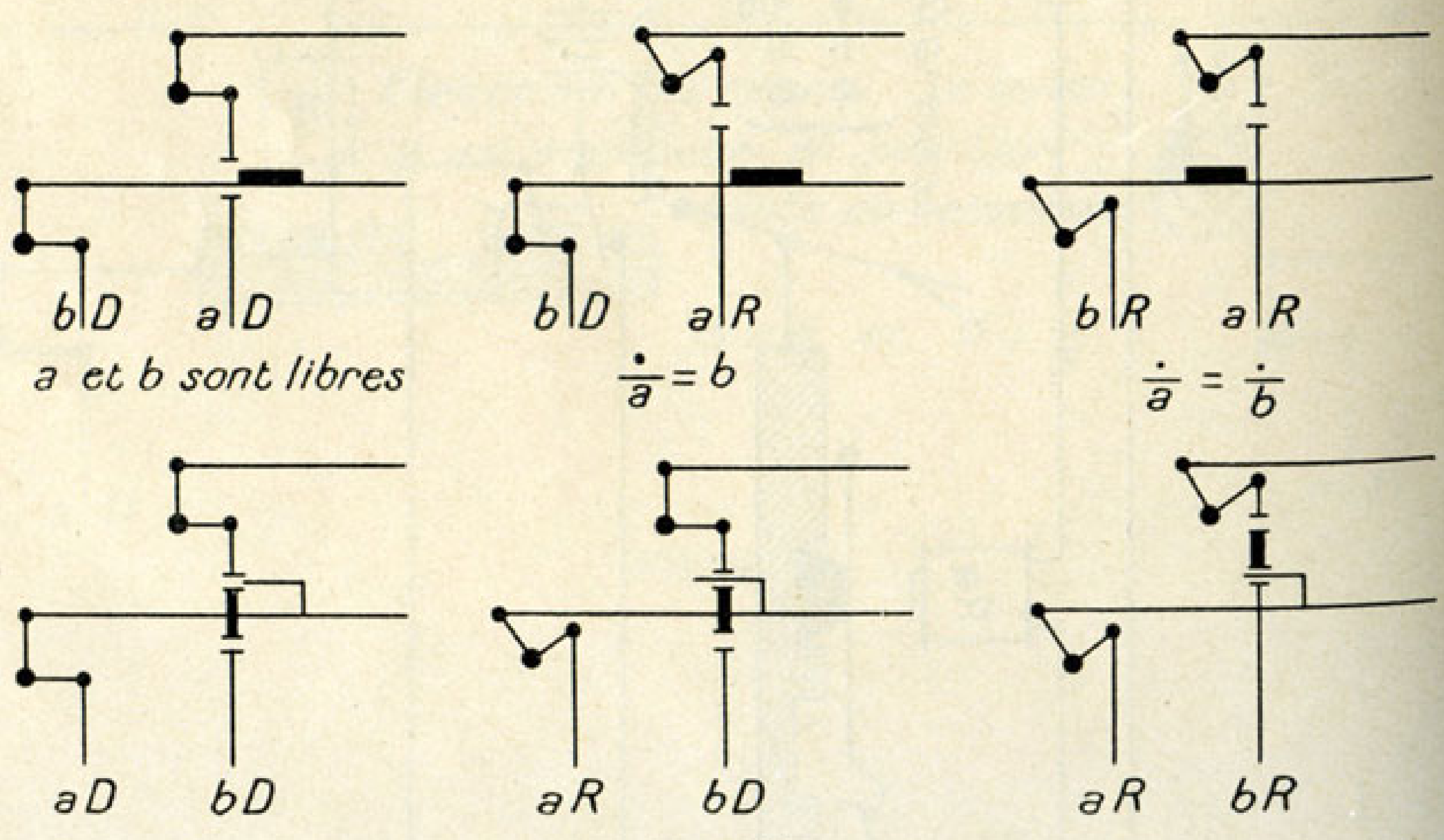


FIG. 61.

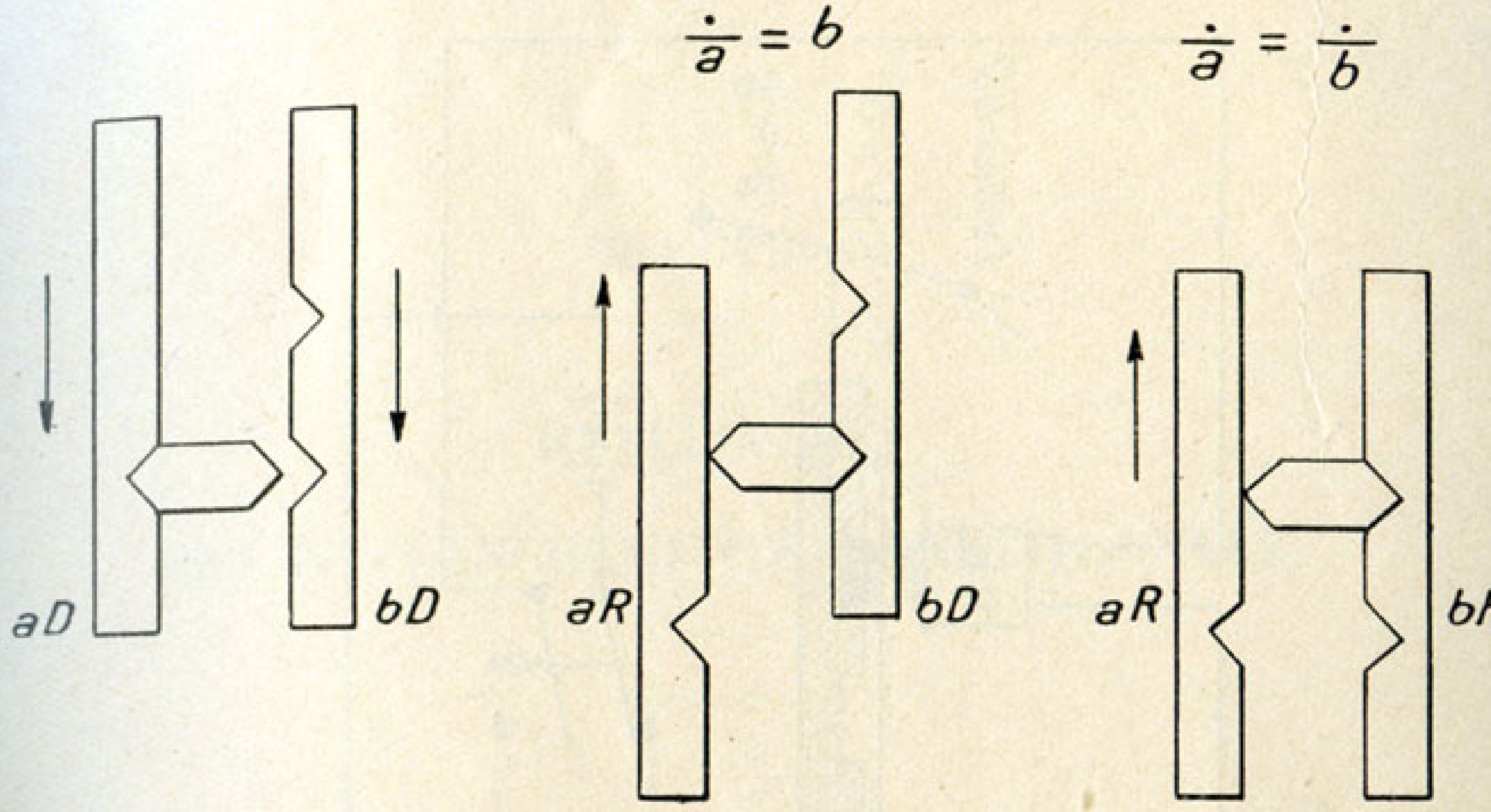


FIG. 62.

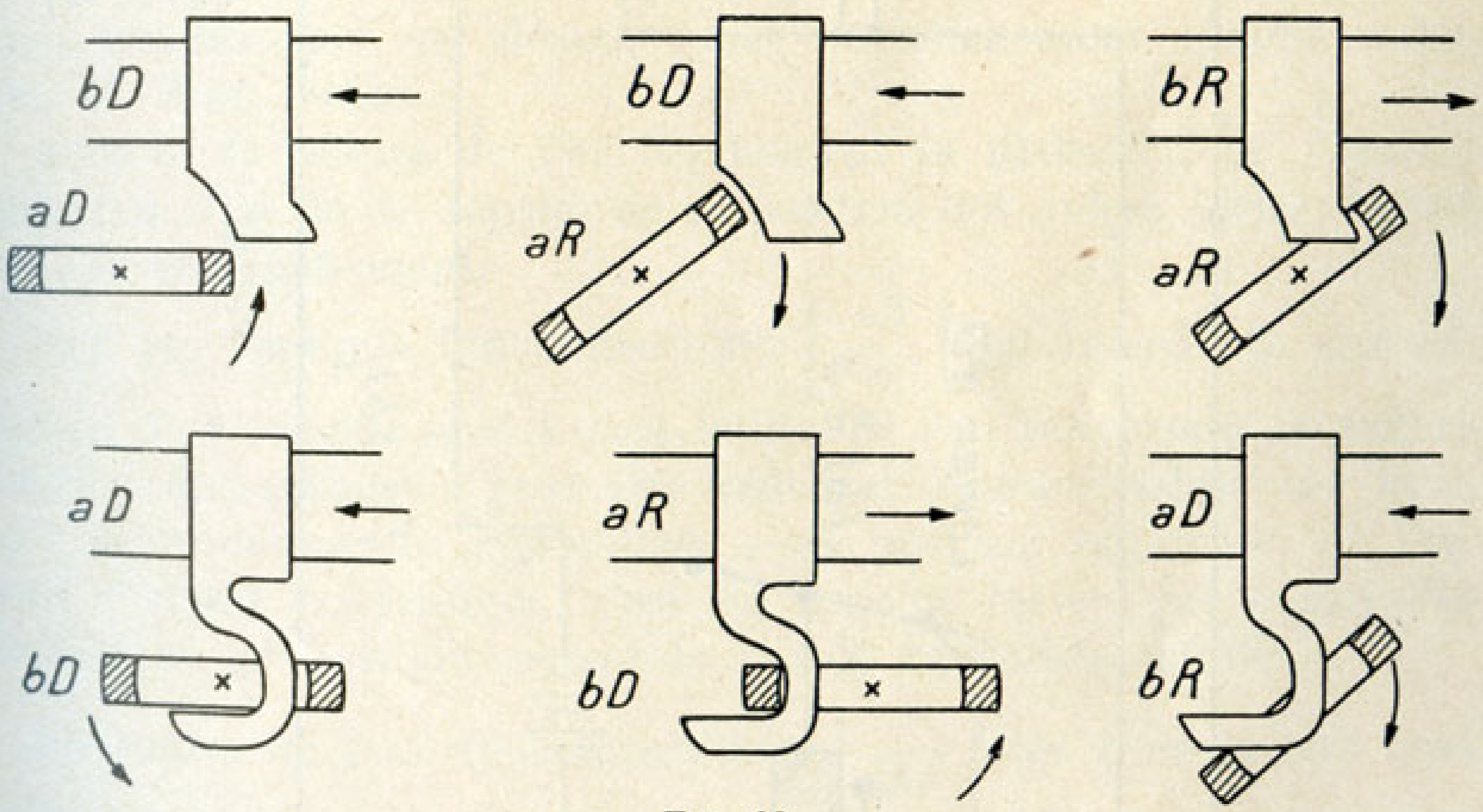


FIG. 63.

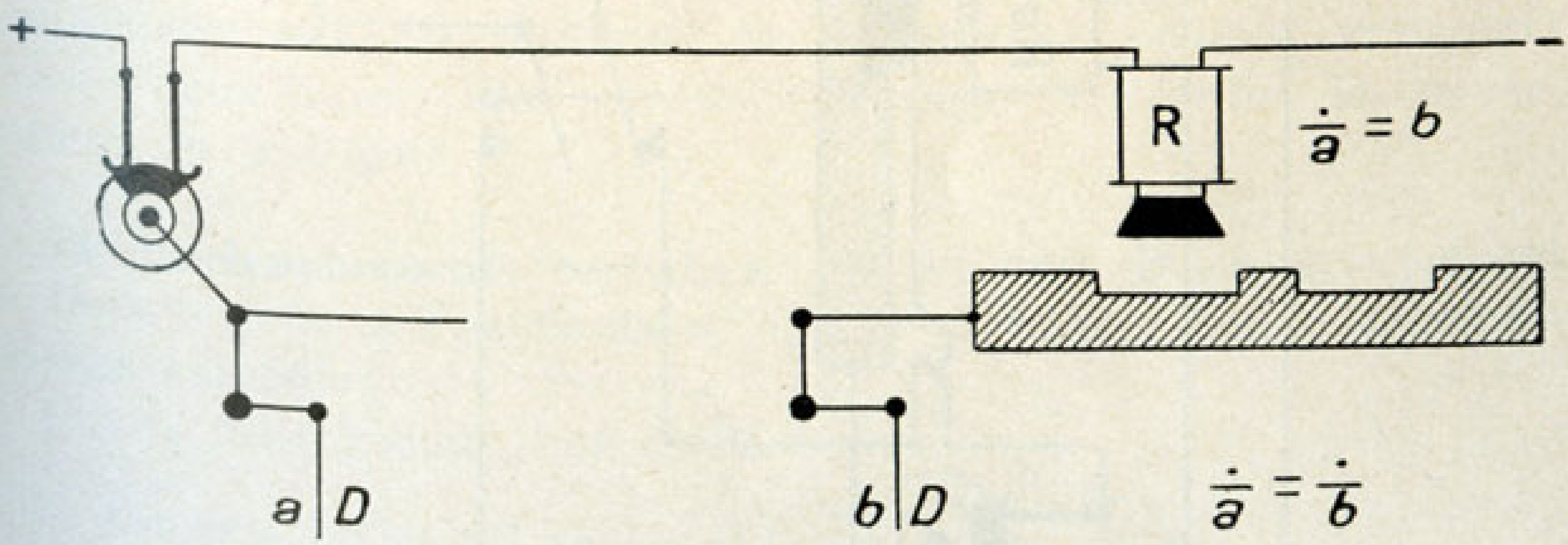


FIG. 64.

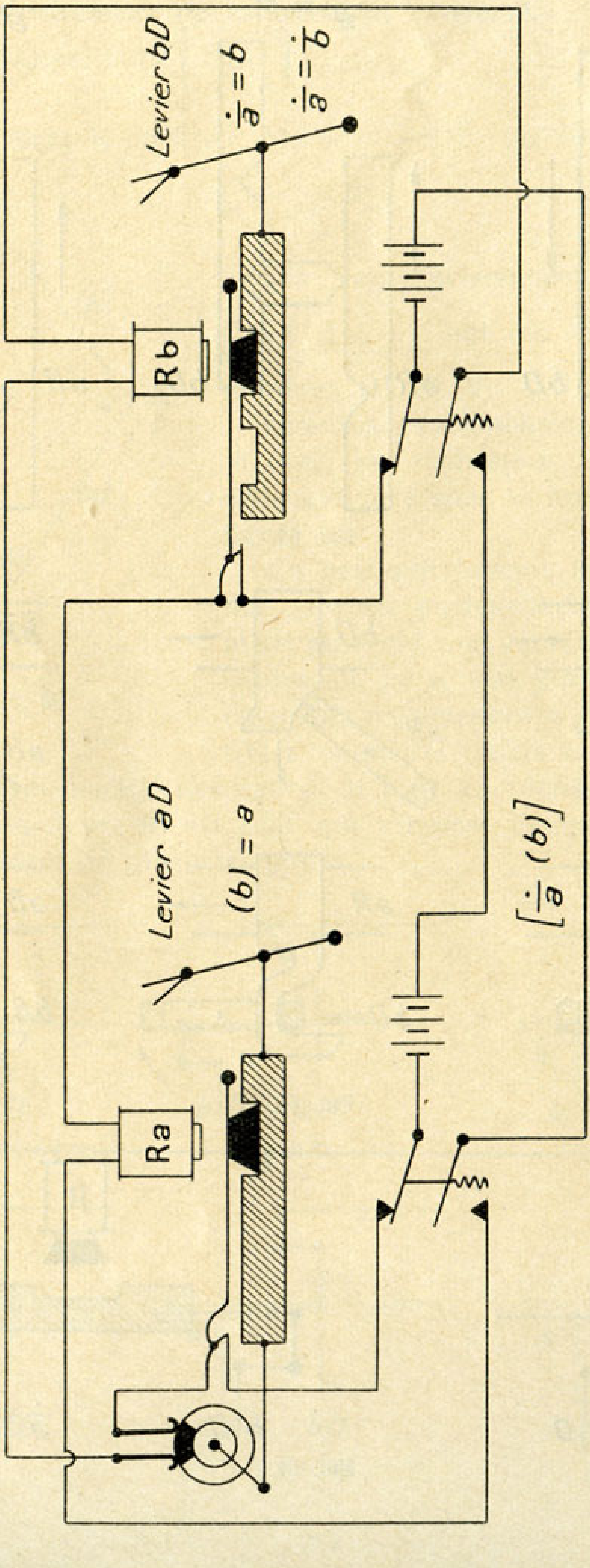


Fig. 65.

CHAPITRE V

RÉALISATION
DES ENCLENCHEMENTS CONDITIONNELS

52. Rappel. — On se rappelle que sous le nom d'enclenchement conditionnel on désigne tout enclenchement réalisé entre plus de deux leviers.

Suivant la nature de l'enclenchement la libération ou l'immobilisation d'un levier dépend de la position des autres leviers reliés par cet enclenchement.

Soit, par exemple, l'incompatibilité $\left[\dfrac{ab}{c}\right]$ qui interdit le renversement de c lorsque a et b sont droits. Si l'on renverse a la subordination disparaît et c peut être renversé. Alors s'établit une nouvelle dépendance qui immobilise a en position renversée. Si l'on avait d'abord renversé b, c'est ce dernier levier qui aurait été immobilisé en position renversée par le renversement de c.

Au contraire, avec l'incompatibilité $\left[\dfrac{\cdot}{abc}\right]$ les trois leviers sont indépendants lorsqu'ils sont tous en position droite et même lorsque l'un d'entre eux est renversé; la dépendance s'établit seulement lorsque deux leviers sont renversés de façon à interdire le renversement du troisième.

53. Enclenchements ternaires. — On sait qu'un groupement de trois leviers indépendants a, b, c peut former les huit combinaisons suivantes :

1° Les trois leviers sont droits : abc;

2° Un seul levier est renversé : $\dfrac{ab}{c}$, $\dfrac{ac}{b}$, $\dfrac{bc}{a}$;

3° Deux leviers sont renversés : $\frac{a}{bc}$, $\frac{b}{ac}$, $\frac{c}{ab}$;

4° Les trois leviers sont renversés : $\frac{\cdot}{abc}$.

La combinaison *abc* ne peut jamais constituer une incompatibilité, puisque, par construction, tous les leviers d'un poste peuvent se trouver ensemble en position droite; mais chacune des sept autres combinaisons peut correspondre à une incompatibilité.

Les incompatibilités relatives aux combinaisons de la deuxième catégorie ont pour office d'interdire le renversement d'un levier lorsque les deux autres sont droits; elles sont donc équivalentes, d'autant plus que rien n'empêche de prendre comme levier *a* le levier *b* ou le levier *c*, comme levier *b* le levier *a* ou le levier *c* et comme levier *c* le levier *a* ou le levier *b*.

Le même raisonnement s'applique aux incompatibilités concernant les combinaisons de la troisième catégorie dont la fonction est d'interdire le renversement de deux leviers lorsque le troisième est en position droite.

En définitive, il résulte de ce qui précède qu'un groupement de trois leviers donne lieu à trois sortes d'enclenchements conditionnels correspondant aux formules-types suivantes $\left[\frac{ab}{c}\right]$; $\left[\frac{a}{bc}\right]$; $\left[\frac{\cdot}{abc}\right]$; ce sont des *enclenchements ternaires de position* parce qu'ils ont pour office d'interdire la combinaison définie par la formule d'incompatibilité correspondante en supprimant les déplacements de leviers qui convergent vers cette combinaison.

54. Classification des enclenchements ternaires. — Au lieu de considérer les trois leviers d'un groupement donné comme étant en repos (ce qui est le cas des enclenchements de position), on peut imaginer que l'un de ces leviers figure en mouvement dans une formule d'incompatibilité; dans ce cas, aucune combinaison n'est interdite, mais le levier dont le symbole est inscrit entre parenthèses est enclenché en position droite et en position renversée lorsque les deux autres leviers occupent chacun la position indiquée dans cette formule d'incompatibilité. Les enclenchements de ce genre sont des *enclenchements ternaires de mouvement*, ou encore des *enclenchements ternaires pendant la course*.

55. Enumération des enclenchements ternaires. — Les enclenchements ternaires de mouvement et de position sont formés par une association d'*enclenchements ternaires élémentaires* dont chacun a pour fonction d'interdire le déplacement d'un levier dans un seul sens et seulement pour une position donnée de chacun des deux autres leviers.

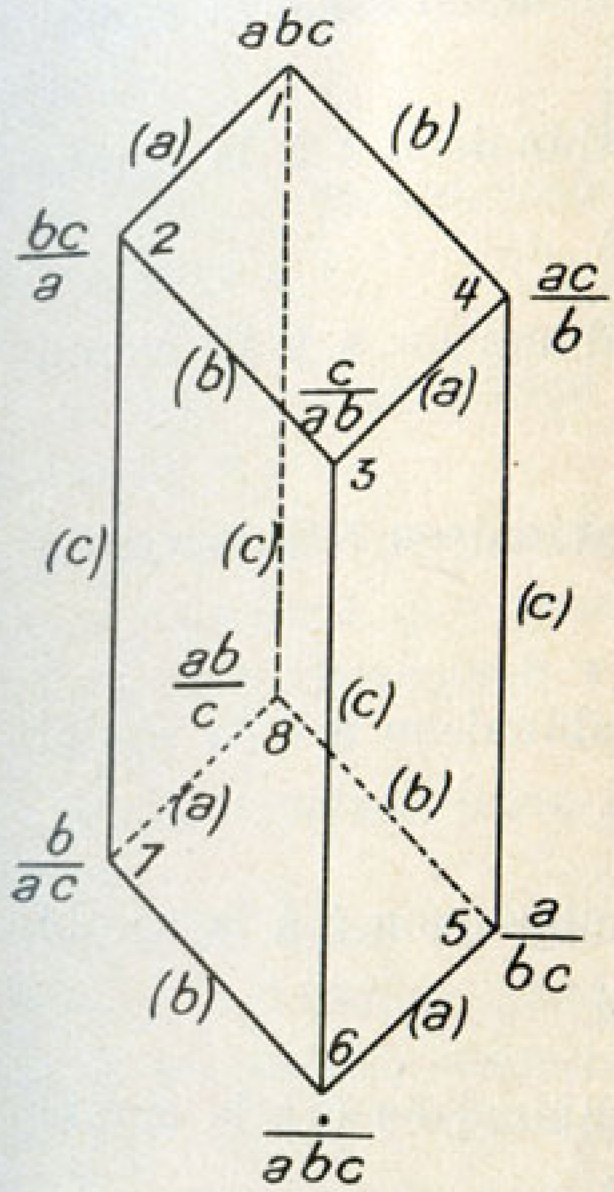


FIG. 66.

L'étude des enclenchements ternaires doit donc logiquement commencer par celle des enclenchements élémentaires. Or, le nombre des déplacements de leviers reliant chacune des huit combinaisons possibles de trois leviers aux trois combinaisons adjacentes est de 12, comme le montre le parallélipipède de Perrin; il en résulte que, pour interdire ces 12 déplacements dans les deux sens, il faut 24 ternaires élémentaires.

En voici l'énumération complétée par les formules d'incompatibilités et les équations d'enclenchements qui leur correspondent.

I. — Interdiction du passage de la combinaison 1 à la combinaison 2 :
$$[abc\,(a)]; \quad bc = a.$$

II. — Interdiction du passage de la combinaison 2 à la combinaison 1 :
$$\left[\frac{bc}{a}\ (a)\right]; \quad bc = \frac{\cdot}{a}.$$

III. — Interdiction du passage de la combinaison 2 à la combinaison 3 :
$$\left[\frac{bc}{a}\ (b)\right]; \quad \frac{c}{a} = b.$$

IV. — Interdiction du passage de la combinaison 3 à la combinaison 2 :
$$\left[\frac{c}{ab}\ (b)\right]; \quad \frac{c}{a} = \frac{\cdot}{b}.$$

V. — Interdiction du passage de la combinaison 3 à la combinaison 4 :
$$\left[\frac{c}{ab}\ (a)\right]; \quad \frac{c}{b} = \frac{\cdot}{a}.$$

VI. — Interdiction du passage de la combinaison 4 à la combinaison 3 :
$$\left[\frac{ac}{b}\ (a)\right]; \quad \frac{c}{b} = a.$$

VII. — Interdiction du passage de la combinaison 4 à la combinaison 1 : $\left[\frac{ac}{b}(b)\right]$; $ac = \frac{\cdot}{b}$.

VIII. — Interdiction du passage de la combinaison 1 à la combinaison 4 : $[abc\,(b)]$; $ac = b$.

IX. — Interdiction du passage de la combinaison 4 à la combinaison 5 : $\left[\frac{ac}{b}(c)\right]$; $\frac{a}{b} = c$.

X. — Interdiction du passage de la combinaison 5 à la combinaison 4 : $\left[\frac{a}{bc}(c)\right]$; $\frac{a}{b} = \frac{\cdot}{c}$.

XI. — Interdiction du passage de la combinaison 5 à la combinaison 8 : $\left[\frac{a}{bc}(b)\right]$; $\frac{a}{c} = \frac{\cdot}{b}$.

XII. — Interdiction du passage de la combinaison 8 à la combinaison 5 : $\left[\frac{ab}{c}(b)\right]$; $\frac{a}{c} = b$.

XIII. — Interdiction du passage de la combinaison 5 à la combinaison 6 : $\left[\frac{a}{bc}(a)\right]$; $\frac{\cdot}{bc} = a$.

XIV. — Interdiction du passage de la combinaison 6 à la combinaison 5 : $\left[\frac{\cdot}{abc}(a)\right]$; $\frac{\cdot}{bc} = \frac{\cdot}{a}$.

XV. — Interdiction du passage de la combinaison 6 à la combinaison 3 : $\left[\frac{\cdot}{abc}(c)\right]$; $\frac{\cdot}{ab} = \frac{\cdot}{c}$.

XVI. — Interdiction du passage de la combinaison 3 à la combinaison 6 : $\left[\frac{c}{ab}(c)\right]$; $\frac{\cdot}{ab} = c$.

XVII. — Interdiction du passage de la combinaison 6 à la combinaison 7 : $\left[\frac{\cdot}{abc}(b)\right]$; $\frac{\cdot}{ac} = \frac{\cdot}{b}$.

XVIII. — Interdiction du passage de la combinaison 7 à la combinaison 6 : $\left[\frac{b}{ac}(b)\right]$; $\frac{\cdot}{ac} = b$.

XIX. — Interdiction du passage de la combinaison 7 à la combinaison 2 : $\left[\frac{b}{ac}(c)\right]$. $\frac{b}{a} = \frac{\cdot}{c}$.

XX. — Interdiction du passage de la combinaison 2 à la combinaison 7 : $\left[\frac{bc}{a}(c)\right]$; $\frac{b}{a} = c$.

XXI. — Interdiction du passage de la combinaison 7 à la combinaison 8 : $\left[\frac{b}{ac}\ (a)\right]$; $\frac{b}{c} = \frac{\cdot}{a}$.

XXII. — Interdiction du passage de la combinaison 8 à la combinaison 7 : $\left[\frac{ab}{c}\ (a)\right]$; $\frac{b}{c} = a$.

XXIII. — Interdiction du passage de la combinaison 8 à la combinaison 1 : $\left[\frac{ab}{c}\ (c)\right]$; $ab = \frac{\cdot}{c}$.

XXIV. — Interdiction du passage de la combinaison 1 à la combinaison 8 : $[abc\,(c)]$; $ab = c$.

Ces formules d'incompatibilités élémentaires sont faciles à établir en considérant que chacune se compose de deux éléments :

1° La combinaison située à l'origine du déplacement de levier interdit.

2° Le symbole entre parenthèses du levier qui doit rester immobilisé.

Comme pour les enclenchements binaires il existe des enclenchements ternaires pendant la course destinés à rendre impossibles les déplacements simultanés de leviers reliés par un enclenchement de mouvement. Ces enclenchements ternaires pendant la course appartiennent aux quatre types définis par les formules suivantes :

$$\text{K)}\ a\,(c) = \frac{\cdot}{b}\ ;\quad \text{L)}\ a\,(c) = b\ ;\quad \text{M)}\ \frac{\cdot}{a}\,(c) = \frac{\cdot}{b}\ ;\quad \text{N)}\ \frac{\cdot}{a}\,(c) = b.$$

Ils seront étudiés avec les enclenchements de mouvement.

56. Classification des incompatibilités élémentaires. — Les 24 incompatibilités ci-dessus peuvent être classées de la façon suivante :

A. — Trois formules du type $[abc\,(c)]$ où tous les leviers sont droits;

B. — Trois formules de chacun des types $\left[\frac{ab}{c}\ (a)\right]$ et $\left[\frac{ab}{c}\ (b)\right]$ soit six formules dans lesquelles le levier dont le déplacement est interdit est droit;

C. — Trois formules du type $\left[\frac{ab}{c}\ (c)\right]$ où le levier dont le déplacement est interdit est en position renversée;

D. — Trois formules du type $\left[\frac{a}{bc}\ (a)\right]$ où le levier dont le déplacement est interdit est droit;

E. — Trois formules de chacun des types $\left[\frac{a}{bc}(b)\right]$ et $\left[\frac{a}{bc}(c)\right]$ soit six formules dans lesquelles le levier dont le déplacement est interdit est en position renversée;

F. — Trois formules du type $\left[\frac{\cdot}{abc}(a)\right]$ où tous les leviers sont renversés.

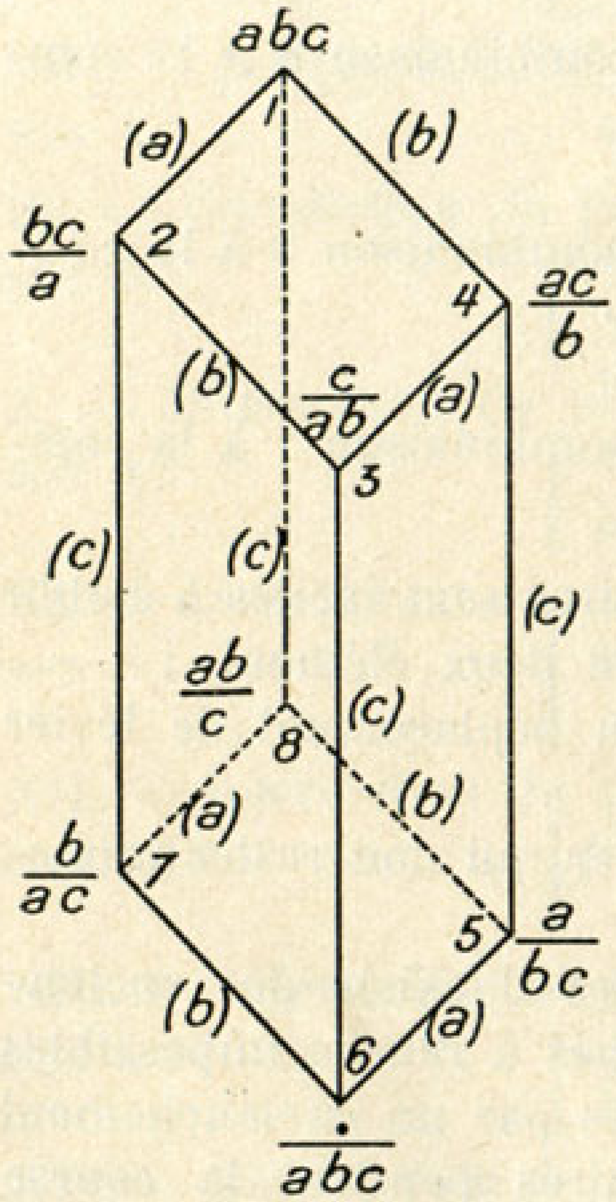


FIG. 67.

57. Matérialisation des incompatibilités élémentaires. — Les figures ci-dessous représentent les six types d'enclenchements élémentaires qui viennent d'être définis; elles permettent de se rendre compte que, pour une position donnée de chaque levier, les trois leviers sont complètement indépendants et peuvent être manœuvrés ensemble. Ce sont donc des enclenchements qu'il ne faut jamais employer isolément.

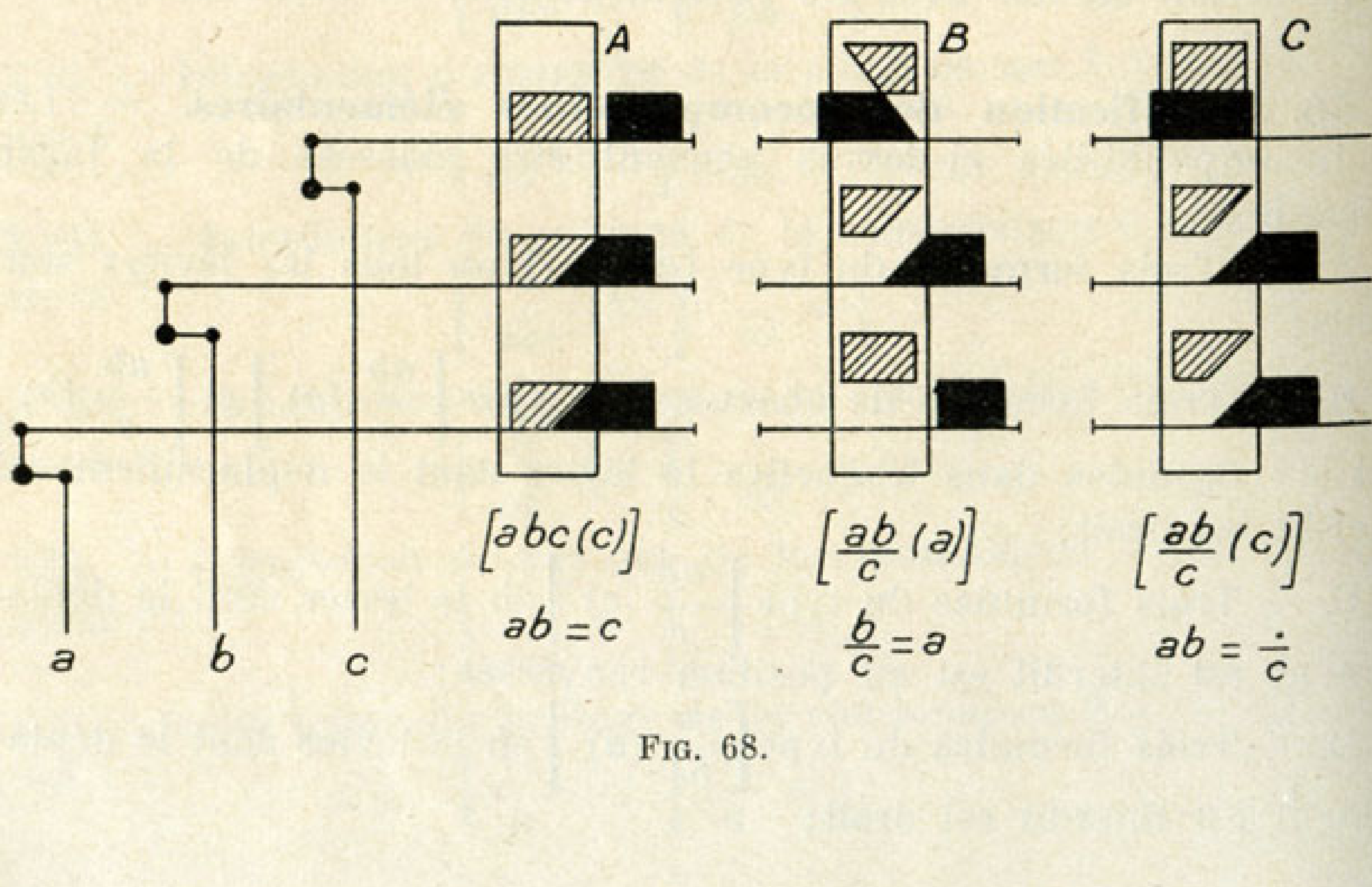


FIG. 68.

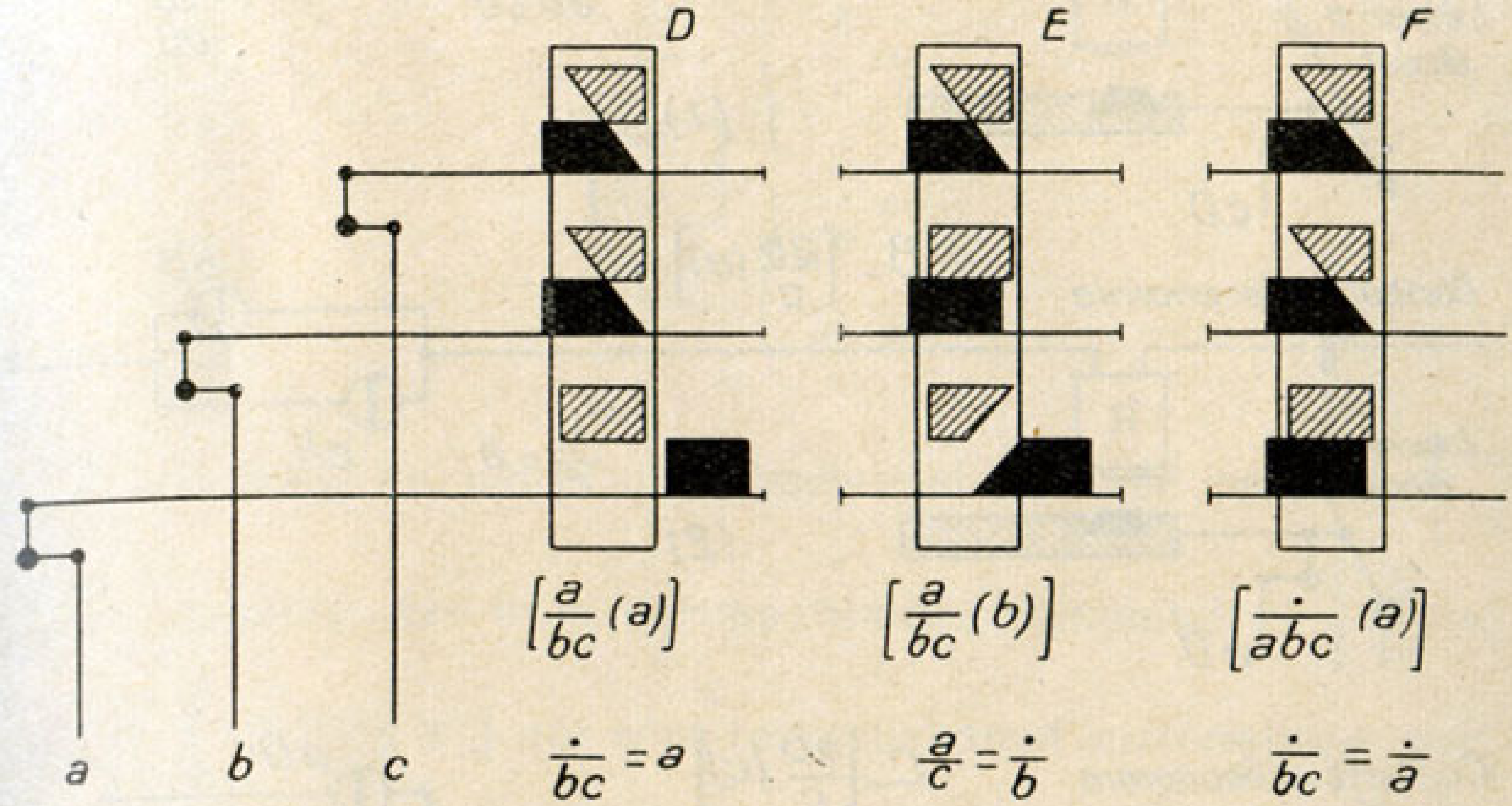


FIG. 69.

Les schémas de la réalisation électrique de ces enclenchements sont les suivants (voir page suivante, fig. 70).

Afin d'empêcher une consommation inutile de courant chaque levier enclenché électriquement est muni d'un interrupteur d'économie destiné à ne laisser passer le courant dans le circuit de l'électro qu'au moment où ce levier doit être manœuvré.

58. Enclenchements ternaires de position. Matérialisation de l'incompatibilité $\left[\dfrac{ab}{c}\right]$. — L'incompatibilité $\left[\dfrac{ab}{c}\right]$ empêche la formation de la combinaison 8. Pour cela, il faut interdire les déplacements de leviers qui y aboutissent, c'est-à-dire les déplacements 7-8 du levier a, 5-8 du levier b et 1-8 du levier c. C'est la fonction des trois enclenchements ternaires élémentaires que l'on tire de cette incompatibilité :

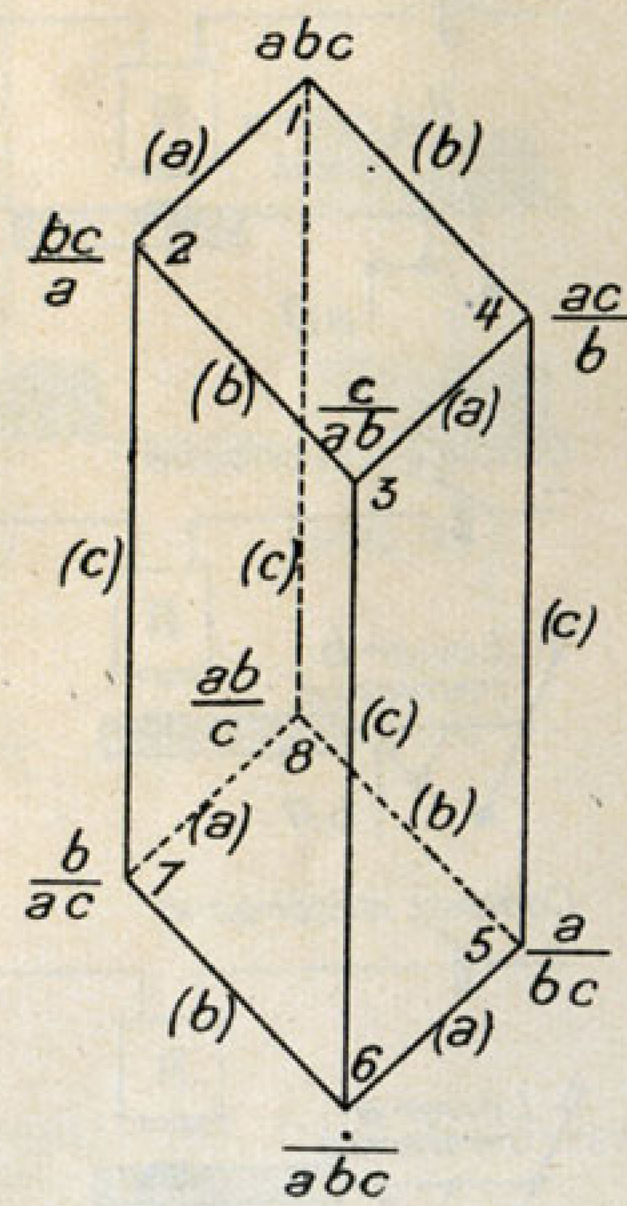


FIG. 71.

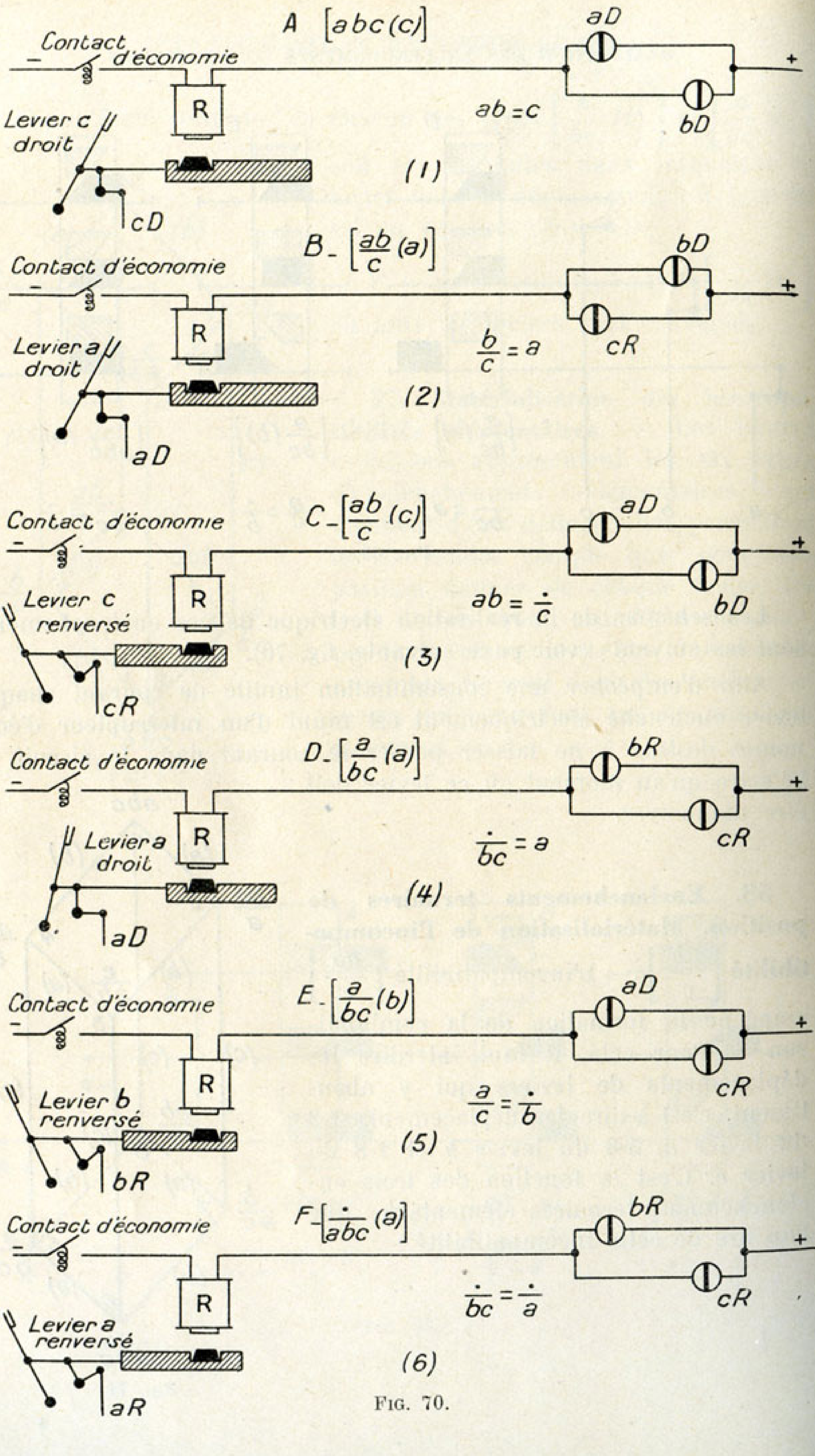

A [abc(c)]
Contact d'économie
Levier c droit
cD
aD
bD
ab = c
(1)
B – [ab/c (a)]
Contact d'économie
Levier a droit
aD
bD
cR
b/c = a
(2)
C – [ab/c (c)]
Contact d'économie
Levier c renversé
cR
aD
bD
(3)
D – [a/bc (a)]
Contact d'économie
Levier a droit
aD
bR
cR
(4)
E – [a/bc (b)]
Contact d'économie
Levier b renversé
bR
aD
cR
(5)
Contact d'économie
Levier a renversé
aR
bR
cR
(6)

Fig. 70.

$$\left[\frac{ab}{c}\right] \left\{ \begin{array}{l} \dfrac{b}{c} = \dfrac{\cdot}{a} \\[2ex] \dfrac{a}{c} = \dfrac{\cdot}{b} \\[2ex] ab = c. \end{array} \right.$$

Remarquons, en outre, que l'incompatibilité de position $\left[\frac{ab}{c}\right]$ est la résultante des trois incompatibilités élémentaires $\left[\frac{b}{ac}(a)\right]$, $\left[\frac{a}{bc}(b)\right]$ et $[abc\,(c)]$ qui sont respectivement matérialisées par les trois enclenchements élémentaires ci-dessous.

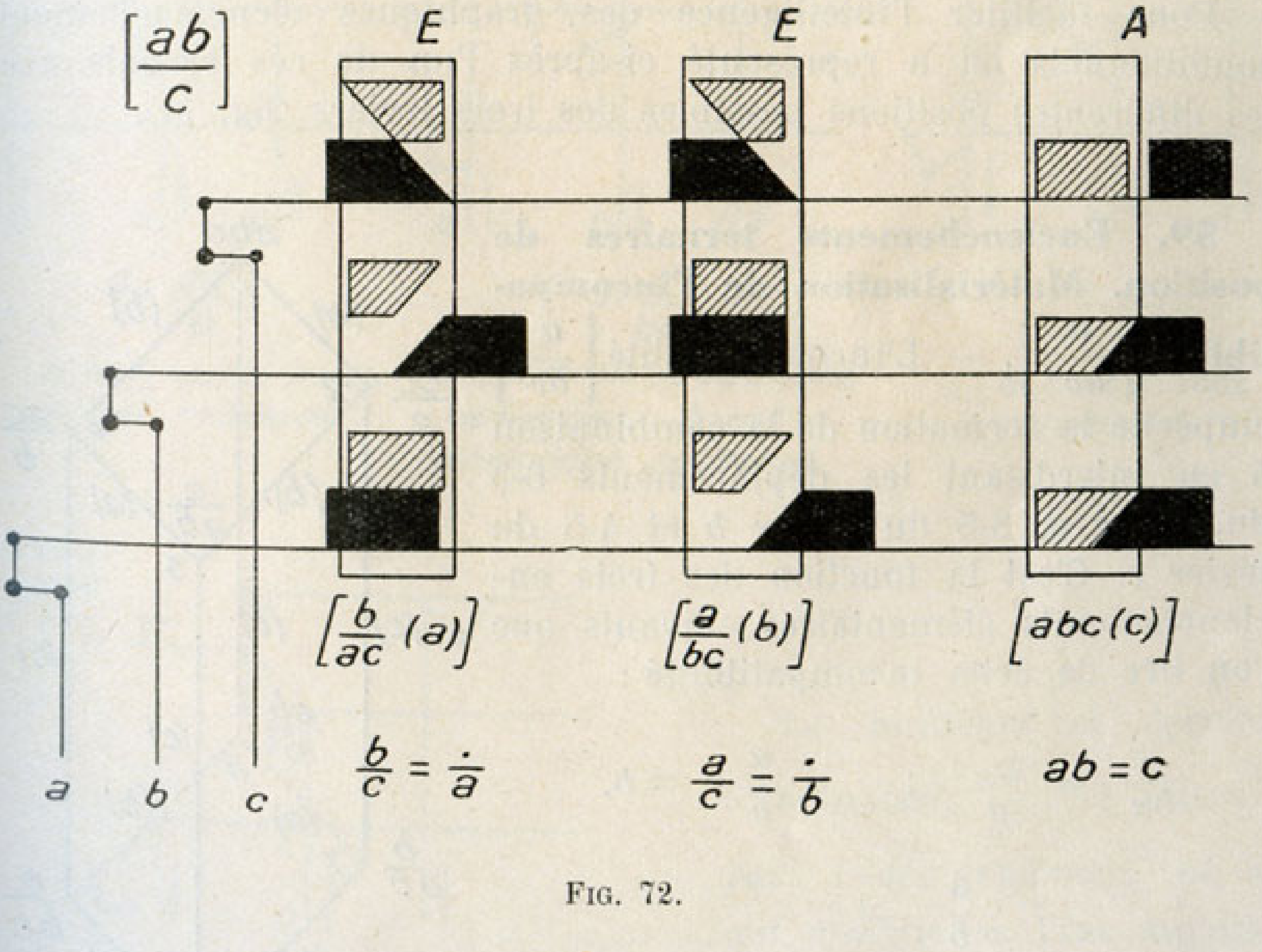


FIG. 72.

L'incompatibilité $\left[\frac{ab}{c}\right]$ peut être représentée des trois manières suivantes au moyen du graphique de l'Ouest.

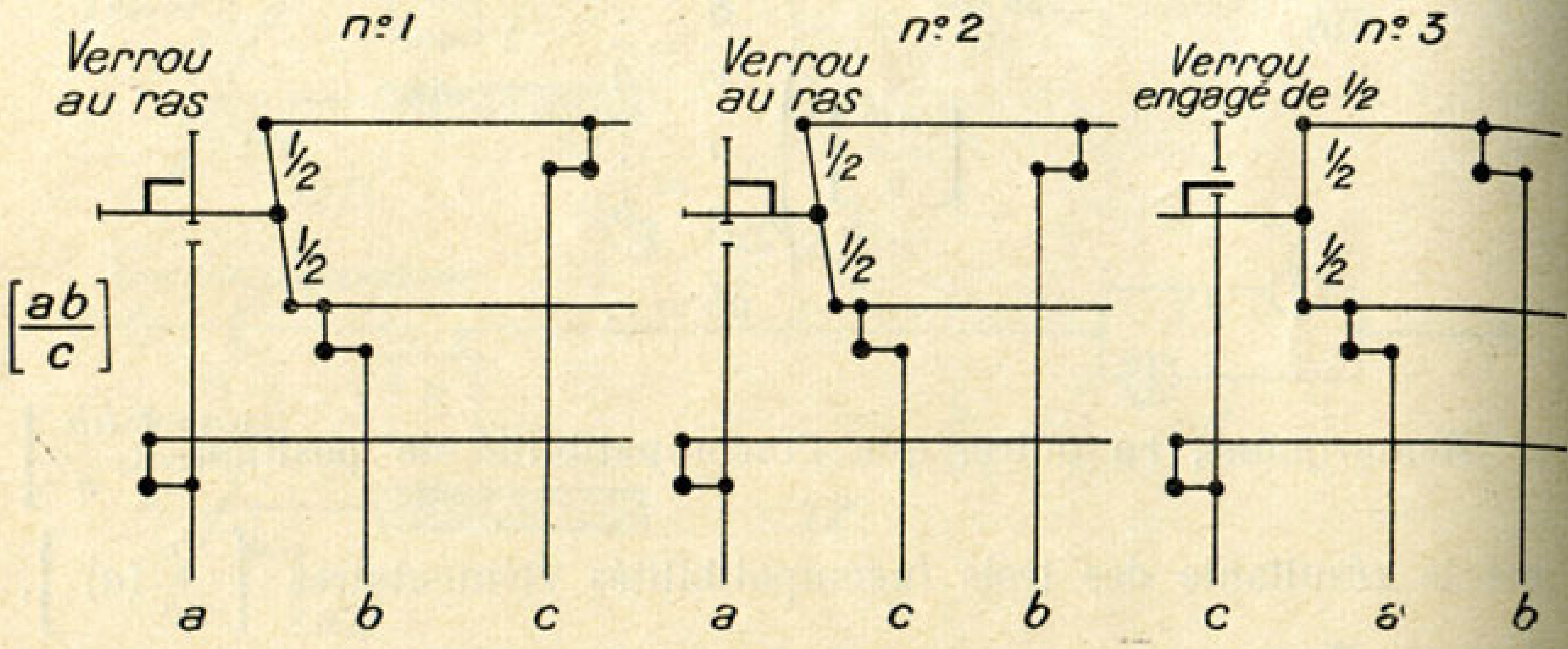


FIG. 73.

Les leviers *a* et *b* peuvent être intervertis dans les trois croquis ci-dessus.

Pour faciliter l'intelligence des graphiques d'enclenchements conditionnels on a représenté ci-après l'un de ces croquis avec les différentes positions possibles des trois leviers (fig. 74).

59. Enclenchements ternaires de position. Matérialisation de l'incompatibilité $\left[\frac{a}{bc}\right]$. — L'incompatibilité $\left[\frac{a}{bc}\right]$ empêche la formation de la combinaison 5 en interdisant les déplacements 6-5 du levier *a*, 8-5 du levier *b* et 4-5 du levier *c*. C'est la fonction des trois enclenchements élémentaires suivants que l'on tire de cette incompatibilité :

$$\frac{\cdot}{bc} = \frac{\cdot}{a} \quad ; \qquad \frac{a}{c} = b.$$

$$\frac{a}{b} = c.$$

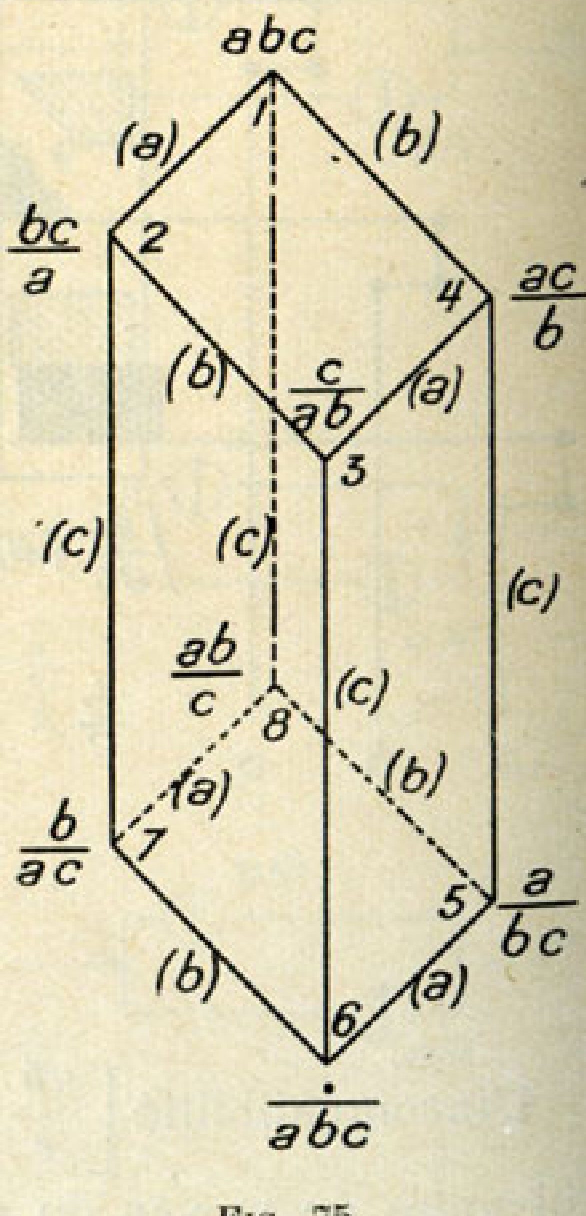
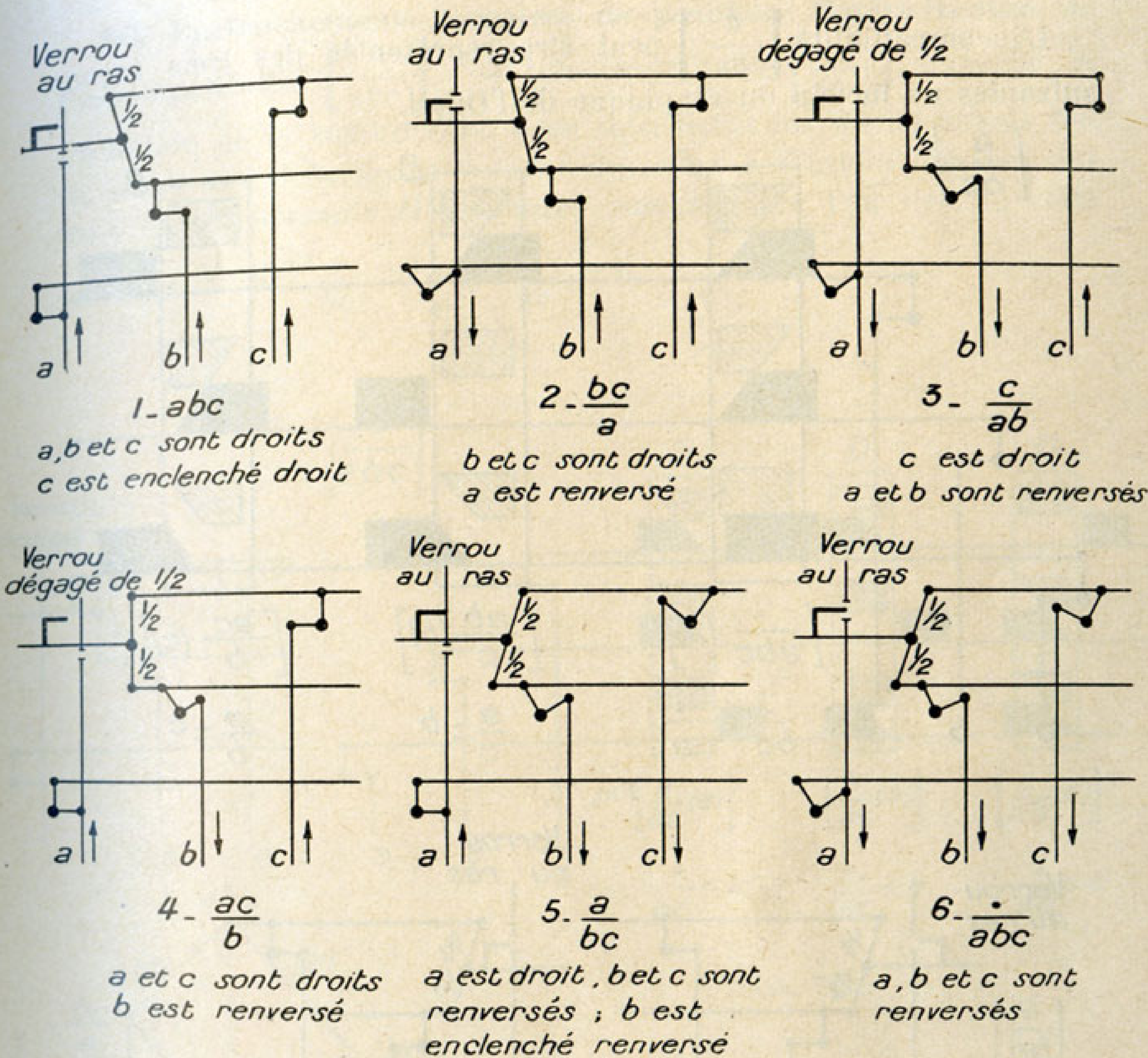


FIG. 75.



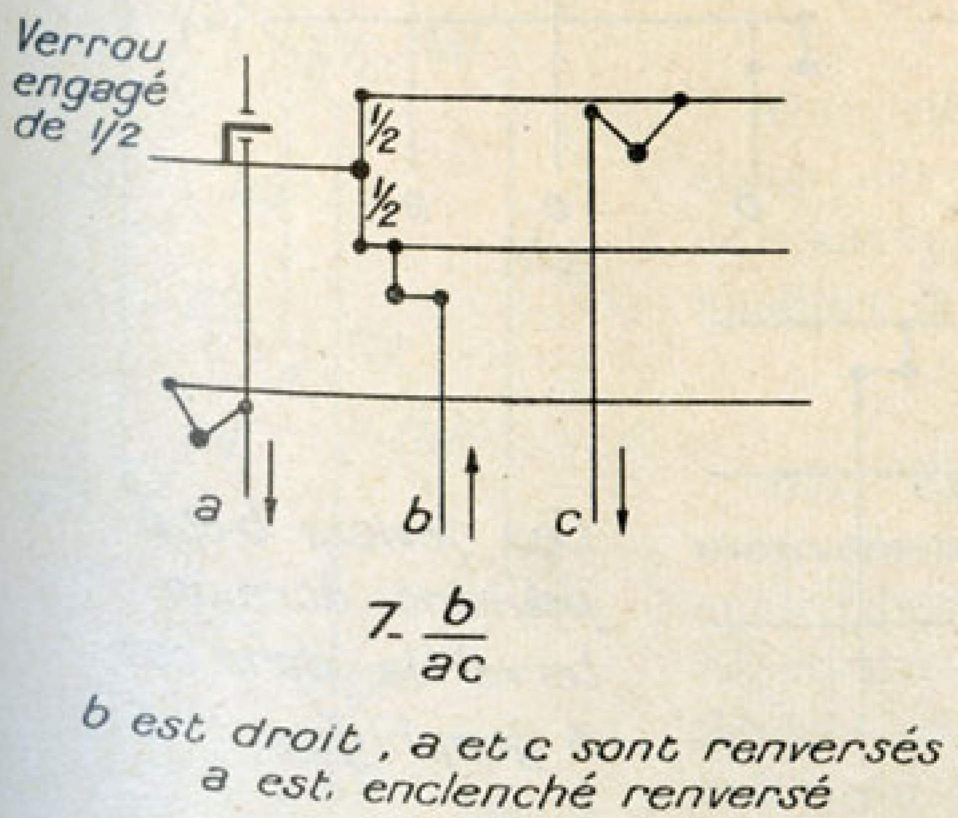


FIG. 74.

La huitième et dernière combinaison $\frac{ab}{c}$ est interdite par l'enclenchement $ab = c$ qui matérialise l'incompatibilitée donnée $\left[\frac{ab}{c}\right]$.

L'incompatibilité $\left[\frac{a}{bc}\right]$ peut être représentée des trois façons suivantes au moyen du graphique de l'Ouest.

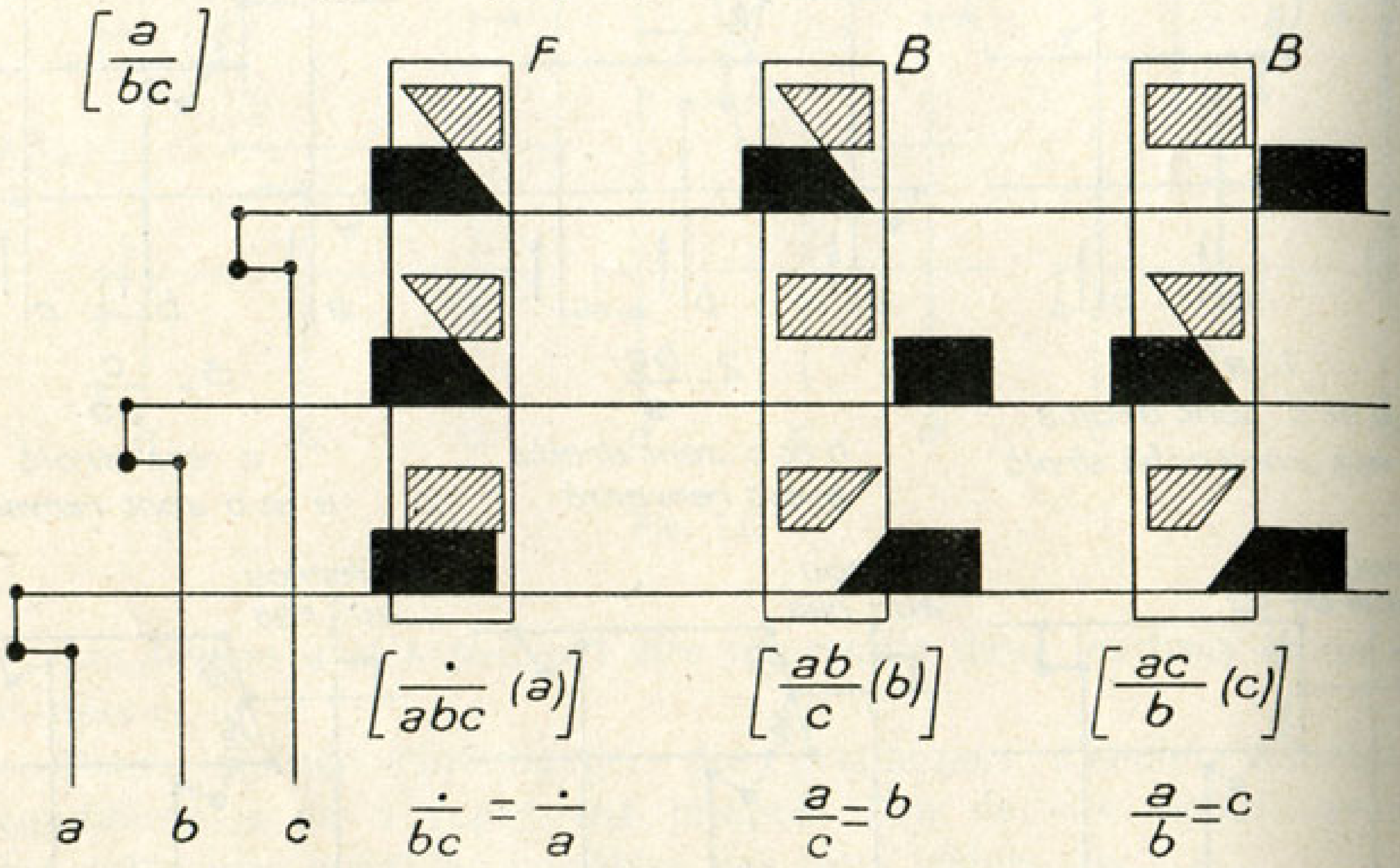


Fig. 76.

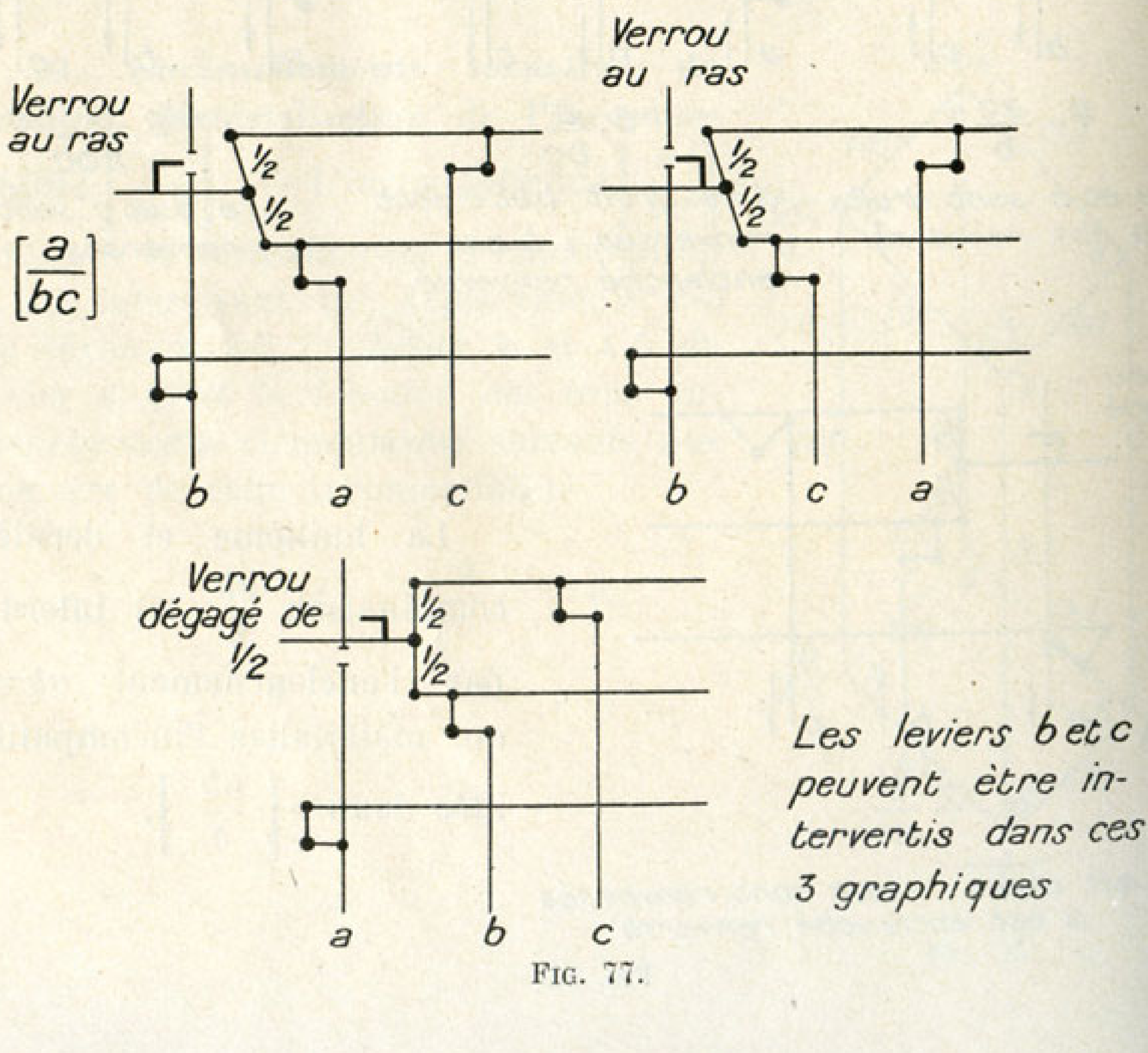


Fig. 77.

60. Enclenchements ternaires de position. Matérialisation de l'incompatibilité $\left[\frac{\cdot}{abc}\right]$. — L'incompatibilité $\left[\frac{\cdot}{abc}\right]$ empêche la formation de la combinaison 6 en interdisant les déplacements 5-6 du levier *a*, 7-6 du levier *b* et 3-6 du levier *c*. C'est la fonction des trois enclenchements élémentaires suivants que l'on tire de cette incompatibilité : $\frac{\cdot}{bc} = a$; $\frac{\cdot}{ac} = b$; $\frac{\cdot}{ab} = c$.

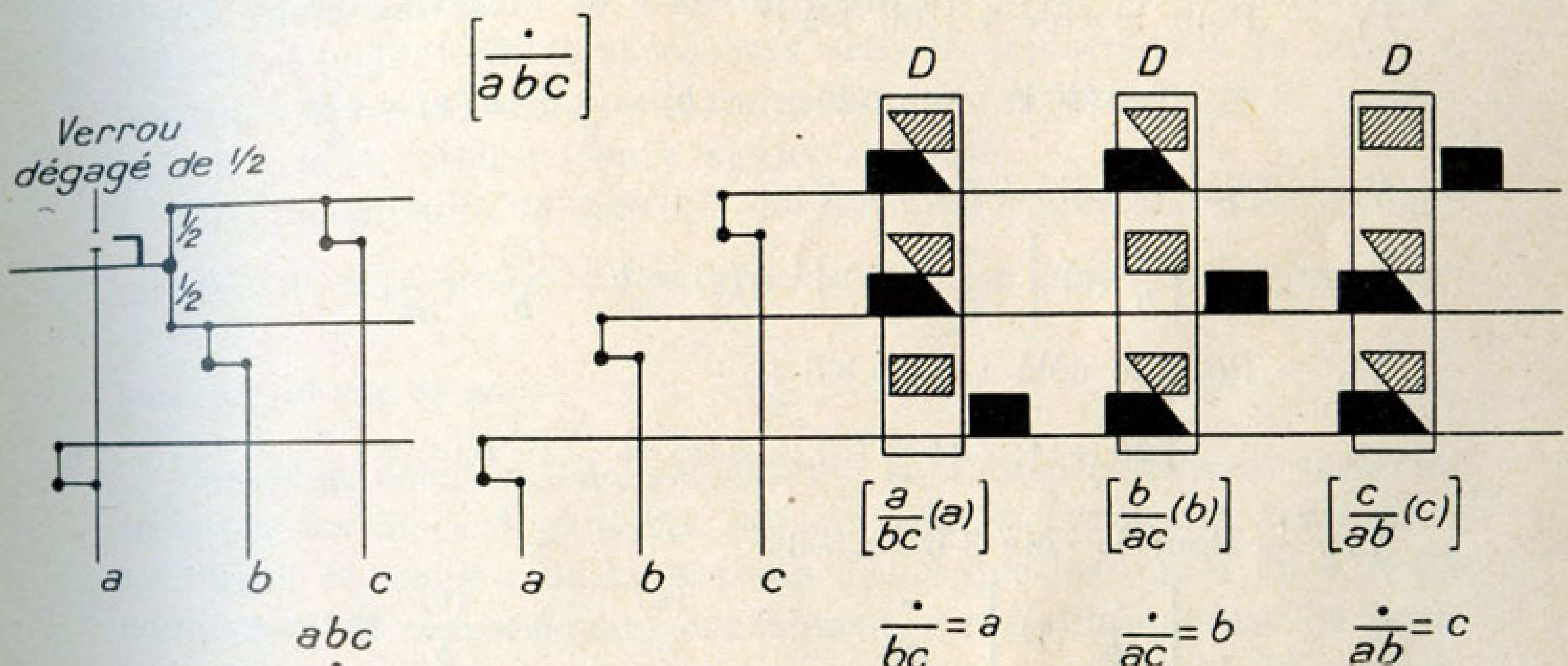


FIG. 78.

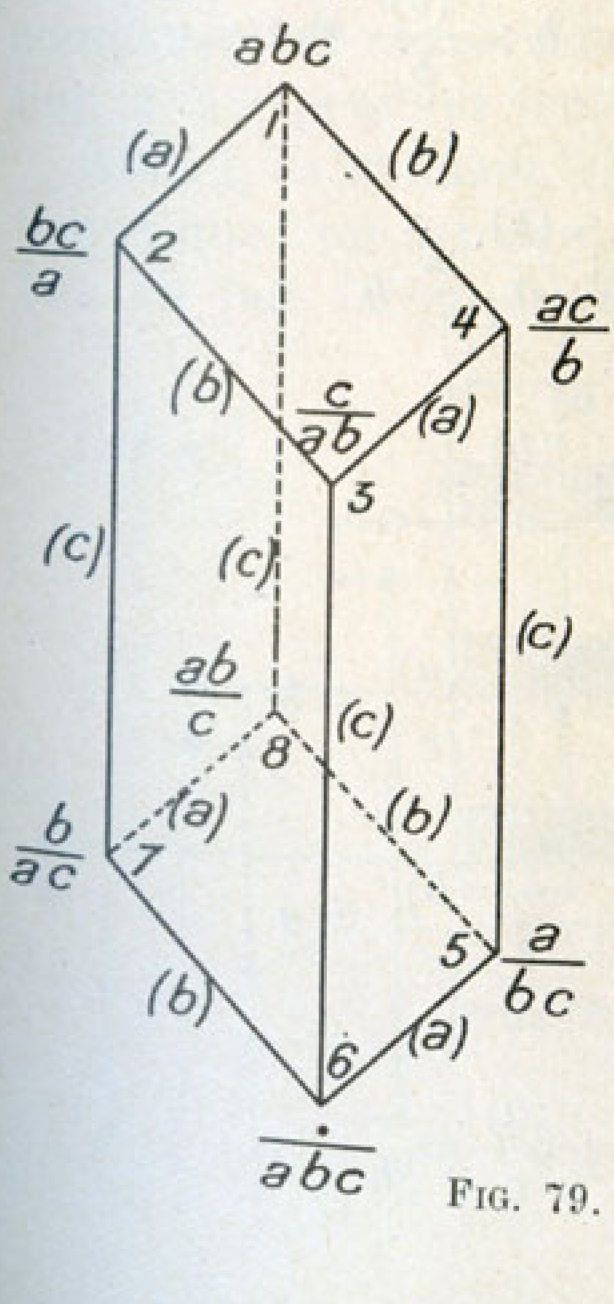


FIG. 79.

On peut intervertir à volonté la position des trois leviers dans le croquis de gauche sans qu'il soit nécessaire de modifier la figuration de l'enclenchement.

61. Enclenchements ternaires de mouvement. — Voici l'énumération des enclenchements ternaires de mouvement nécessaires pour interdire les douze déplacements de leviers figurés par les arêtes du parallélipipède de Perrin.

I. — Pour le côté 1-2 ou 2-1 :

$$[bc\,(a)]\,;\quad bc = (a)\;;\quad b\,(a) = \frac{\cdot}{c}\;;\quad c\,(a) = \frac{\cdot}{b}\;;$$

II. — Pour le côté 2-3 ou 3-2 :

$$\left[\frac{c}{a}\,(b)\right];\;\frac{c}{a} = (b)\;;\quad c\,(b) = a\;;\quad \frac{(b)}{a} = \frac{\cdot}{c}.$$

III. — Pour le côté 3-4 ou 4-3 :

$$\left[\frac{c}{b}\,(a)\right];\;\frac{c}{b} = (a)\;;\quad c\,(a) = b\;;\quad \frac{(a)}{b} = \frac{\cdot}{c};$$

IV. — Pour le côté 4-1 ou 1-4 :

$$[ac\,(b)]\,;\quad ac = (b)\;;\quad a\,(b) = \frac{\cdot}{c}\;;\quad c\,(b) = \frac{\cdot}{a};$$

V. — Pour le côté 4-5 ou 5-4 :

$$\left[\frac{a}{b}\,(c)\right];\;\frac{a}{b} = (c)\;;\quad a\,(c) = b\;;\quad \frac{(c)}{b} = \frac{\cdot}{a};$$

VI. — Pour le côté 1-8 ou 8-1 :

$$[ab\,(c)]\,;\quad ab = (c)\;;\quad a\,(c) = \frac{\cdot}{b}\;;\quad b\,(c) = \frac{\cdot}{a};$$

VII. — Pour le côté 3-6 ou 6-3 :

$$\left[\frac{\cdot}{ab}\,(c)\right];\;\frac{\cdot}{ab} = (c)\;;\quad \frac{(c)}{a} = b\;;\quad \frac{(c)}{b} = a\;;$$

VIII. — Pour le côté 2-7 ou 7-2 :

$$\left[\frac{b}{a}\,(c)\right];\;\frac{b}{a} = (c)\;;\quad b\,(c) = a\;;\quad \frac{(c)}{a} = \frac{\cdot}{b};$$

IX. — Pour le côté 5-8 ou 8-5 :

$$\left[\frac{a}{c}\,(b)\right];\;\frac{a}{c} = (b)\;;\quad a\,(b) = c\;;\quad \frac{(b)}{c} = \frac{\cdot}{a};$$

X. — Pour le côté 5-6 ou 6-5 :

$$\left[\frac{\cdot}{bc}\;a\right];\;\frac{\cdot}{bc} = (a)\;;\quad \frac{(a)}{b} = c\;;\quad \frac{(a)}{c} = b\;;$$

XI. — Pour le côté 6-7 ou 7-6 :

$$\left[\frac{\cdot}{ac}\,(b)\right];\;\frac{\cdot}{ac} = (b)\;;\quad \frac{(b)}{a} = c\;;\quad \frac{(b)}{c} = a\;;$$

XII. — Pour le côté 7-8 ou 8-7 :

$$\left[\frac{b}{c}\,(a)\right];\;\frac{b}{c} = (a)\;;\quad b\,(a) = c\;;\quad \frac{(a)}{c} = \frac{\cdot}{b}.$$

Ces douze incompatibilités peuvent être classées de la façon suivante :

trois formules du type $[ab\,(c)]$;

six formules du type $\left[\frac{a}{b}\,(c)\right]$;

trois formules du type $\left[\frac{\cdot}{ab}\,(c)\right]$.

Nous allons les examiner successivement.

62. Matérialisation de l'incompatibilité $[ab\,(c)]$. — L'incompatibilité $[ab\,(c)]$ interdit dans les deux sens le déplacement du levier c lorsque a et b sont droits; elle empêche donc de passer de la combinaison 1 à la combinaison 8 et inversement.

De l'incompatibilité $[ab\,(c)]$ on tire les équations d'enclenchements $a\,(c) = \frac{\cdot}{b}$; $b\,(c) = \frac{\cdot}{a}$ et $ab = (c)$ qui se dédouble, comme l'on sait, en $ab = c$ et $ab = \frac{\cdot}{c}$.

Ces deux derniers enclenchements sont respectivement matérialisés par les blocs A et C (fig. 80) qui sont construits de manière à ne libérer le levier c de sa position droite que lorsque a ou b a été complètement renversé; par conséquent, c reste immobilisé en position droite pendant toute la manœuvre de renversement de a ou b.

Mais à ce moment, rien n'empêche de redresser a ou b en même temps que l'on déplace c dans un sens ou dans l'autre, pourvu que l'on ait fait accomplir au levier c une petite fraction de sa course

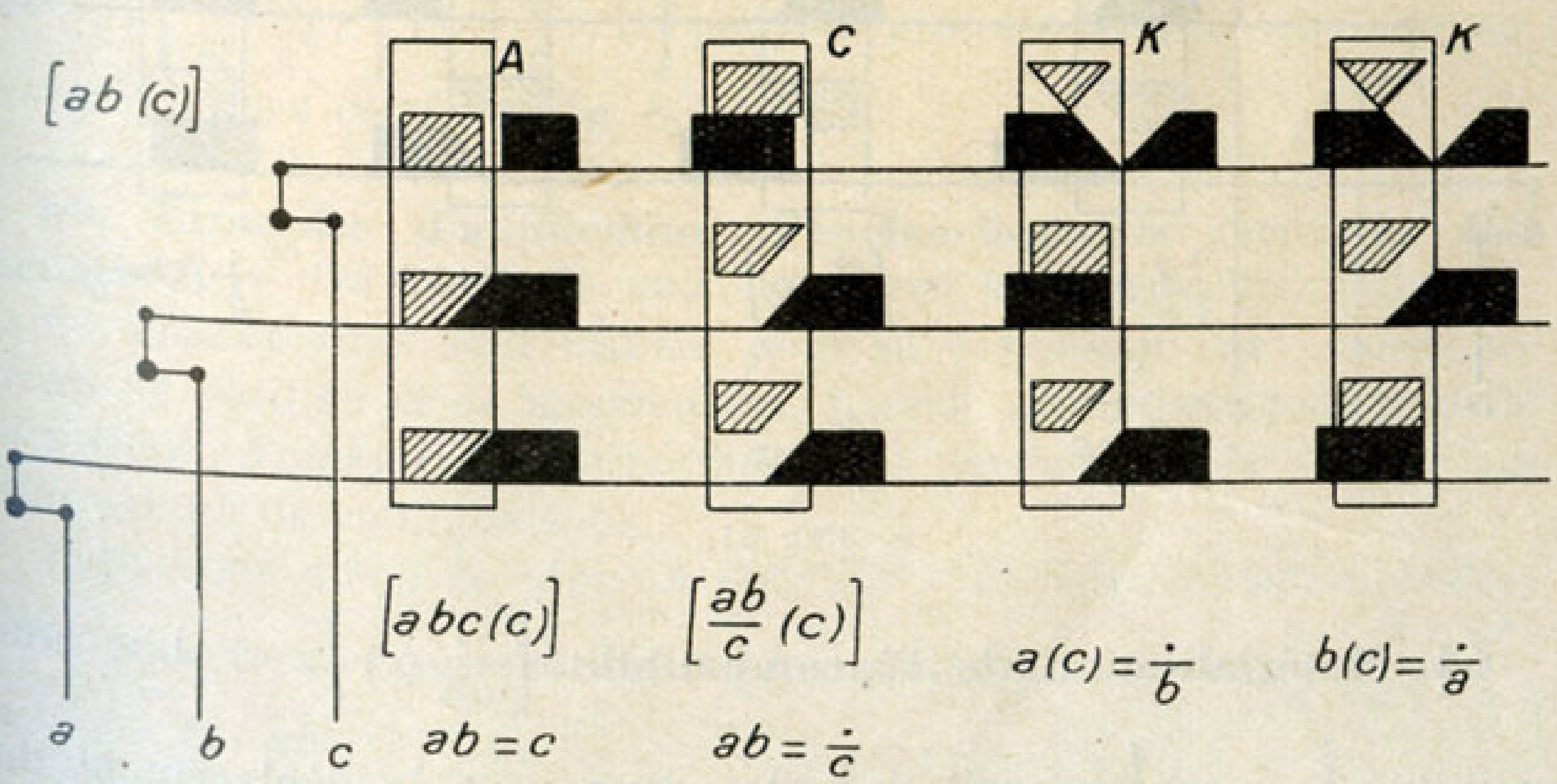


FIG. 80.

avant de commencer à redresser a ou b, de manière à empêcher la chute du bloc A si l'on renverse c ou celle du bloc C si l'on redresse c.

Les deux blocs K de la figure 80 ont pour office d'éviter cet inconvénient. Celui de gauche enclenche b renversé pendant la translation de c et celui de droite enclenche a renversé pendant la translation de c. Il n'est pas inutile d'ajouter que, dans la pratique, les leviers a et b sont toujours reliés par un enclenchement binaire de simultanéité afin qu'ils ne puissent jamais se trouver ensemble en position renversée.

63. Matérialisation de l'incompatibilité $\left[\frac{a}{b}(c)\right]$. — L'incompatibilité $\left[\frac{a}{b}(c)\right]$ interdit dans les deux sens le déplacement du levier c lorsque a est droit et b renversé; elle empêche donc de passer de la combinaison 4 à la combinaison 5 et inversement. De l'incompatibilité $\left[\frac{a}{b}(c)\right]$ on tire les équations d'enclenchements : $a(c) = b$; $\frac{\cdot}{b}(c) = \frac{\cdot}{a}$; et $\frac{a}{b} = (c)$ qui se dédouble en : $\frac{a}{b} = c$ et $\frac{a}{b} = \frac{\cdot}{c}$.

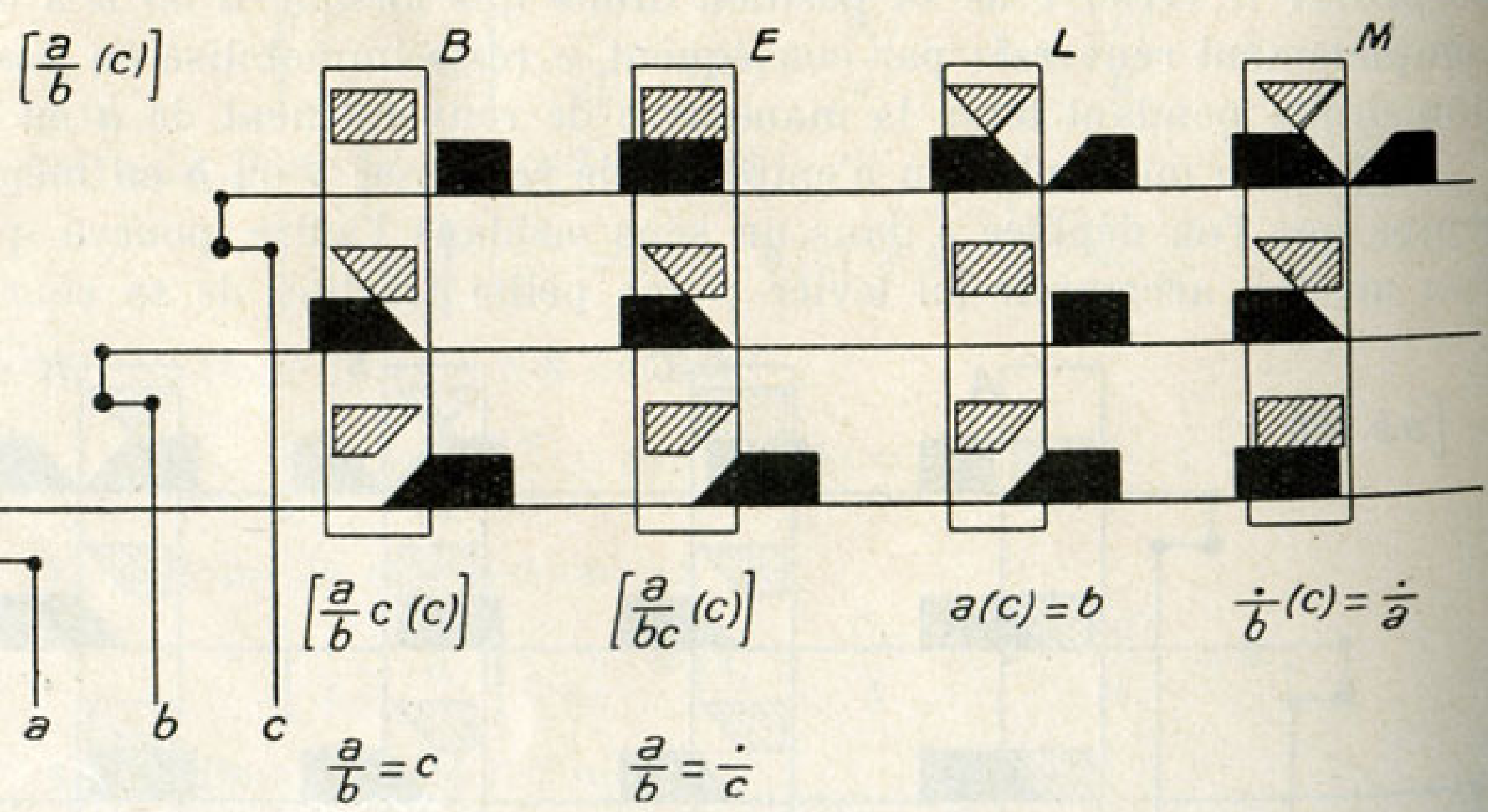


FIG. 81.

64. Matérialisation de l'incompatibilité $\left[\frac{\cdot}{ab}(c)\right]$. — L'incompatibilité $\left[\frac{\cdot}{ab}(c)\right]$ interdit dans les deux sens le déplacement du levier c lorsque a et b sont tous deux renversés; elle empêche donc de passer de la combinaison 3 à la combinaison 6 et inversement. De l'incompatibilité $\left[\frac{\cdot}{ab}\ (c)\right]$ on tire les équations d'enclenchements : $\frac{(c)}{a} = b$; $\frac{(c)}{b} = a$ et $\frac{\cdot}{ab} = (c)$ qui se dédouble en : $\frac{\cdot}{ab} = c$ et $\frac{\cdot}{ab} = \frac{\cdot}{c}$.

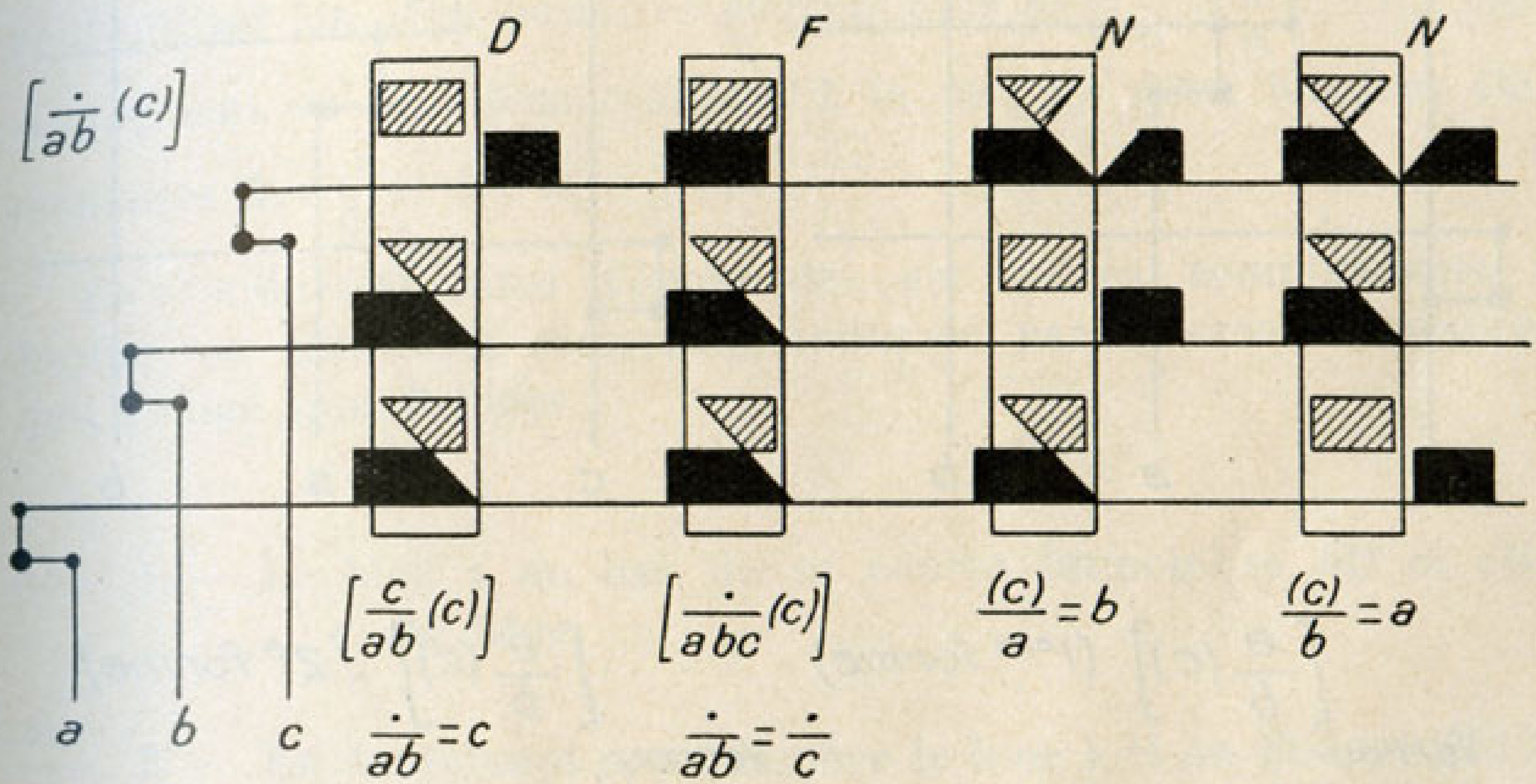


FIG. 82.

65. Matérialisation des incompatibilités de mouvement dans le système Vignier. — Les trois incompatibilités de mouvement $[ab\,(c)]$, $\left[\frac{\cdot}{ab}\ (c)\right]$ et $\left[\frac{a}{b}\ (c)\right]$ peuvent être représentées au moyen des graphiques ci-après (fig. 83).

66. Exemples d'application d'enclenchements ternaires élémentaires. — On vient de voir comment les enclenchements ternaires élémentaires sont utilisés pour la formation des enclenchements de position et de mouvement; il reste à montrer comment ils permettent d'obtenir des subordinations permettant de former un cycle donné de combinaisons.

Supposons qu'on se propose d'établir les enclenchements nécessaires pour former successivement les combinaisons abc, $\frac{bc}{a}$, $\frac{c}{ab}$, $\frac{ac}{b}$, $\frac{a}{bc}$, $\frac{\cdot}{abc}$, $\frac{b}{ac}$, $\frac{ab}{c}$, et abc, ce qui revient à manipuler les leviers a, b et c

de façon à suivre l'ordre que nous avons admis pour le numérotage des combinaisons sur le parallélipipède de Perrin. Partant de

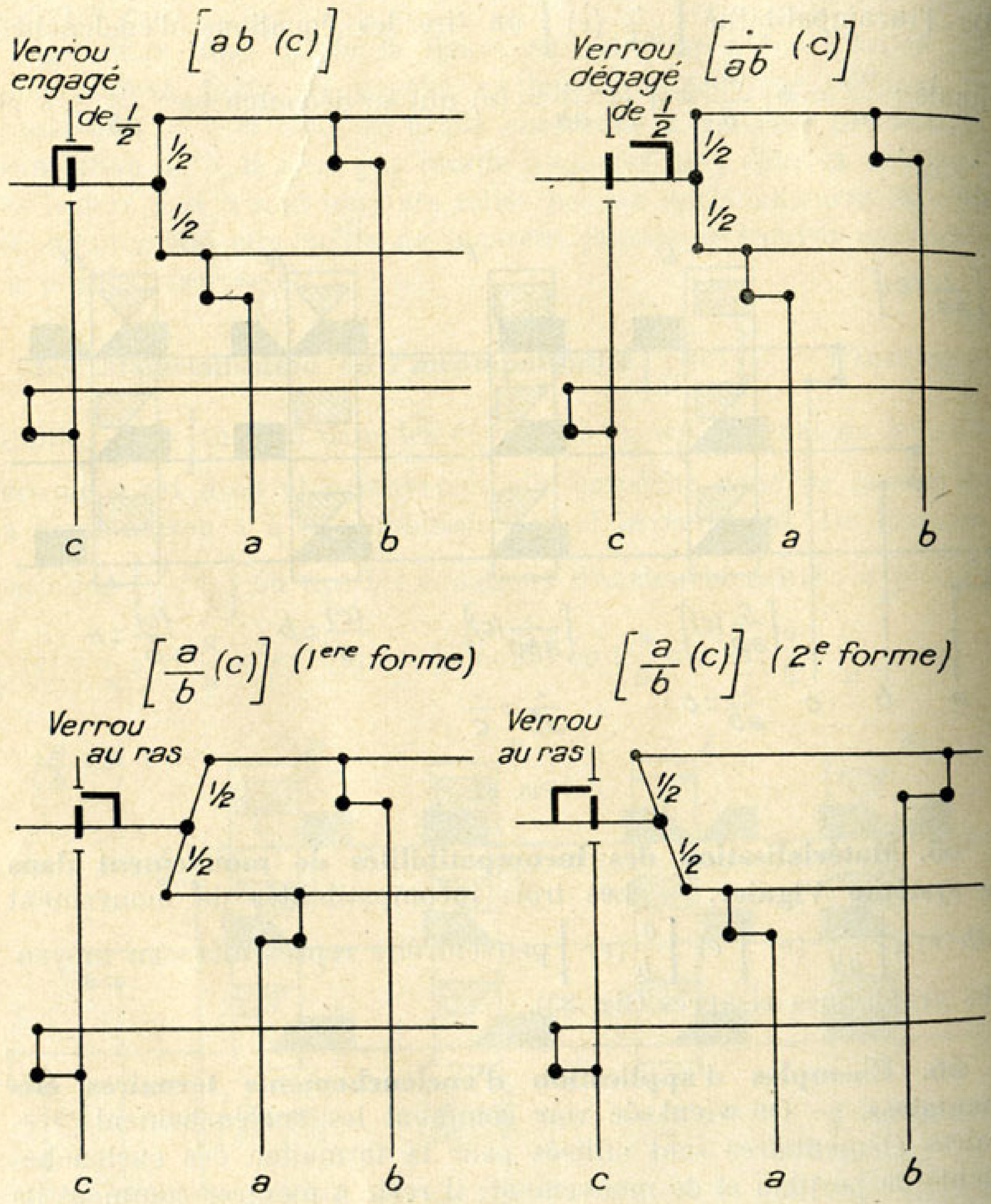


Fig. 83.

la combinaison 1 ou *abc*, il faut interdire le renversement de *b* et *c*, tout en laissant *a* libre, de façon à permettre son renversement et à aboutir ainsi à la combinaison 2 ou $\frac{bc}{a}$ que l'on se propose de former. Pour cela, on peut, soit réaliser au moyen de deux blocs les ternaires élémentaires $ac = b$ et $ab = c$, soit plus simplement établir un seul bloc réalisant à la fois les deux binaires élémentaires $a = b$ et $a = c$.

Après avoir renversé a et obtenu ainsi la combinaison $\frac{bc}{a}$, il faut interdire le redressement de a ainsi que le renversement de c, de façon à pouvoir former la combinaison 3 ou $\frac{c}{ab}$; à cet effet, on peut utiliser les deux ternaires élémentaires $bc = \frac{\cdot}{a}$ et $\frac{b}{a} = c$ ou plus simplement un seul bloc réalisant à la fois les deux binaires élémentaires $b = \frac{\cdot}{a}$ et $b = c$.

En continuant ainsi l'étude des six autres combinaisons à former, on obtient la réalisation indiquée par le croquis ci-après qui n'exige que 8 blocs.

abc 1. — Le bloc 1 au bas de sa course immobilise bD et cD; a est libre.

$\frac{bc}{a}$ 2. — En renversant a, on soulève le bloc 1 et on libère ainsi b et c; mais en même temps on fait tomber 2 qui immobilise aR et cD; en définitive, b est seul libéré.

$\frac{c}{ab}$ 3. — En renversant b, on soulève 2 et on libère ainsi a et c; mais en même temps on fait tomber 3 qui immobilise bR et cD; en définitive, a est seul libéré.

$\frac{ac}{b}$ 4. — En redressant a, on soulève 3 et on libère ainsi b et c; mais en même temps on fait tomber 4 qui immobilise aD et bR; en définitive, c est seul libéré.

$\frac{a}{bc}$ 5. — En renversant c, on soulève 4 et on libère ainsi a et b; mais en même temps on fait tomber 5 qui immobilise bR et cR; en définitive, a est seul libéré.

$\frac{\cdot}{abc}$ 6. — En renversant a, on soulève 5 et on libère ainsi b et c; mais en même temps on fait tomber 2 qui immobilise aR et cR; en définitive, b est seul libéré.

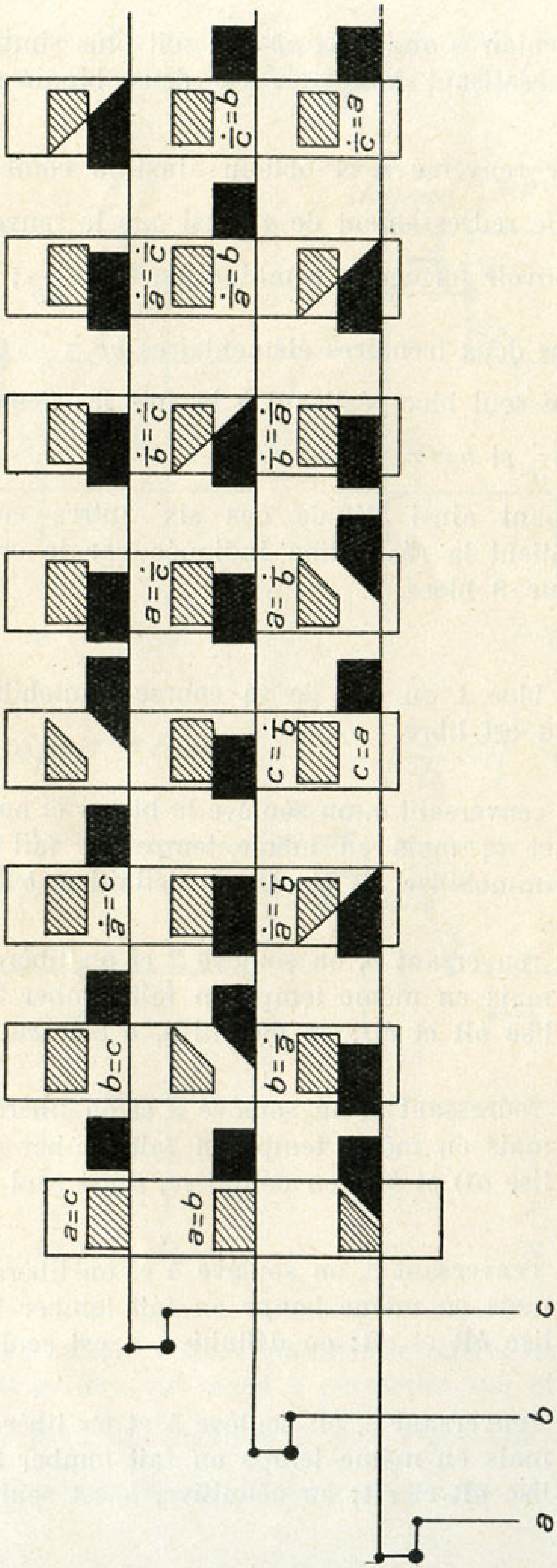


FIG. 84.

$\frac{b}{ac}$ 7. — En redressant *b*, on soulève 6 et on libère ainsi *a* et *c*; mais en même temps on fait tomber 7 qui immobilise *d*D et *c*R; en définitive, *a* est seul libéré.

$\frac{ab}{c}$ 8. — En redressant *a*, on soulève 7 et on libère ainsi *b* et *c*; mais en même temps on fait tomber 8 qui immobilise *a*D et *b*D; en définitive, *c* est seul libéré.

abc 1. — En redressant *c*, on soulève 8 et on libère ainsi *a* et *b*; mais en même temps on fait tomber 1 qui immobilise *b*D et *c*D; en définitive, *a* est seul libéré.

On se trouve ainsi ramené au point de départ.

67. Enclenchements quaternaires. — Les seize combinaisons possibles d'un groupement de quatre leviers indépendants peuvent être classées de la façon suivante :

1° Les quatre leviers sont droits : *abcd*;

2° Un seul levier est renversé : $\frac{abc}{d}, \frac{abd}{c}, \frac{acd}{b}, \frac{bcd}{a}$.

3° Deux leviers sont renversés : $\frac{ab}{cd}, \frac{ac}{bd}, \frac{ad}{bc}, \frac{bc}{ad}, \frac{bd}{ac}, \frac{cd}{ab}$.

4° Trois leviers sont renversés : $\frac{a}{bcd}, \frac{b}{acd}, \frac{c}{abd}, \frac{d}{abc}$.

5° Les quatre leviers sont renversés : $\frac{\cdot}{abcd}$.

Ces seize combinaisons ainsi que les trente-deux déplacements de leviers reliant chaque combinaison aux quatre combinaisons adjacentes sont représentés sur le diagramme de Perrin figuré ci-contre (fig. 85).

Les seize combinaisons sont numérotées dans un ordre tel qu'on peut les former toutes successivement sans avoir à repasser deux fois par la même.

Par construction la combinaison *abcd* reste toujours possible : elle ne peut donc pas, comme chacune des quinze autres, correspondre à une incompatibilité.

Les incompatibilités relatives aux combinaisons des 2ᵉ, 3ᵉ et

4ᵉ catégories sont respectivement équivalentes, de sorte qu'en définitive il n'existe que quatre sortes d'enclenchements quaternaires

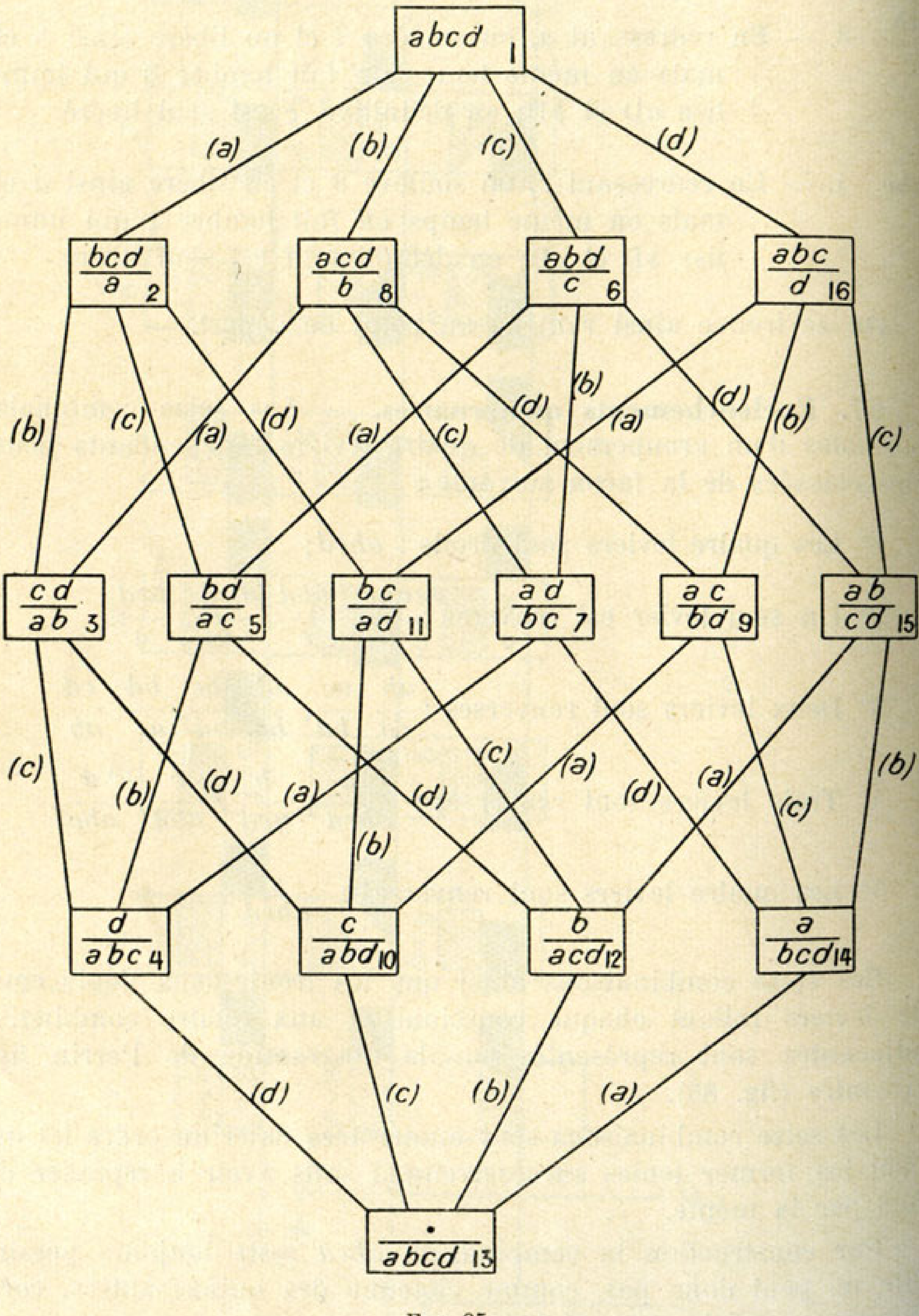


FIG. 85.

de position qui sont définies par les incompatibilités suivantes :

$$\left[\frac{abc}{d}\right];\ \left[\frac{ab}{cd}\right];\ \left[\frac{a}{bcd}\right];\ \left[\frac{\cdot}{abcd}\right].$$

Il peut être nécessaire d'interdire non plus une combinaison de positions de leviers, mais le déplacement d'un levier dans les deux sens; on obtient ce résultat à l'aide d'enclenchements quaternaires de mouvement correspondant aux incompatibilités :

$$[abc\,(d)];\ \left[\frac{ab}{c}\,(d)\right];\ \left[\frac{a}{bc}\,(d)\right] \text{ et } \left[\frac{\cdot}{abc}\,(d)\right].$$

On sait qu'il est nécessaire de compléter les enclenchements de mouvement par des *enclenchements pendant la course,* afin de rendre impossibles les déplacements simultanés de leviers. Les enclenchements quaternaires *pendant la course* sont au nombre de six; leurs formules-types sont les suivantes :

$$ab\,(d) = \frac{\cdot}{c}\,;\quad ab\,(d) = c\,;\quad \frac{a}{b}(d) = \frac{\cdot}{c};$$

$$\frac{a}{b}\,(d) = c\,;\quad \frac{\cdot}{ab}\,(d) = \frac{\cdot}{c};\quad \frac{\cdot}{ab}\,(d) = c.$$

La figure 89 représente, respectivement réalisés par les blocs III et IV, des enclenchements analogues à ceux qui sont définis par la 2e et la 3e des formules ci-dessus.

Les enclenchements de position et de mouvement sont formés par l'association des enclenchements quaternaires élémentaires que l'on peut tirer de leur formule d'incompatibilité.

Les quaternaires élémentaires sont au nombre de soixante-quatre puisqu'il existe trente-deux déplacements de leviers qu'il faut pouvoir interdire dans les deux sens. Il est inutile d'en donner la nomenclature; rappelons seulement que la formule d'incompatibilité correspondant à chacun d'entre eux se compose :

1° de la combinaison située à l'origine du déplacement de levier interdit;

2° du symbole entre parenthèses du levier qui doit rester immobilisé.

Voici deux exemples :

Soit d'abord l'incompatibilité de position $\left[\frac{bc}{ad}\right]$.

La figure 86, qui n'est qu'un extrait du diagramme de

Perrin, montre que, pour exclure la combinaison $\frac{bc}{ad}$, il faut interdire les quatre déplacements de leviers qui y aboutissent, c'est-à-dire les déplacements 2-11 du levier d, 10-11 du levier b, 16-11 du levier a, et 12-11 du levier c.

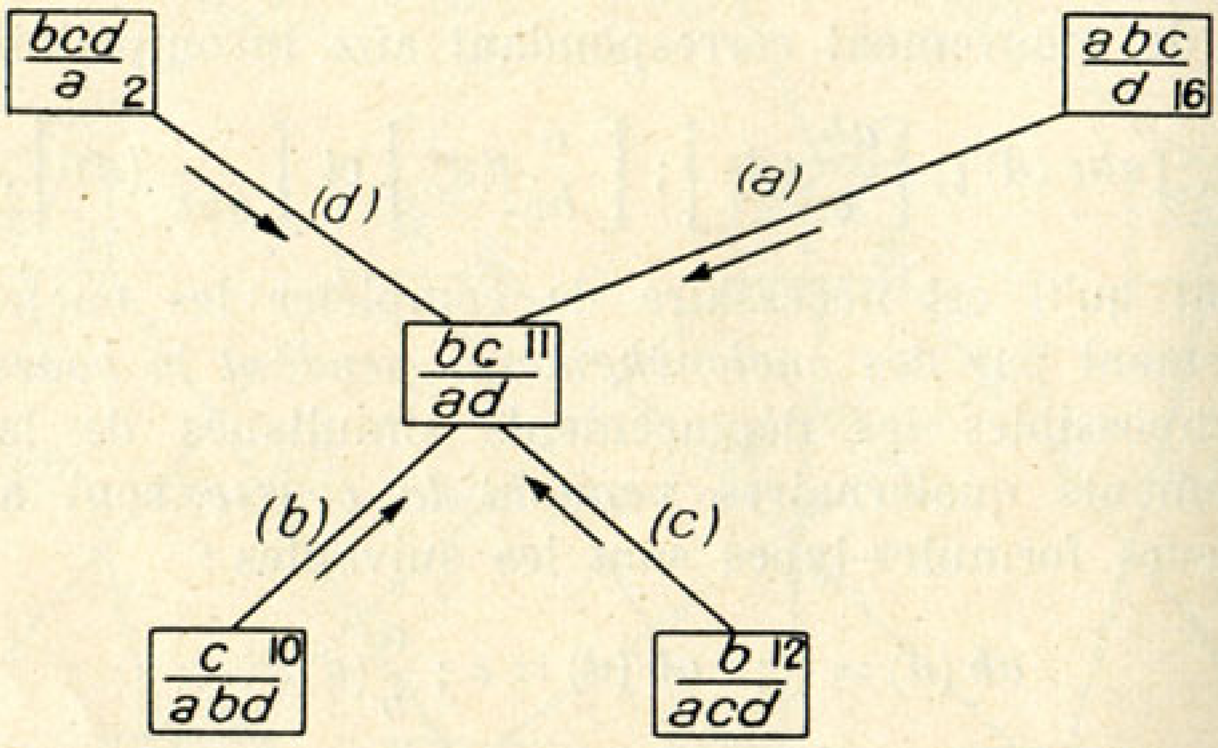


Fig. 86.

Or, de l'incompatibilité $\left[\frac{bc}{ad}\right]$ on tire :

$$\frac{bc}{a} = d \text{ qui matérialise : } \frac{bcd}{a} \quad (d) ;$$

$$\frac{c}{ad} = \frac{\cdot}{b} \text{ qui matérialise : } \frac{c}{abd} \quad (b) ;$$

$$\frac{bc}{d} = a \text{ qui matérialise : } \frac{abc}{d} \quad (a) ;$$

$$\frac{b}{ad} = \frac{\cdot}{c} \text{ qui matérialise : } \frac{b}{acd} \quad (c).$$

La réalisation à l'aide de quaternaires élémentaires est la suivante :

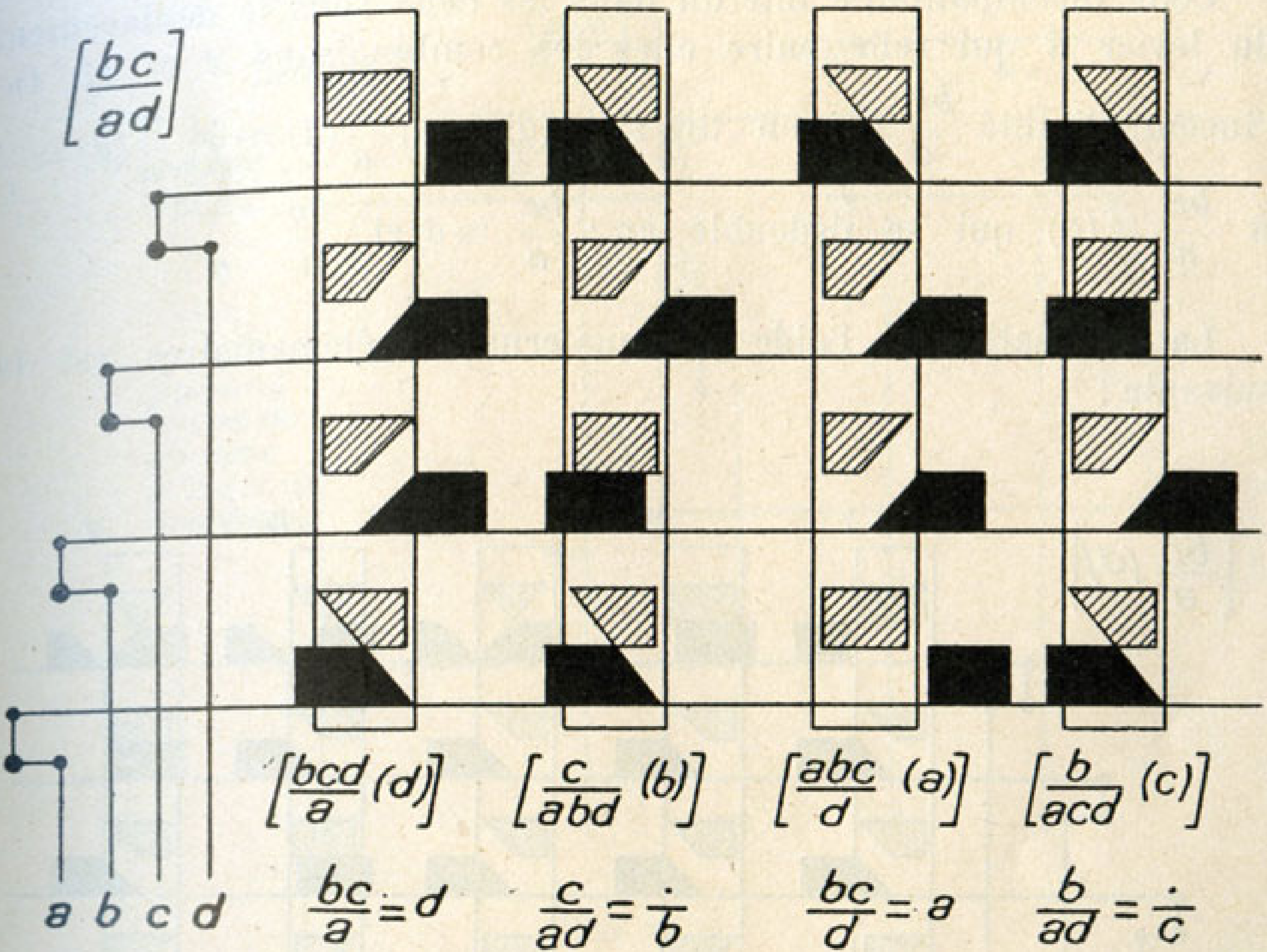


FIG. 87.

Soit encore l'incompatibilité de mouvement $\frac{bc}{a}$ (d).

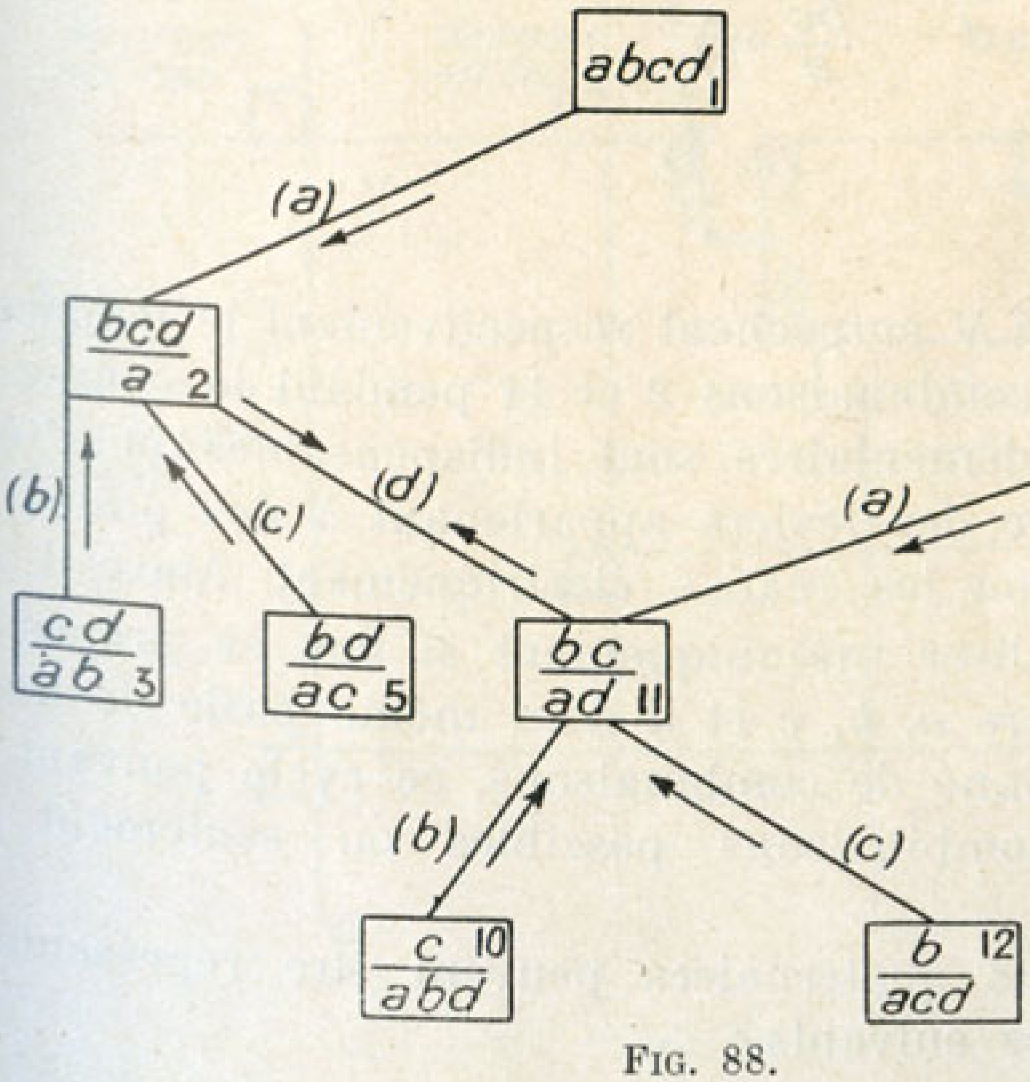


FIG. 88.

Cette incompatibilité interdit dans les deux sens le déplacement du levier d qui relie entre elles les combinaisons 2 et 11. De l'incompatibilité $\frac{bc}{a}(d)$ on tire : $bc(d) = a$; $\frac{c}{a}(d) = \frac{\cdot}{b}$; $\frac{b}{a}(d) = \frac{\cdot}{c}$ et $\frac{bc}{a} = (d)$ qui se dédouble en : $\frac{bc}{a} = d$ et $\frac{bc}{a} = \frac{\cdot}{d}$.

La réalisation à l'aide de quaternaires élémentaires est la suivante :

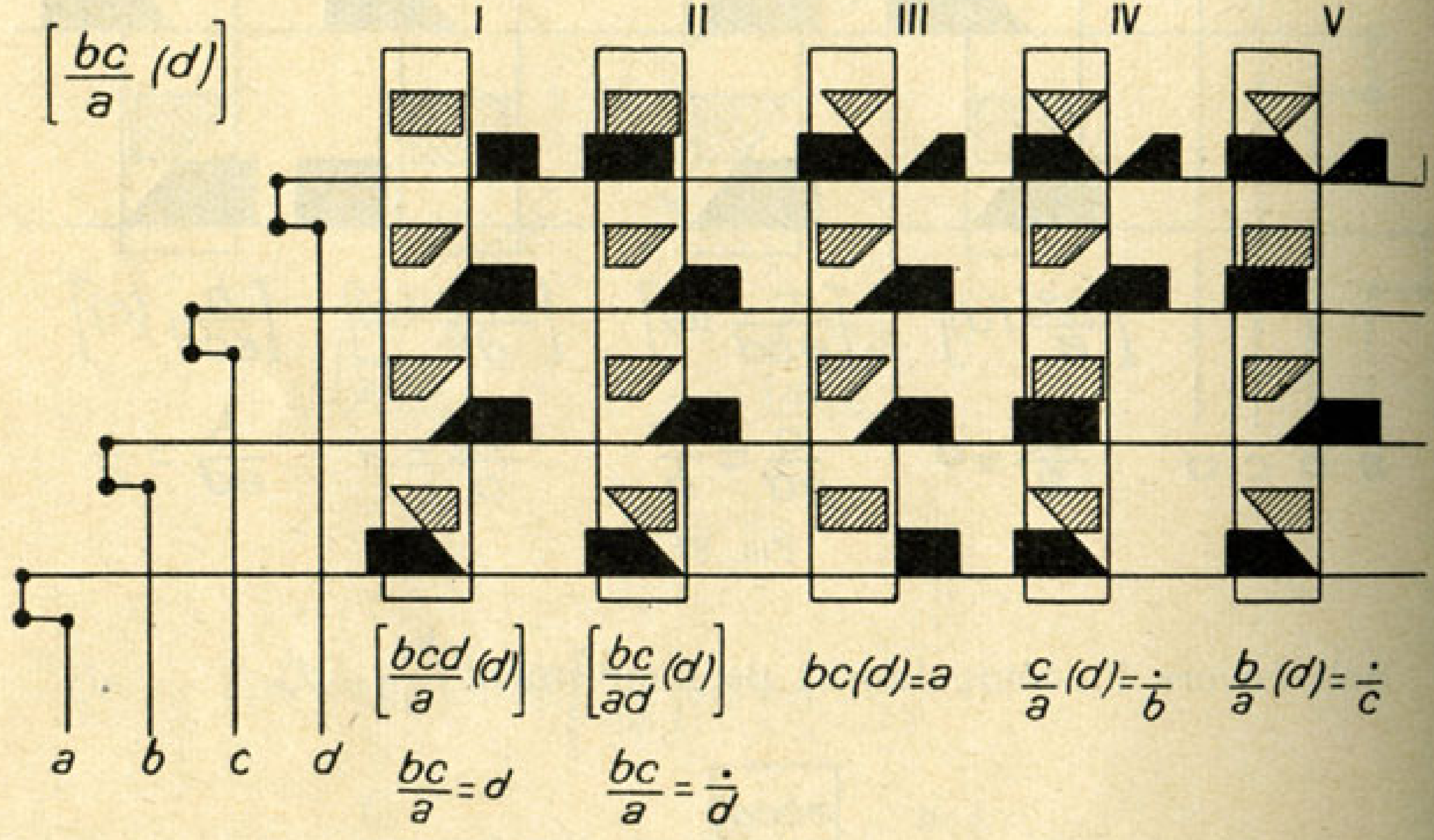


FIG. 89.

Les blocs III, IV et V empêchent respectivement le déplacement de a, b et c vers les combinaisons 2 et 11 pendant la course de d.

Les quaternaires élémentaires sont indispensables pour établir des dépendances entre des leviers appartenant à des postes différents; dans ce cas, on les réalise électriquement. Mais il serait préférable de les réaliser mécaniquement si l'on se proposait de relier les quatre leviers a, b, c et d d'un même poste de manière à former un cycle donné de combinaisons, ce cycle pouvant comprendre les seize combinaisons possibles ou seulement l'une d'entre elles.

Les enclenchements quaternaires peuvent être représentés au moyen des graphiques suivants :

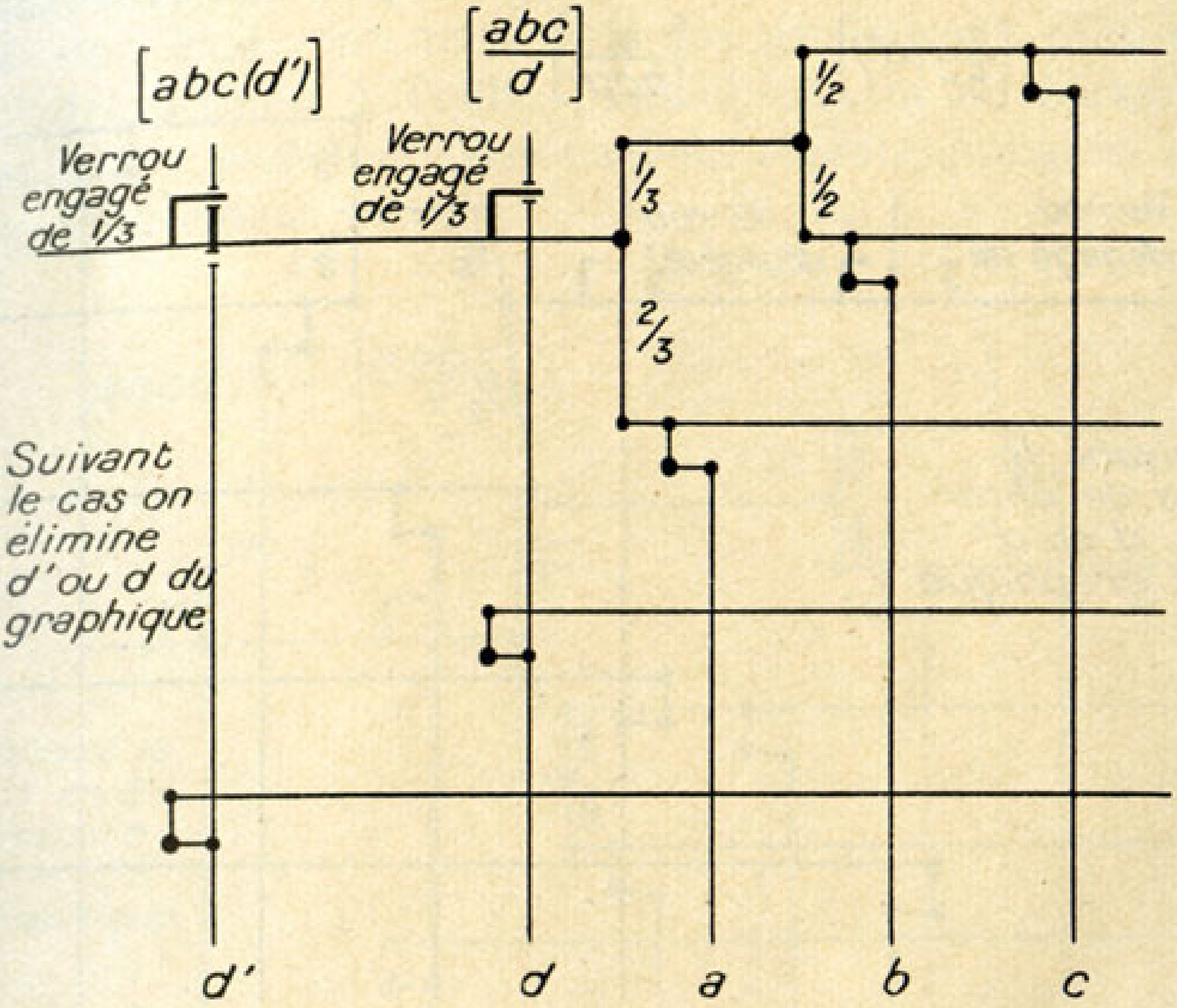

[abc(d')]
[abc/d]
Verrou engagé de 1/3
Verrou engagé de 1/3
1/2
1/2
1/3
2/3
Suivant le cas on élimine d' ou d du graphique
d'
d
a
b
c

FIG. 90.

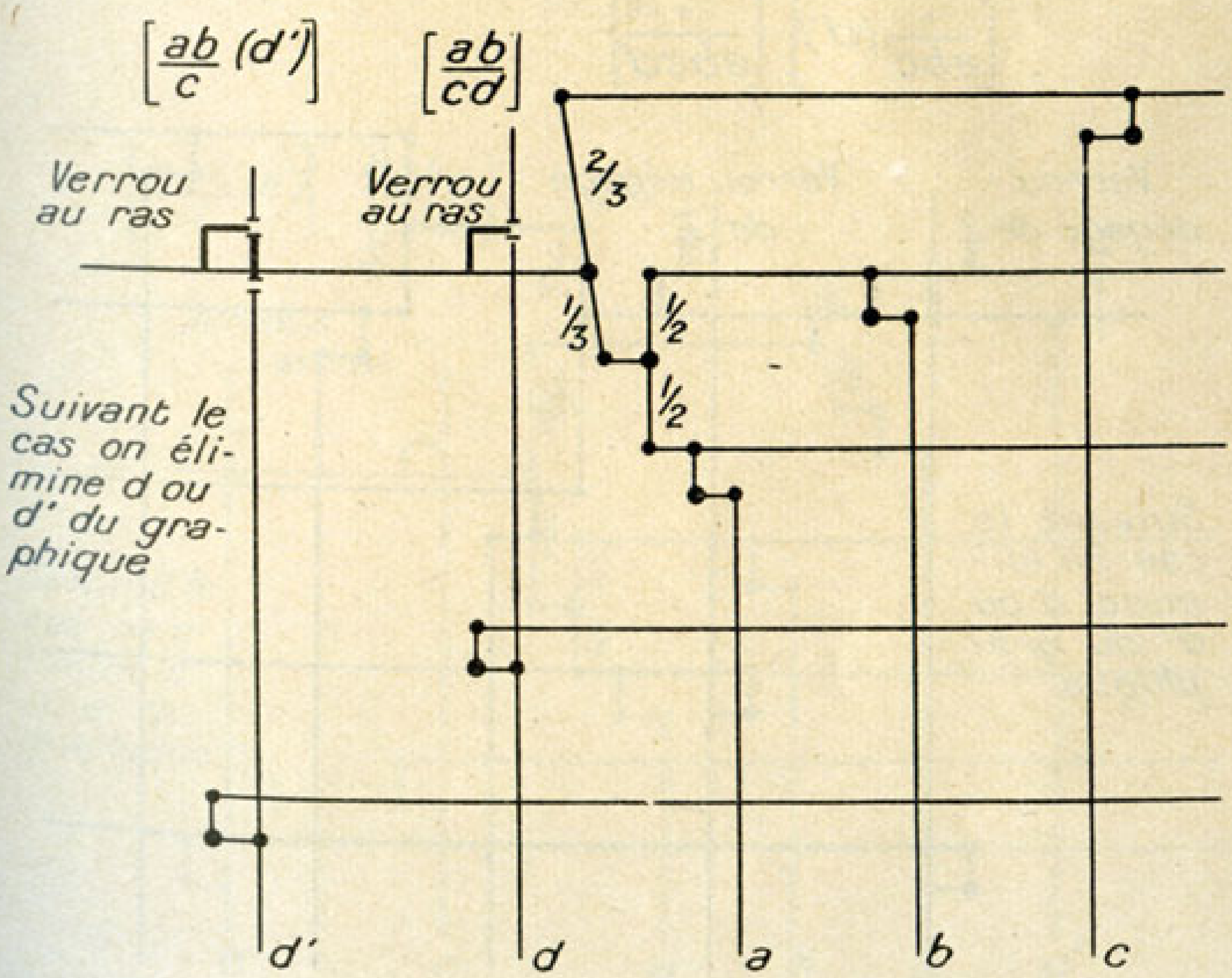

[ab/c (d')]
[ab/cd]
Verrou au ras
Verrou au ras
2/3
1/3
1/2
1/2
Suivant le cas on élimine d ou d' du graphique
d'
d
a
b
c

FIG. 91.

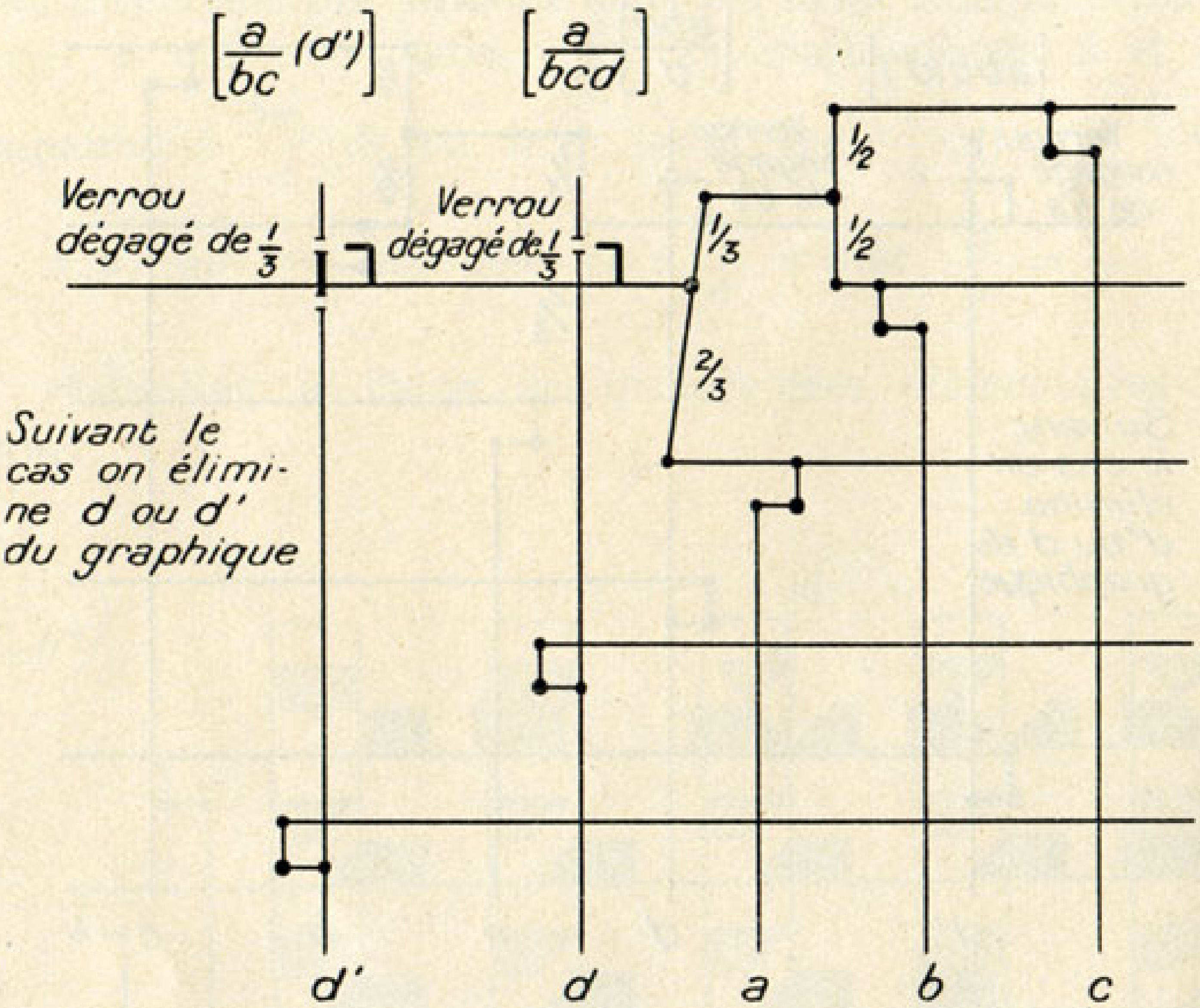

[a/bc (d')]
[a/bcd]
Verrou dégagé de 1/3
Verrou dégagé de 1/3
1/2
1/2
1/3
2/3
Suivant le cas on élimine d ou d' du graphique
d'
d
a
b
c

Fig. 92.

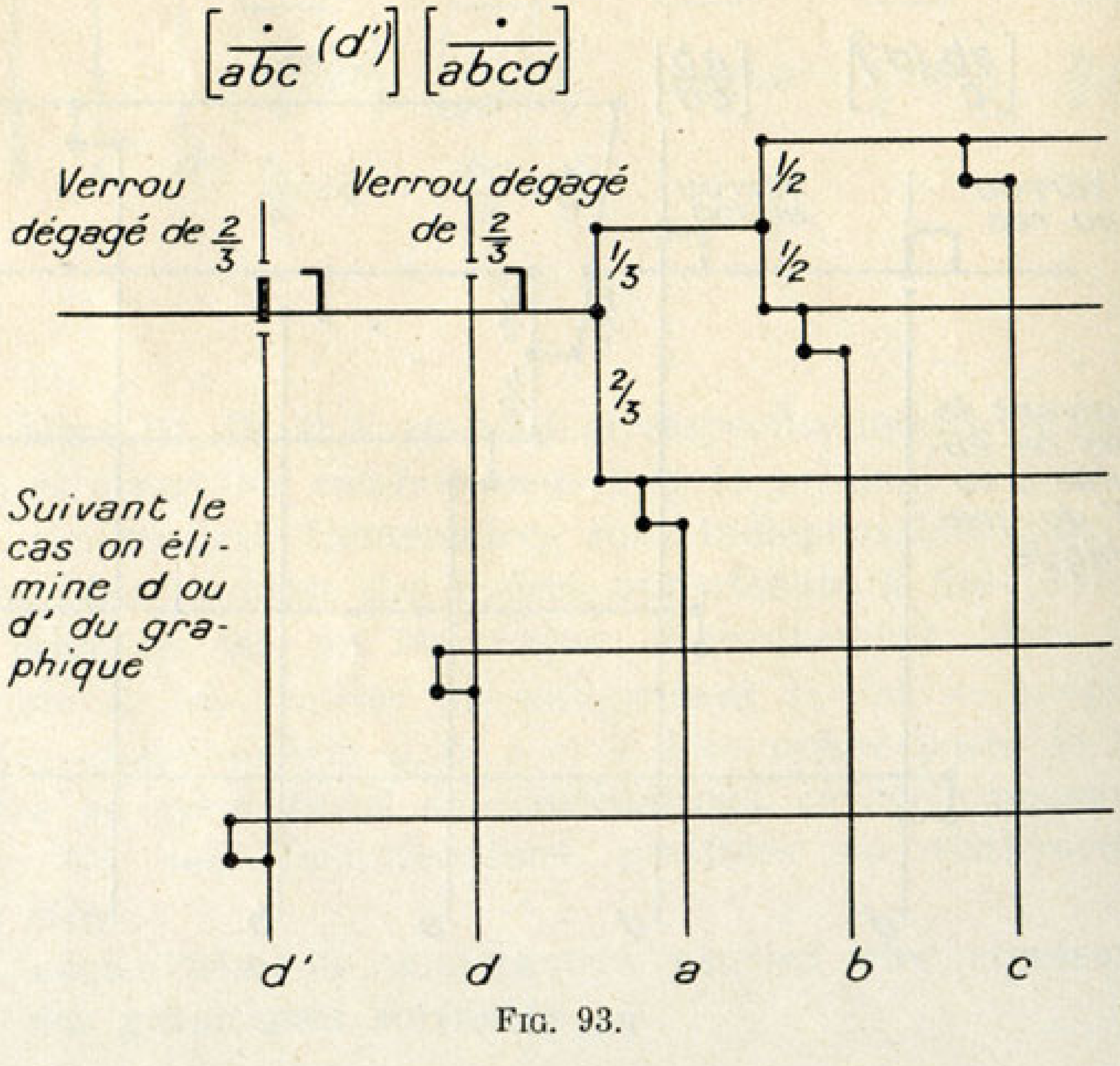

[abc (d')]
[abcd]
Verrou dégagé de 2/3
Verrou dégagé de 2/3
1/2
1/2
1/3
2/3
Suivant le cas on élimine d ou d' du graphique
d'
d
a
b
c

Fig. 93.

68. Enclenchements quinaires. — L'étude des enclenchements quinaires ainsi que ceux relatifs à des groupes de plus de cinq leviers n'offre aucune difficulté particulière. On se bornera donc à représenter les graphiques des enclenchements quinaires de position et de mouvement.

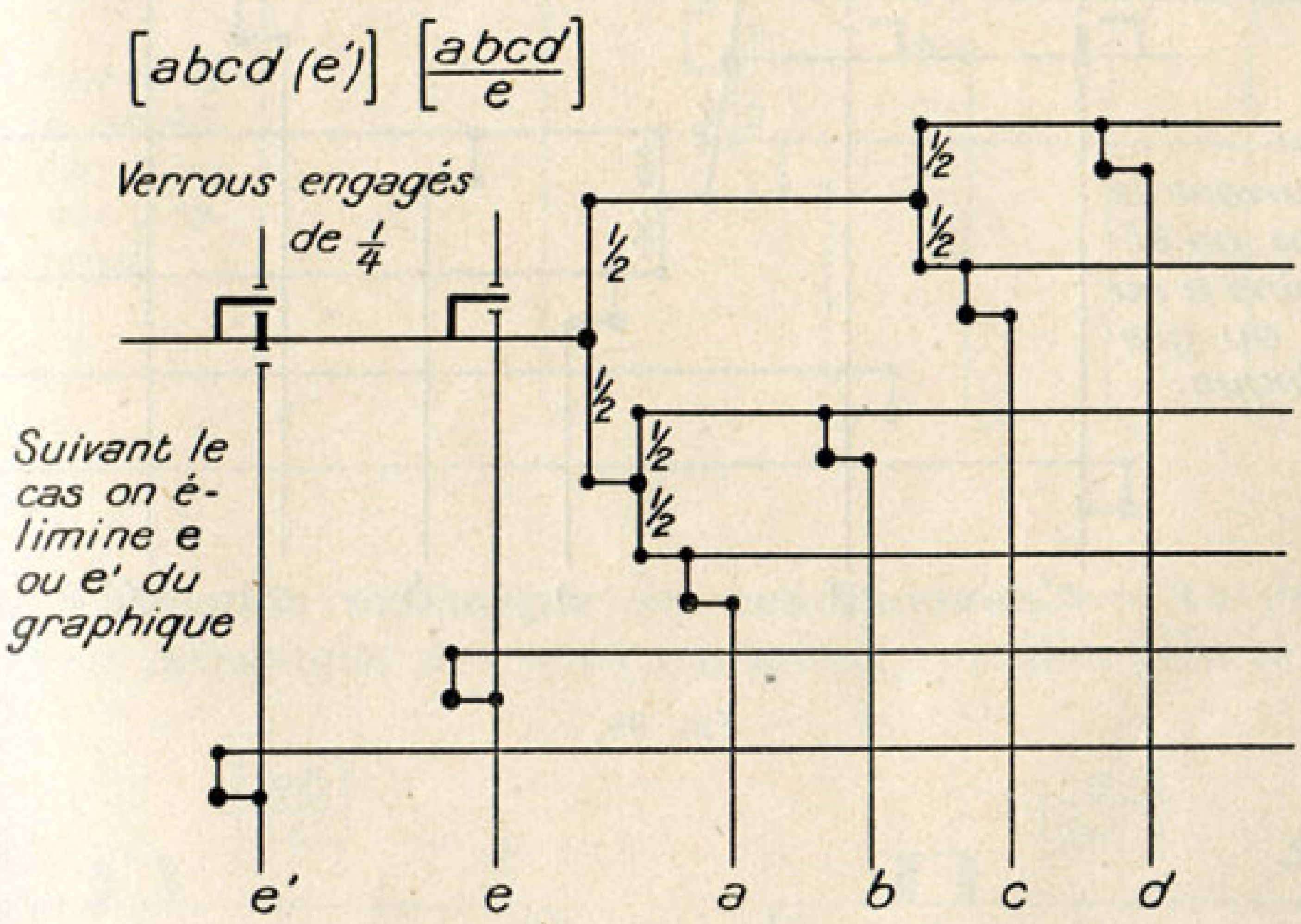


Fig. 94.

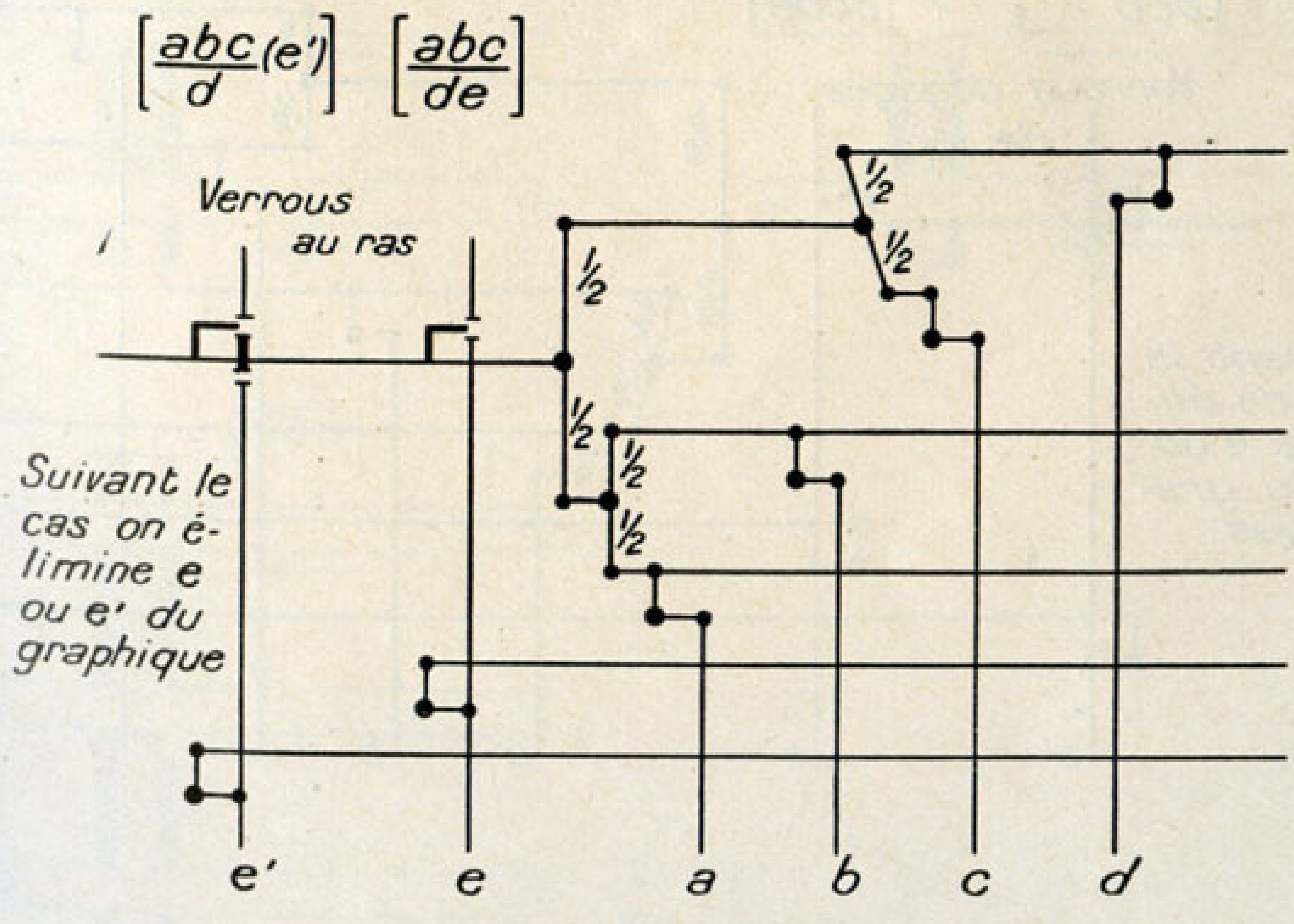
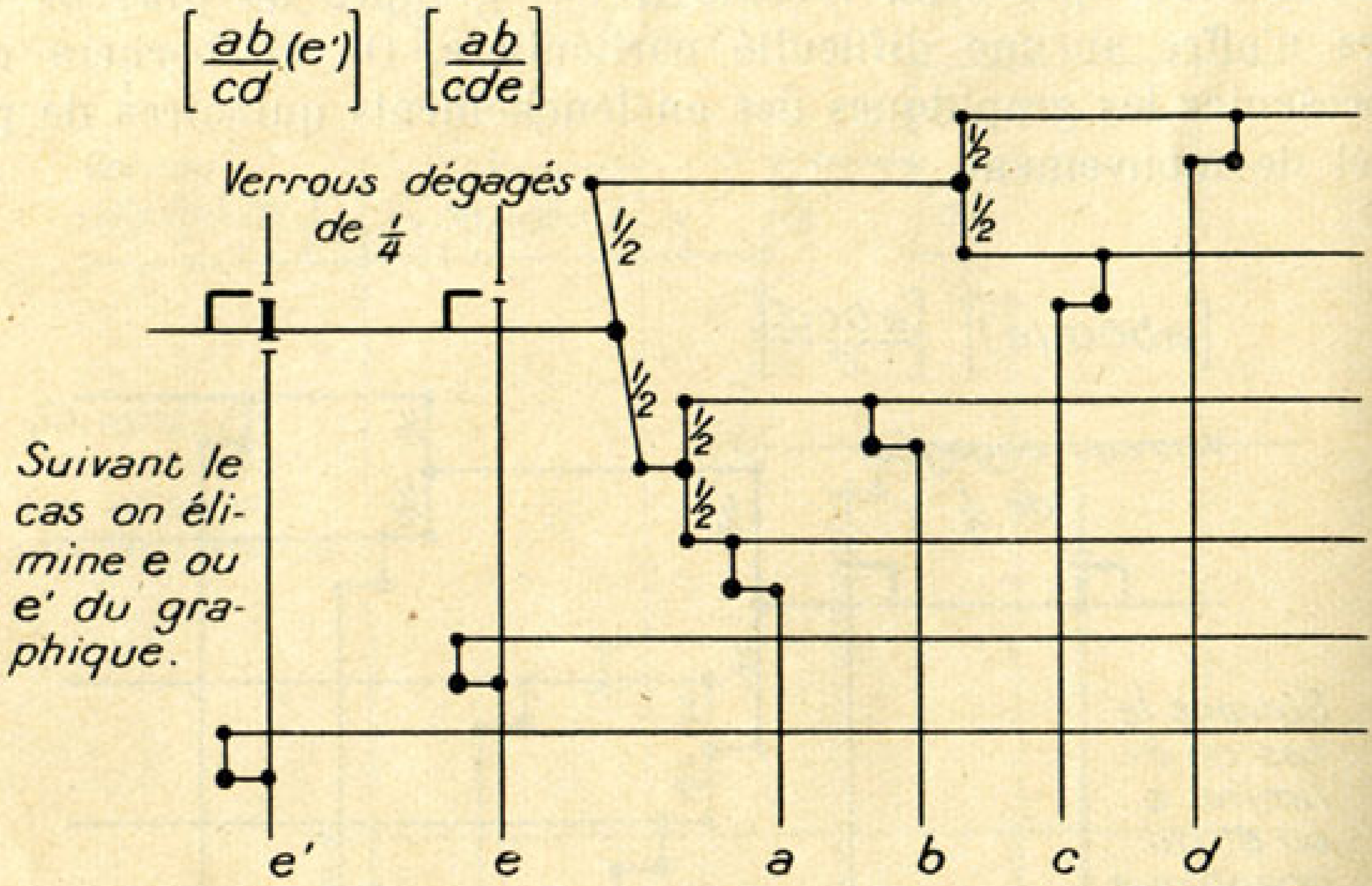
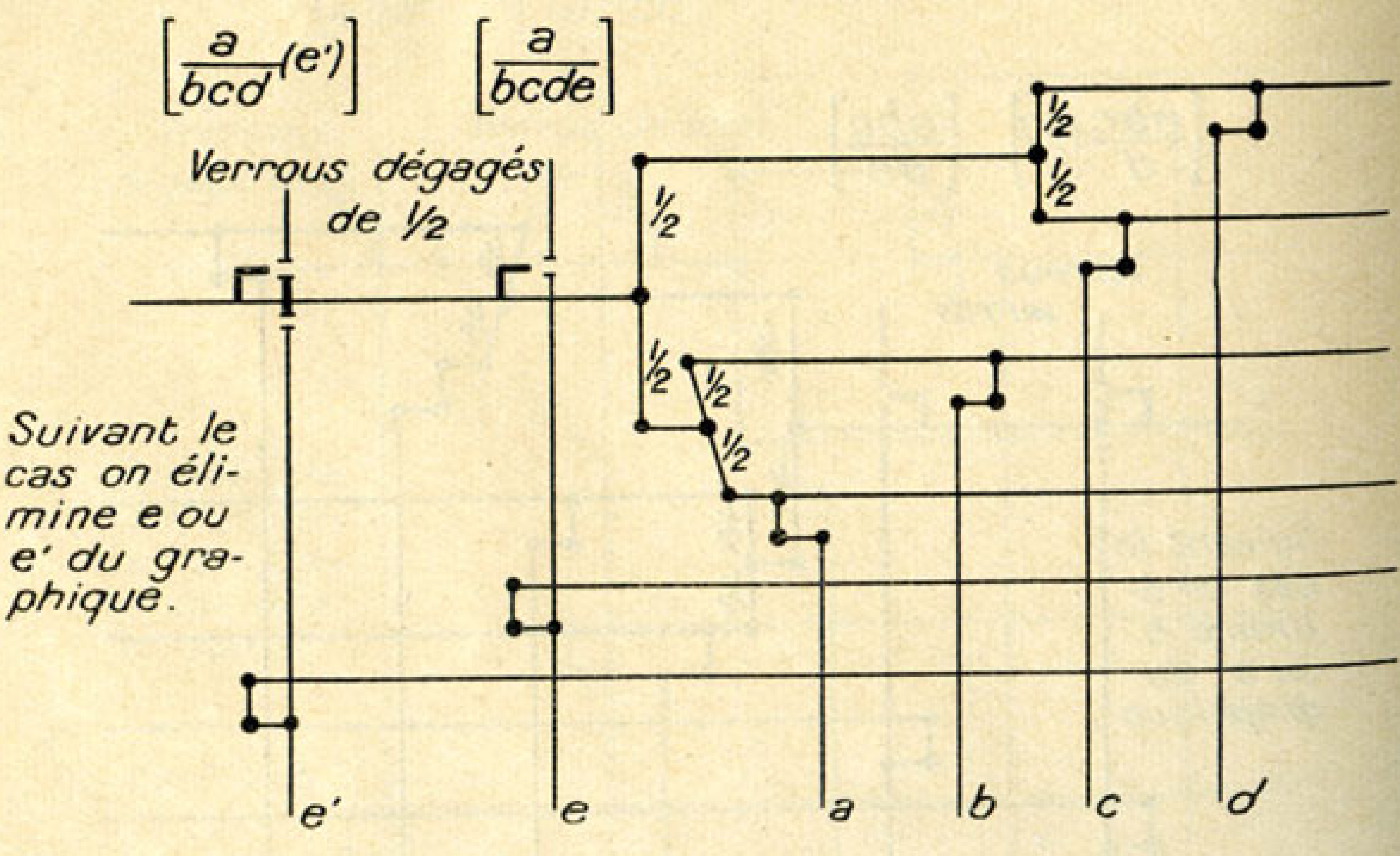


Fig. 95.



$\left[\frac{ab}{cd}(e')\right]$
$\left[\frac{ab}{cde}\right]$
Verrous dégagés de $\frac{1}{4}$
½
½
½
½
½
½
Suivant le cas on élimine e ou e' du graphique.
e'
e
a
b
c
d

FIG. 96.



$\left[\frac{a}{bcd}(e')\right]$
$\left[\frac{a}{bcde}\right]$
Verrous dégagés de ½
½
½
½
½
½
½
Suivant le cas on élimine e ou e' du graphique.
e'
e
a
b
c
d

FIG. 97.

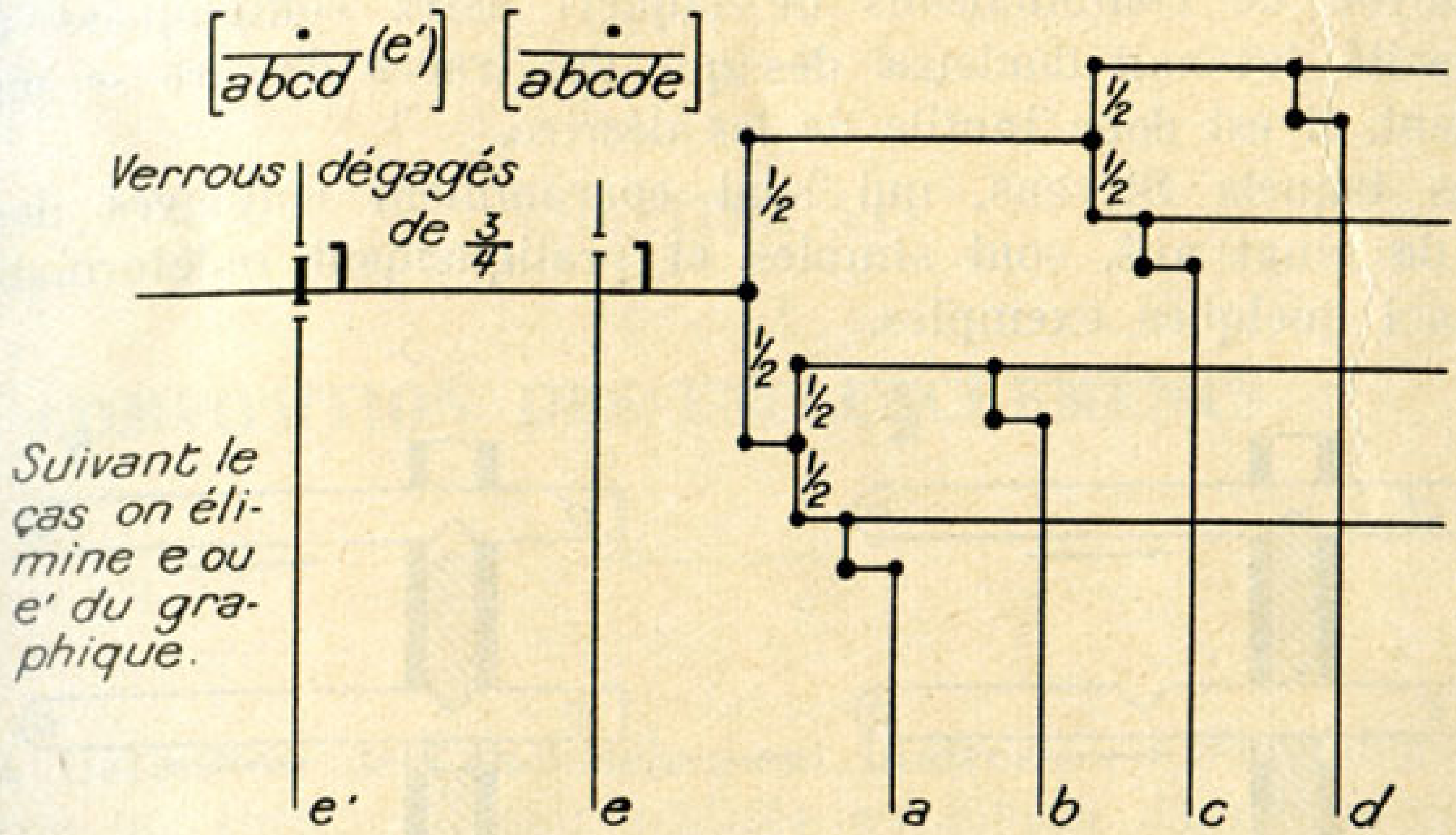


FIG. 98.

69. Réalisation mécanique des conditionnels. — Au début, la réalisation mécanique des enclenchements conditionnels se faisait

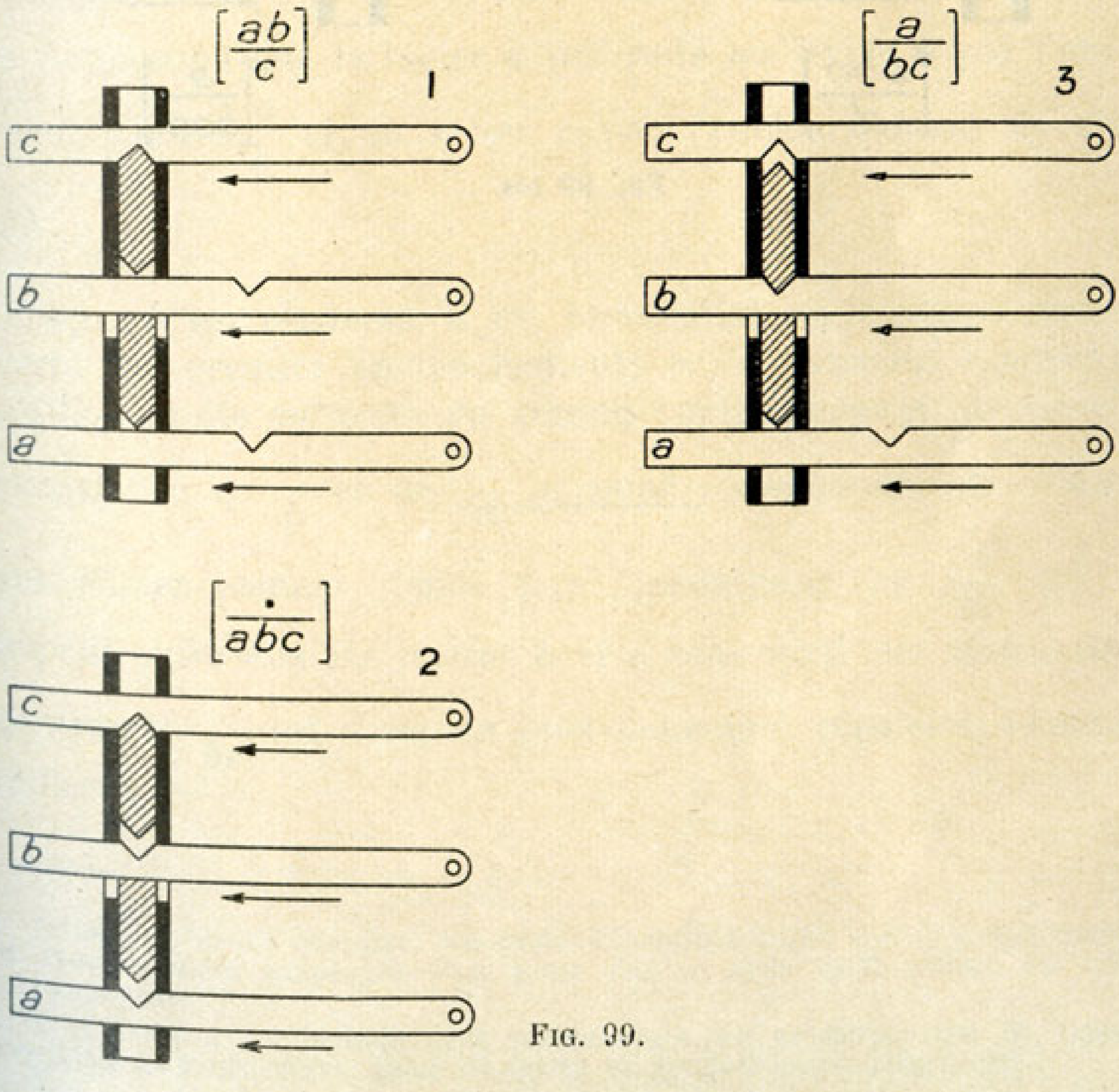
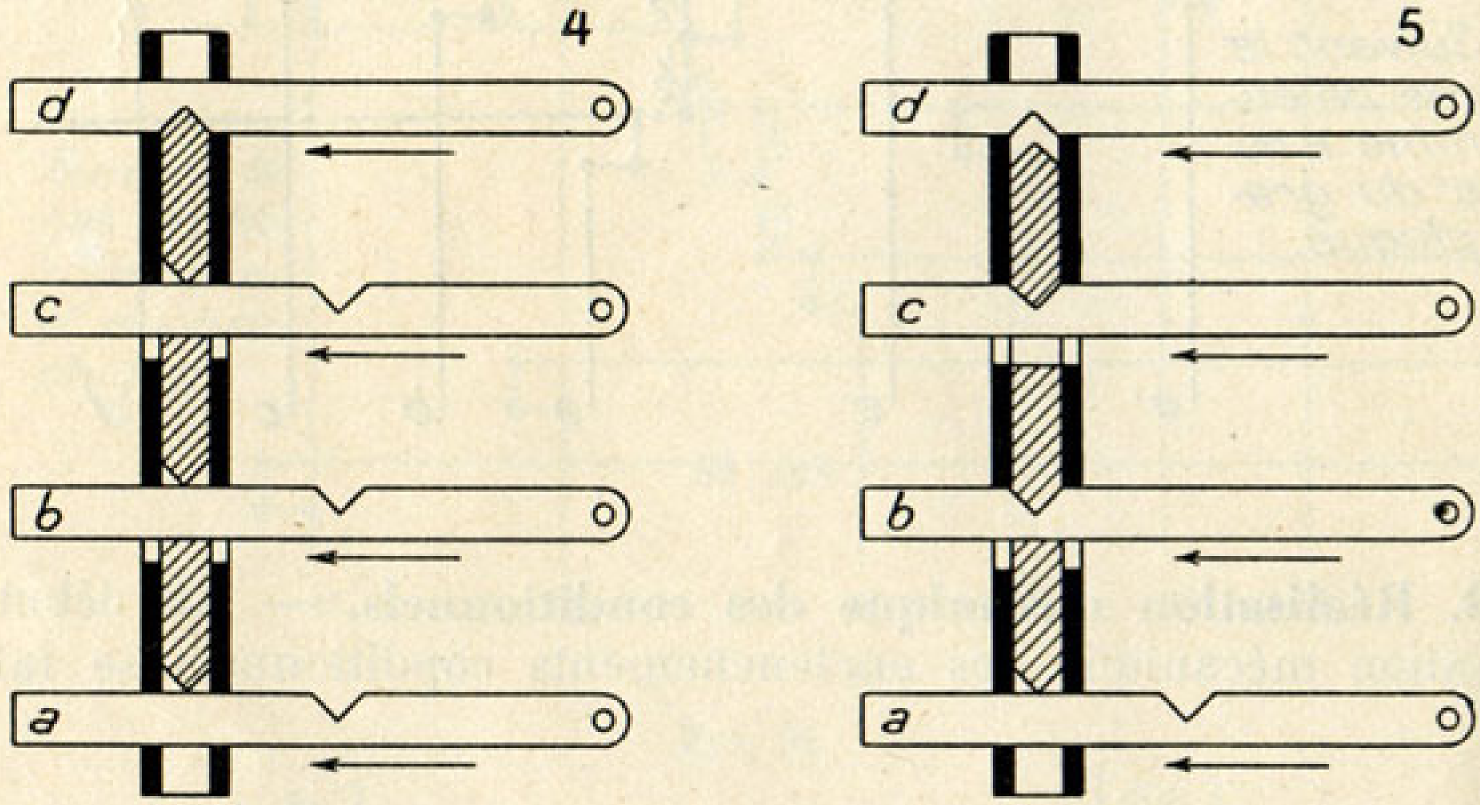


FIG. 99.

au moyen de combinaisons de taquets assez compliquées dont l'efficacité devenait douteuse dès que des traces d'usure se manifestaient. Il est donc inutile de les décrire.

Les taquets Stevens, qui sont couramment employés depuis plus de vingt ans, sont simples et pratiquement indéformables; en voici quelques exemples.



$\left[\frac{abc}{d}\right]$ $\left[\frac{a}{bcd}\right]$

FIG. 99 *bis*.

CHAPITRE VI

COMPOSITION DES ENCLENCHEMENTS [1]

---

70. Définition de l'enclenchement indirect. — D'une manière générale les enclenchements réalisés au moyen d'organes mécaniques ou électromécaniques quelconques sont appelés *enclenchements directs* par opposition avec les *enclenchements résultants ou secondaires ou indirects* (2) qu'il reste à étudier maintenant.

Deux exemples vont nous aider à préciser le sens de ces expressions.

1° Supposons que le levier a soit relié au levier b par l'enclenchement d'ordre $\frac{a}{b}$ et au levier c par l'enclenchement de simultanéité $\frac{\cdot}{ac}$.

Lorsque b est renversé, a est immobilisé en position renversée en vertu du premier enclenchement; or, a renversé enclenche c en position droite en vertu du second enclenchement, de sorte que la coexistence de $\frac{a}{b}$ et de $\frac{\cdot}{ac}$ a pour conséquence de créer un nouvel enclenchement défini par l'incompatibilité $\frac{\cdot}{bc}$ qui relie réellement entre eux les leviers b et c sans qu'il soit nécessaire de le construire; $\frac{\cdot}{bc}$ est donc un enclenchement résultant, secondaire ou indirect.

---

(1) Dans le présent chapitre, les mots « incompatibilité » et « enclenchement » seront fréquemment employés l'un pour l'autre sans qu'il puisse en résulter aucune ambiguïté.

(2) L'expression « enclenchement secondaire » est employée par M. Descubes, à l'exception de toute autre, pour désigner un enclenchement indirect.

On constate immédiatement que $\frac{\cdot}{bc}$ est le produit de la multiplication algébrique de $\frac{a}{b}$ par $\frac{\cdot}{ac}$:

$\frac{a}{b} \times \frac{\cdot}{ac} \equiv \frac{\cdot}{bc}$ (Le signe d'équipollence $\equiv$ signifie « équivaut à »).

2° Supposons encore que parmi les enclenchements d'un poste figurent les deux suivants : $\frac{\cdot}{abc}$ et $\frac{a}{bc}$.

Lorsque *b* et *c* sont renversés, le premier enclenchement exige que *a* soit droit alors que le second veut que *a* soit renversé. Comme le levier *a* ne peut pas être à la fois en position droite et en position renversée il en résulte que *b* et *c* ne peuvent jamais se trouver en même temps renversés, ce qui correspond à l'indirect $\frac{\cdot}{bc}$.

Or, $\frac{\cdot}{bc}$ est bien le produit de la multiplication algébrique de $\frac{\cdot}{abc}$ par $\frac{a}{bc}$.

En définitive, un enclenchement indirect est une dépendance créée entre deux leviers (ou plus de deux leviers) qui ne sont pas matériellement reliés entre eux; le plus souvent (1) cette dépendance résulte de ce qu'un même levier se trouve au numérateur d'une incompatibilité et au dénominateur d'une autre.

71. Nécessité de la recherche des enclenchements indirects. — La recherche des indirects est absolument indispensable : 1° pour connaître toutes les conséquences qui résulteront des enclenchements directs que l'on se propose de réaliser, afin d'éliminer ceux de ces enclenchements directs qui engendreraient des indirects gênants pour l'exécution du service; 2° pour n'avoir pas à construire des enclenchements nécessaires, mais qui existent indirectement. Afin de ne pas opérer au hasard, il importe d'appliquer les règles de la composition des enclenchements dans toutes les études de postes que l'on entreprend.

Ces règles se déduisent de la discussion de nombreuses combinaisons d'enclenchements, en tenant compte des remarques sui-

(1) Certains enclenchements indirects sont engendrés d'une autre façon qui sera indiquée plus loin.

vantes faites par M. Perrin (*Annales des Mines,* 12e livraison de 1905, page 578).

« Si on multiplie algébriquement la formule d'un enclenche-
« ment donné par un ou plusieurs symboles de leviers qui n'y
« figurent pas (1), ces leviers étant d'ailleurs dans une position
« quelconque, on obtient évidemment la formule d'une combinaison
« mécaniquement irréalisable, c'est-à-dire d'un enclenchement com-
« posé qui dérive de celui dont on est parti, mais qu'il n'y a aucun
« intérêt à considérer à part (2).

« Il en est de même de la combinaison représentée par le
« produit algébrique des formules de deux enclenchements donnés,
« si ces formules n'ont aucun symbole commun, ou si les symboles
« qui leur sont communs ne disparaissent pas par la multipli-
« cation algébrique. Il suffit seulement, dans ce cas, d'écrire cha-
« cun de ces symboles *une seule fois* dans la position qu'il occu-
« pait dans les deux formules, et la combinaison ainsi représentée
« est *doublement* irréalisable ».

De ces remarques M. Maison (3) conclut que si, étant donné un enclenchement entre plus de deux leviers, on peut, avec un certain nombre des leviers qui le composent, former un enclenchement constituant un facteur du premier, celui-ci sera inutile. En effet, il est évident que si la combinaison $\frac{bd}{ac}$ est impossible, il en sera de même de tout autre groupement de leviers comprenant la combinaison $\frac{bd}{ac}$, tel que $\frac{bdel}{ack}$. Réciproquement, il sera avantageux de se dispenser d'établir le conditionnel $\frac{bdel}{ack}$ si, sans restreindre le nombre des mouvements simultanément utilisables, on peut établir une relation telle que $\frac{bde}{ck}$ ou $\frac{del}{ak}$ ou $\frac{bd}{ac}$, etc., dont la formule soit un facteur de ce conditionnel.

Nous allons maintenant discuter un certain nombre de cas afin d'arriver à déduire *la règle de composition de deux enclenchements ayant au plus un seul symbole de levier en mouvement.*

(1) (Autrement dit, si on introduit dans la formule d'un enclenchement donné un ou plusieurs symboles de leviers autres que ceux qui y figurent.) Note de l'auteur.

(2) (Car cet enclenchement composé laisse subsister l'enclenchement initial.) Note de l'auteur.

(3) *Exploitation technique des Chemins de fer,* par M. F. Maison (page 229).

72. Exemples de recherche d'enclenchements indirects. — I. — La multiplication algébrique des deux formules fait disparaître un symbole de levier.

A. Soit $\frac{a}{b}\times\frac{\cdot}{ab}\equiv\frac{\cdot}{b}$, ce qui signifie que b renversé est incompatible avec lui-même; autrement dit, le levier b est immobilisé en position droite. En effet, l'enclenchement d'ordre $\frac{a}{b}$ interdit les déplacements 1-4 du levier b et 3-4 du levier a; l'enclenchement de simultanéité $\frac{\cdot}{ab}$ interdit les mouvements 4-3 du levier a et 2-3 du levier b, de sorte que le levier a peut être manœuvré pour passer de 1 à 2 et de 2 à 1. Quant au levier b, il est immobilisé en 1. Donc, la coexistence d'un enclenchement d'ordre et d'un enclenchement de simultanéité entre deux leviers est l'indice d'une erreur : l'un des deux enclenchements doit être supprimé.

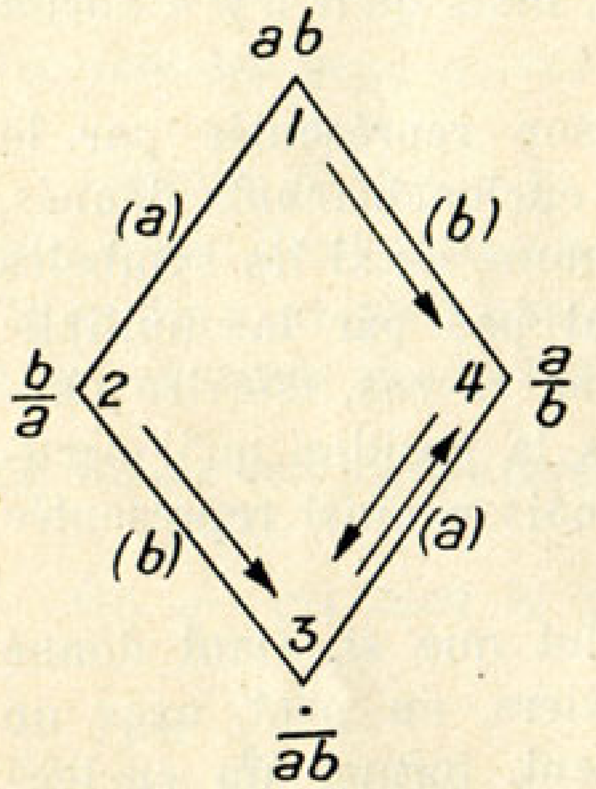


FIG. 100.

B. Soit $b(a)\times\frac{(a)}{b}\equiv(a)$, ce qui indique que le levier a est immobilisé . L'un des deux enclenchements doit être supprimé.

Le losange de Perrin montre que les déplacements 1-2, 2-1 et 4-3, 3-4 du levier a sont interdits (fig. 100 *bis*).

C. Soit $\frac{a}{b}\times\frac{(b)}{a}\equiv(b)$, ce qui signifie que le levier b est immobilisé, comme le montre le losange de Perrin (fig. 100 *bis*). En effet, l'enclenchement d'ordre $\frac{a}{b}$ interdit les mouvements 3-4 du levier a et 1-4 du levier b; l'enclenchement de mouvement $\frac{(b)}{a}$ interdit les déplacements 2-3 et 3-2 du levier b, qui, de ce fait, est immobilisé en 1. Le système $\frac{a}{b}$ et $\frac{(b)}{a}$ est donc erroné et l'un des enclenchements doit être supprimé.

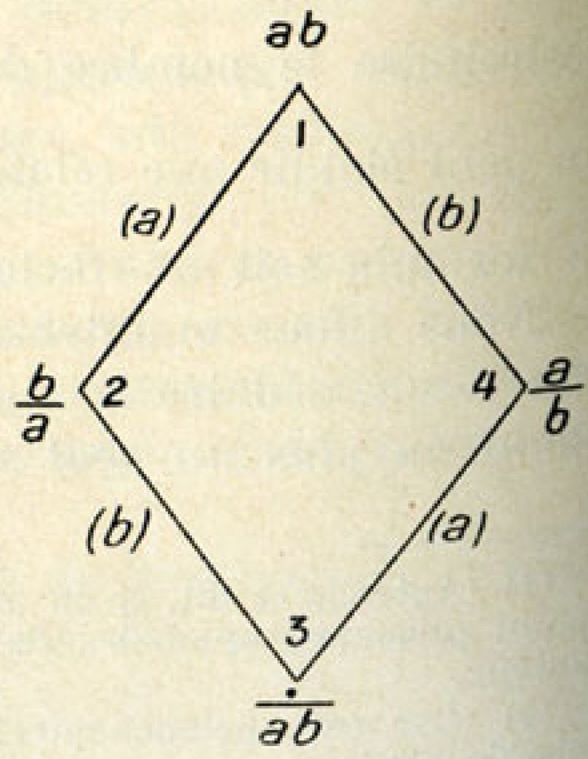


FIG. 100 *bis*.

D. Soit $\frac{ab}{c} \times \frac{(b)}{a} \equiv \frac{(b)}{c}$. (Voir fig. 101).

Supposons c renversé : si a est droit, b est enclenché renversé par $\frac{ab}{c}$; si a est renversé, b est immobilisé droit ou renversé par $\frac{(b)}{a}$, de sorte que, quelle que soit la position de a, c renversé immobilise b. On peut s'en rendre compte sur le parallélipipède de Perrin. En effet $\frac{ab}{c}$ interdit les déplacements 1-8 du levier c. 5-8 du levier b et 7-8 du levier a. D'autre part, $\frac{(b)}{a}$ interdit les mouvements 2-3, 3-2 et 6-7, 7-6 du levier b, de sorte qu'il est impossible de manœu-

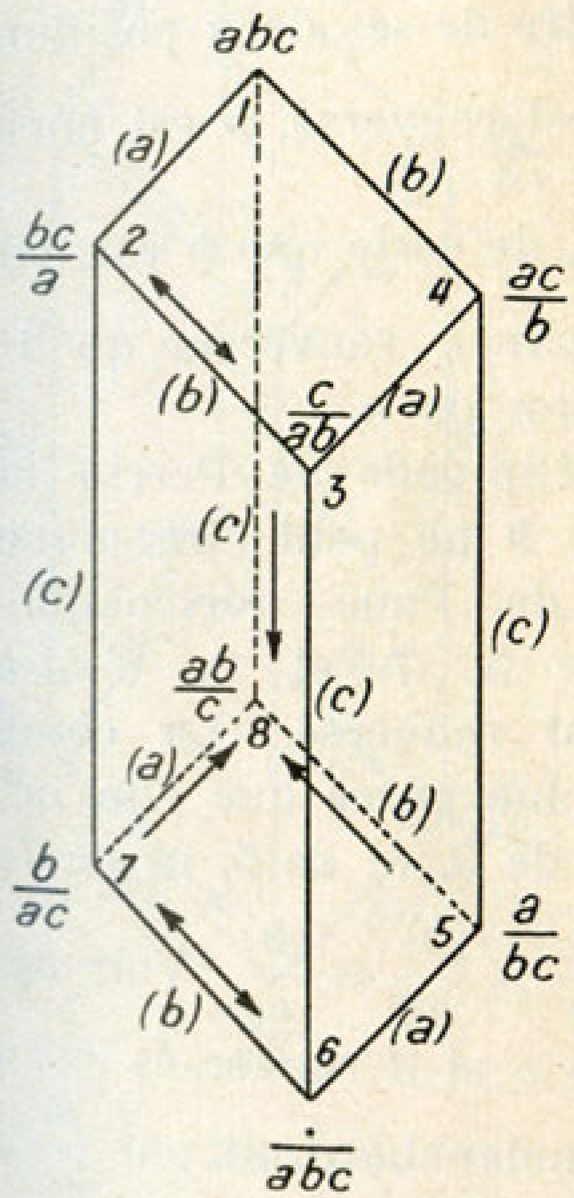


FIG. 101.

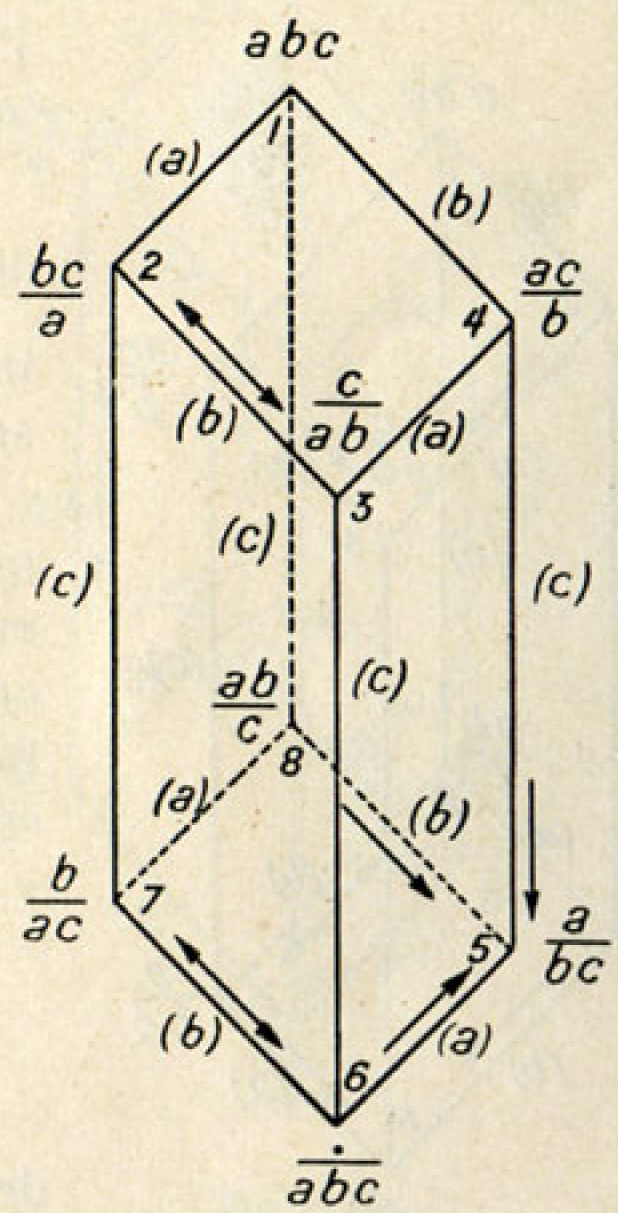


FIG. 102.

vrer b en partant de l'une quelconque des combinaisons 5, 6 et 7, c'est-à-dire lorsque c est renversé. (La combinaison 8 est exclue par $\frac{ab}{c}$).

E. Soit $\frac{a}{bc} \times \frac{(b)}{a} \equiv \frac{(b)}{c}$. (Voir fig. 102).

Supposons c renversé : si a est droit, b est enclenché droit par $\frac{a}{bc}$; si a est renversé, b est immobilisé dans l'une ou l'autre de ses deux positions par $\frac{(b)}{a}$, de sorte que le déplacement de b est impossible lorsque c est renversé, quelle que soit la position de a.

Ce résultat se vérifie aisément sur le parallélipipède de Perrin : le levier b ne peut pas être manœuvré en partant de l'une quelconque des combinaisons 6, 7 et 8. (La combinaison 5 est exclue par $\frac{a}{bc}$).

F. Soit $\frac{a\,(b)}{c} \times \frac{\cdot}{ab} \equiv \frac{(b)}{c}$.

Supposons c renversé : si a est droit, b est immobilisé dans l'une ou l'autre de ses deux positions par $\frac{a\,(b)}{c}$; si a est renversé, b est enclenché droit par $\frac{\cdot}{ab}$, de sorte que b est toujours immobilisé par c renversé, quelle que soit la position de a.

Le parallélipipède de Perrin montre que le levier b ne peut être manœuvré en partant de l'une quelconque des combinaisons 5, 7 et 8, c'est-à-dire lorsque c est renversé. (La combinaison 6 est exclue parce que l'on ne peut y accéder ni de 3, ni de 5, ni de 7).

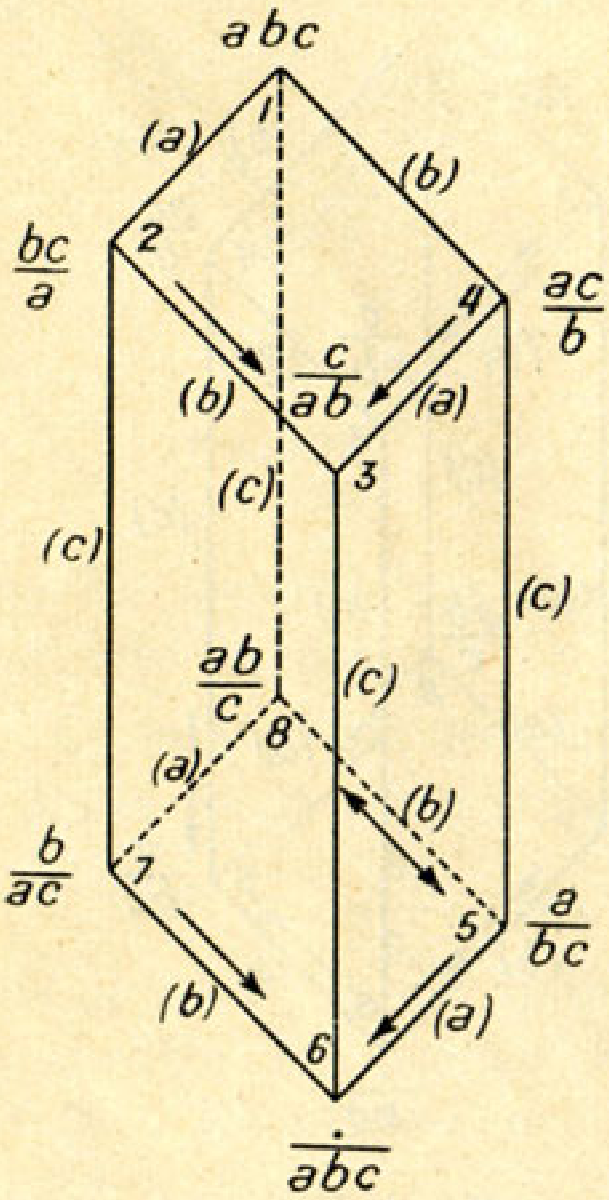


Fig. 103.

G. Soit $\frac{a}{bc} \times \frac{(b)}{ad} \equiv \frac{(b)}{cd}$ (Voir fig. 12).

Supposons c et d renversés : si a est droit, b est enclenché droit par $\frac{a}{bc}$; si a est renversé, b est immobilisé droit ou renversé en vertu de $\frac{(b)}{ad}$. Donc b est toujours immobilisé lorsque c et d sont renversés, quelle que soit la position de a.

Ce résultat peut être vérifié sur le diagramme de Perrin.

H. Soit $\frac{a}{b} \times \frac{\cdot}{abc} \equiv \frac{\cdot}{bc}$.

Supposons c renversé : si a est renversé, b est enclenché droit par $\frac{\cdot}{abc}$; si a est droit, b est encore enclenché droit, mais par $\frac{a}{b}$, de sorte que, quelle que soit la position de a, les leviers b et c ne peuvent pas être renversés ensemble.

Il est donc inutile de construire $\frac{\cdot}{abc}$ et il suffit de réaliser $\frac{a}{b}$ et $\frac{\cdot}{bc}$. C'est une simplification intéressante. Si au lieu du ternaire $\frac{\cdot}{abc}$ on avait le quaternaire $\frac{\cdot}{abcd}$ ou le quinaire $\frac{\cdot}{abcde}$ on bénéfi-

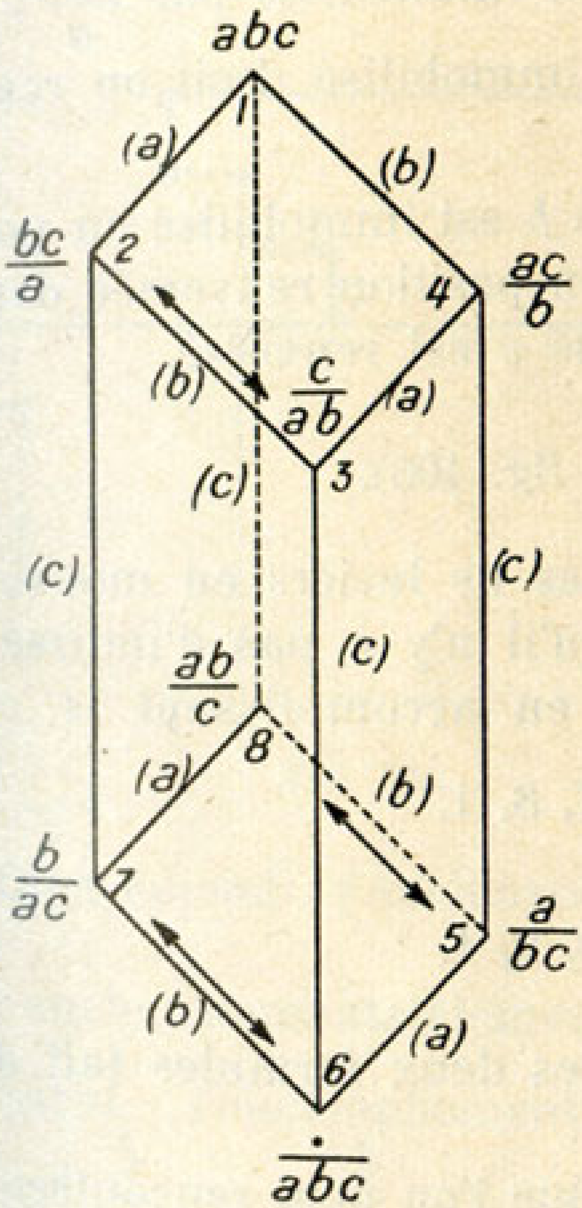


Fig. 104.

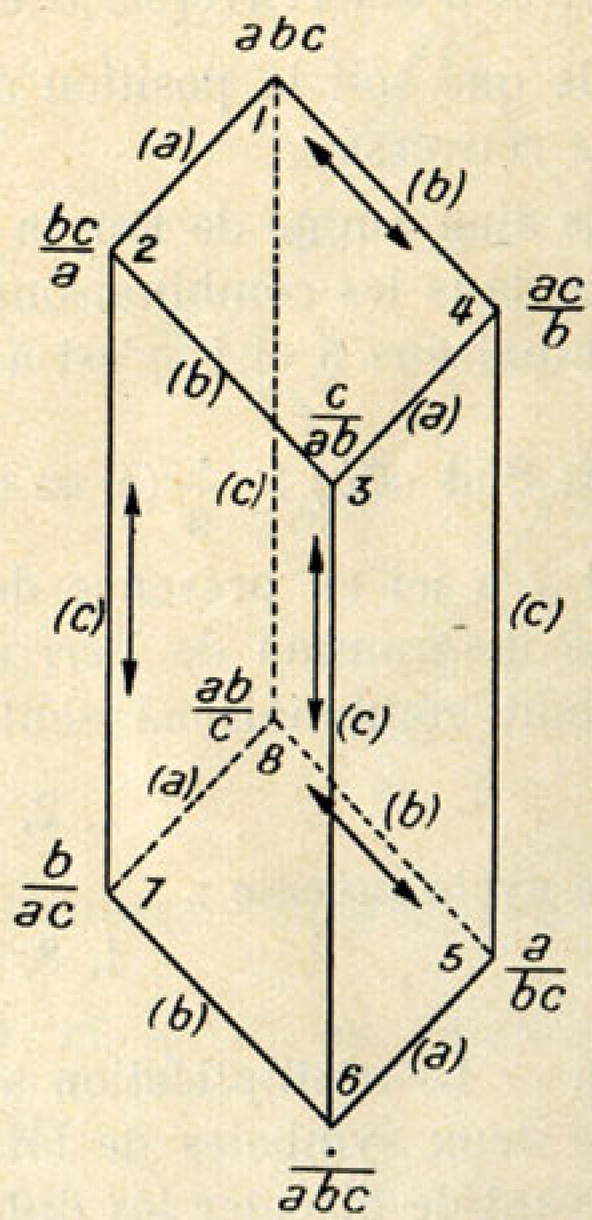


Fig. 105.

cierait de la même simplification d'enclenchements et, suivant le cas, il suffirait de réaliser $\frac{a}{b}$ et $\frac{\cdot}{bcd}$ ou bien $\frac{a}{b}$ et $\frac{\cdot}{bcde}$.

I. Soit $\frac{a}{bc} \times \frac{d}{ab} \equiv \frac{d}{bc}$.

Supposons c renversé et d droit : si a est droit, b est enclenché droit en vertu de $\frac{a}{bc}$; si a est renversé, b est encore enclenché droit par $\frac{d}{ab}$, de sorte que c renversé et d droit enclenchent b droit, quelle que soit la position de a.

Ce résultat se vérifie aisément sur le diagramme de Perrin.

J. Soit $\frac{a}{c}(b) \times \frac{(b)}{a} \equiv \frac{b}{c}$ (Voir fig. 104).

Il convient d'abord de remarquer que les deux enclenchements comportent le même symbole de levier en mouvement.

Supposons c renversé : si a est droit, b est immobilisé par $\frac{a}{c}(b)$; si a est renversé, b est également immobilisé par $\frac{(b)}{a}$. Donc, quelle que soit la position de a, b est immobilisé droit ou renversé par c renversé.

Le diagramme de Perrin montre que b est immobilisé en position droite dans les combinaisons 7 et 8 et en position renversée dans les combinaisons 5 et 6, c'est-à-dire lorsque c est renversé.

K. Soit $a(b) \times \frac{\cdot}{a}(c) \equiv$ néant (Voir fig. 105).

Il y a ici en présence deux symboles de leviers en mouvement.

Le diagramme de Perrin montre qu'il n'y a pas d'indirect, car les huit combinaisons sont possibles en accomplissant le cycle :

1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 1,

ou le cycle inverse :

1, 8, 7, 6, 5, 4, 3, 2, 1.

II. — La multiplication algébrique des deux formules fait disparaître deux symboles de leviers.

Avant de discuter les différents cas que l'on peut rencontrer dans la pratique il n'est peut-être pas inutile d'indiquer que pendant longtemps on ne s'est pas rendu compte que la disparition, par la multiplication, de deux symboles de leviers engendre deux enclenchements de mouvement.

La démonstration en a été donnée pour la première fois par M. Descubes à l'aide d'un raisonnement qui a déjà été utilisé dans la discussion des cas D, E, F, G, J.

De son côté, M. Perrin a montré que deux indirects de mouvement peuvent être obtenus par la multiplication algébrique de deux formules d'enclenchements ayant deux symboles de leviers communs avec des positions inverses, à la condition de transformer ces formules de façon telle qu'un seul symbole de levier disparaisse du produit.

Voici le principe de cette transformation.

Considérons un enclenchement de position quelconque, par exemple l'enclenchement d'ordre $\frac{b}{a}$. On sait que pour le matérialiser il faut réaliser les enclenchements élémentaires $ab\,(a)$ et $\frac{\cdot}{ab}\,(b)$ interdisant les déplacements 1-2 du levier a et 3-2 du levier b. Dans le système Vignier la réalisation est celle indiquée ci-dessous.

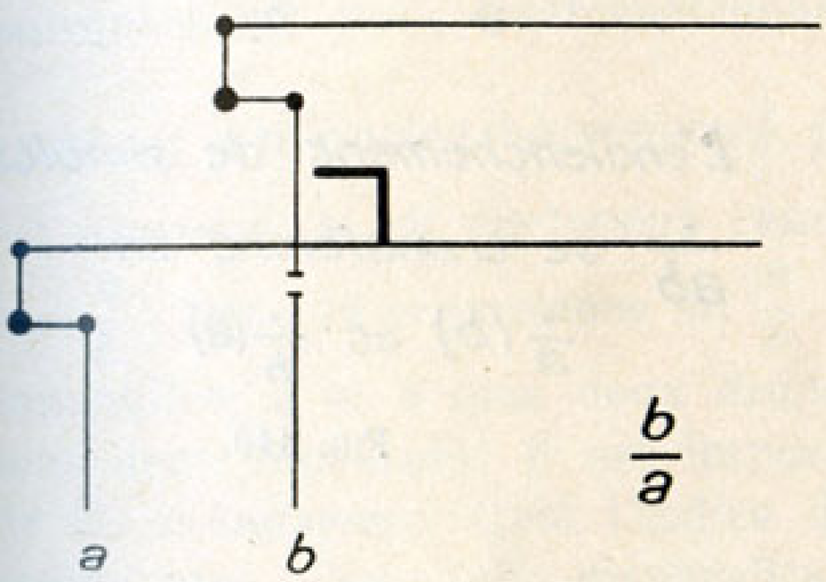


FIG. 106.

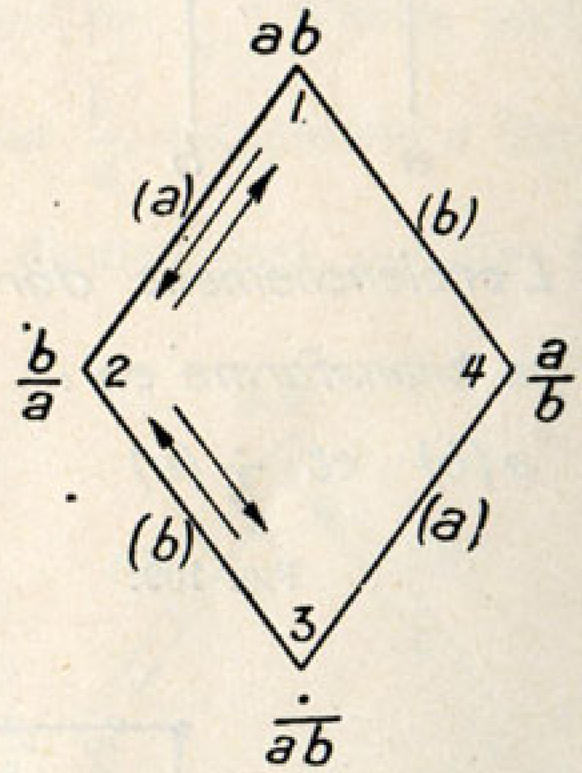


FIG. 107.

Bien entendu l'enclenchement $\frac{b}{a}$ continuera d'exister si, à chacun des enclenchements élémentaires $ab\,(a)$ et $\frac{\cdot}{ab}\,(b)$, on ajoute respectivement l'enclenchement élémentaire opposé $\frac{b}{a}\,(a)$ et $\frac{b}{a}\,(b)$. Ces nouveaux enclenchements élémentaires interdisent les déplacements 2-1 du levier a et 2-3 du levier b et transforment les deux enclenchements élémentaires initiaux en deux enclenchements de mouvement $b\,(a)$ et $\frac{\cdot}{a}\,(b)$ dont voici la représentation dans le système Vignier.

Tous les enclenchements de position (qu'ils soient binaires ou conditionnels) sont susceptibles de cette transformation.

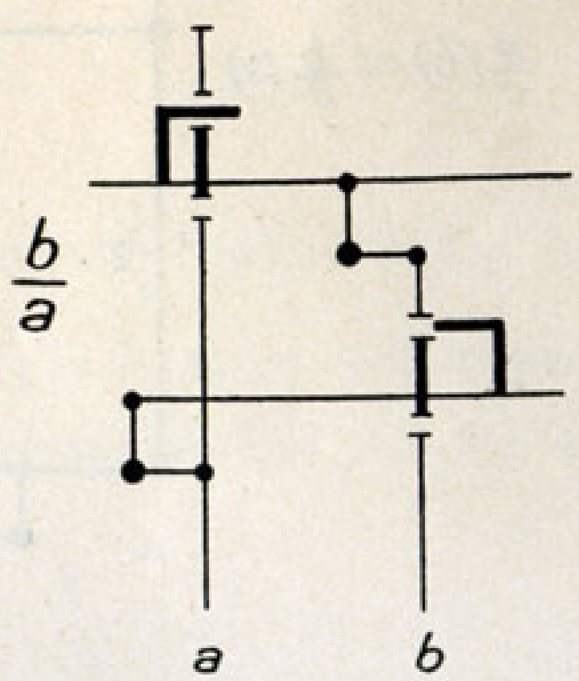


FIG. 108.

En voici quelques exemples :

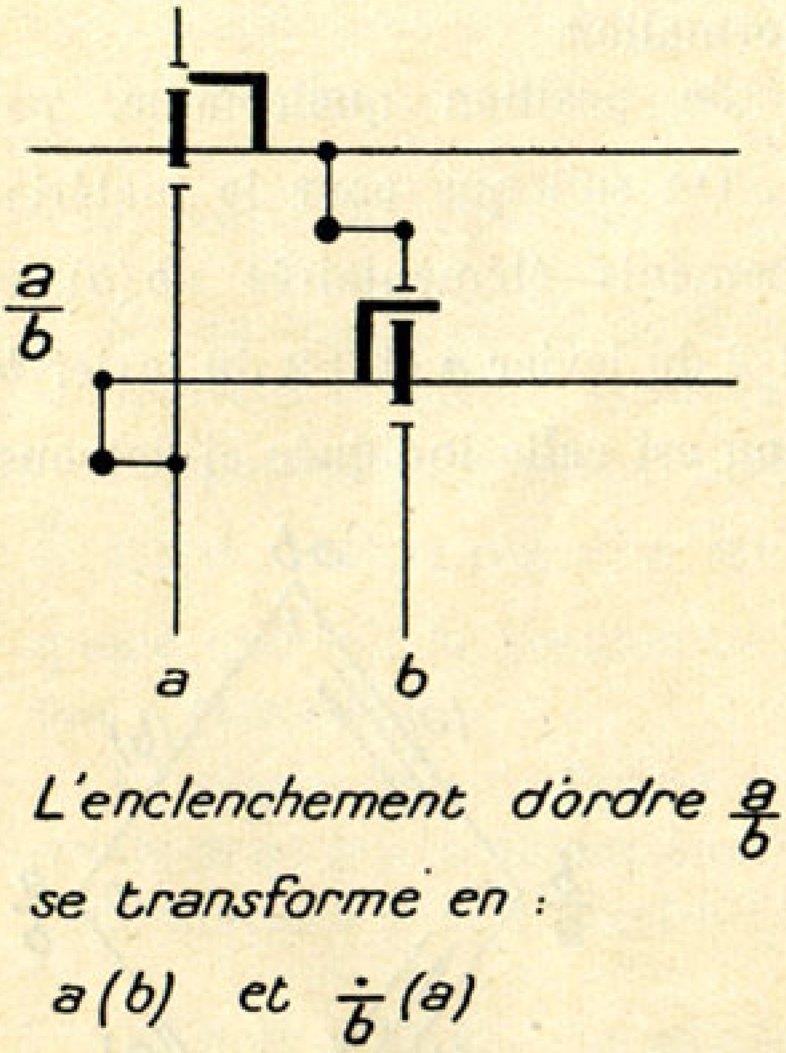


FIG. 109.

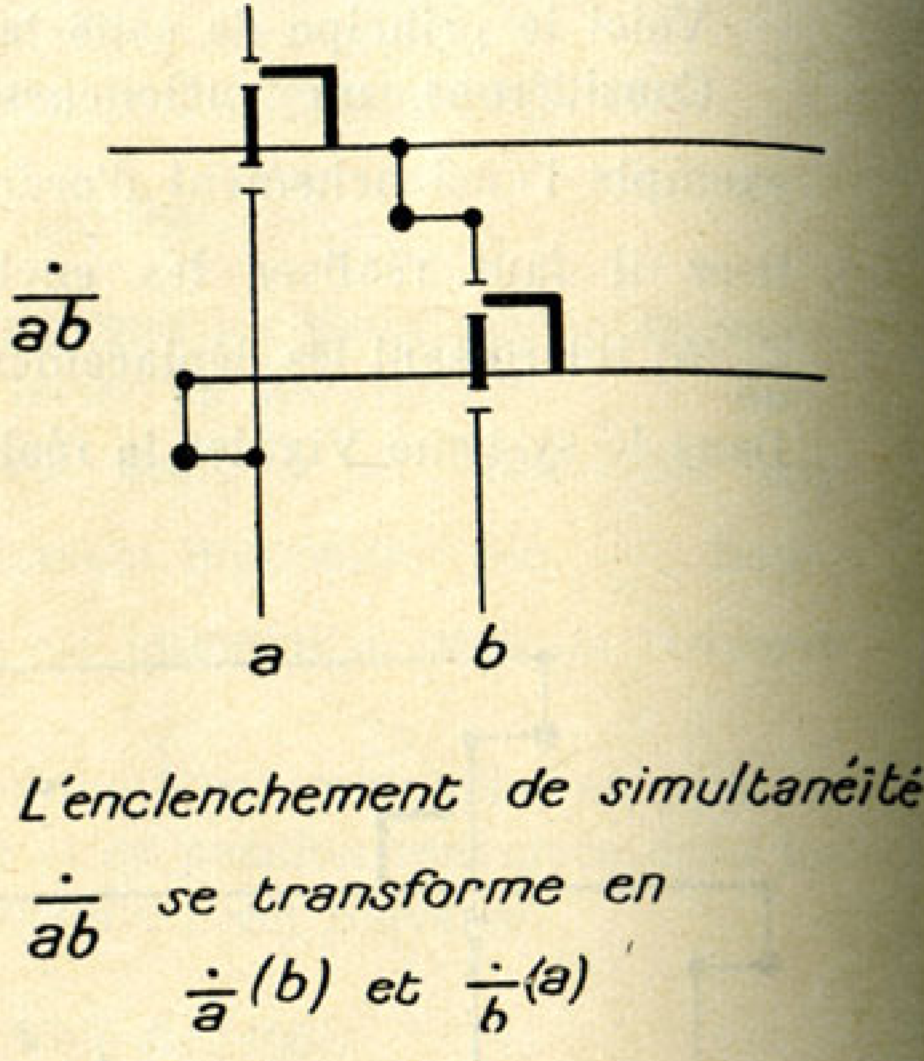


FIG. 110.

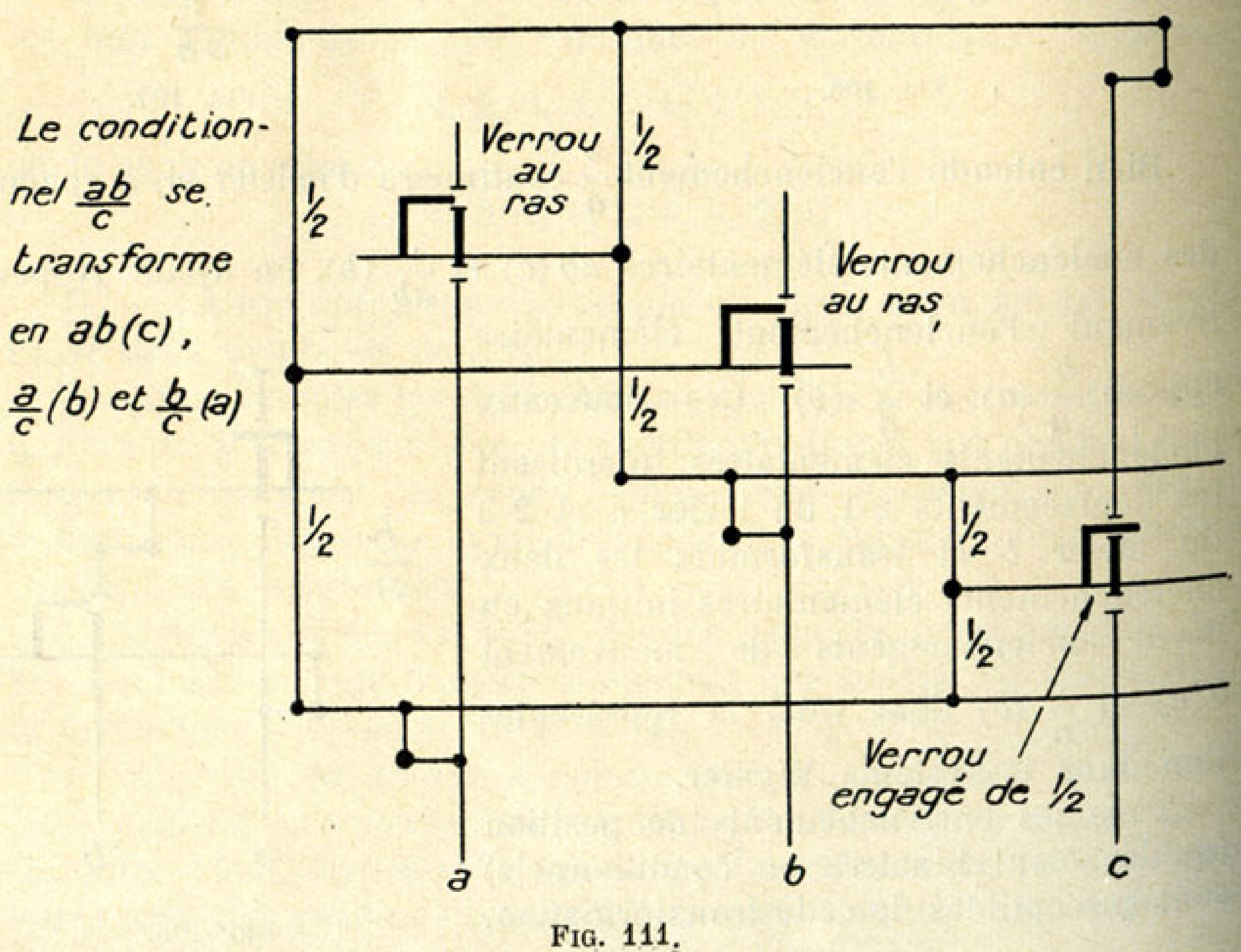


FIG. 111.

Enfiin, le quaternaire $\frac{\cdot}{abcd}$ se transforme en $\frac{\cdot}{bcd}$ (a), $\frac{\cdot}{acd}$ (b), $\frac{\cdot}{abd}$ (c), $\frac{\cdot}{abc}$ (d).

En définitive la transformation s'obtient en inscrivant à tour de rôle entre parenthèses chacun des symboles compris dans la formule de l'enclenchement donné.

L. Soit $\frac{a}{b} \times \frac{b}{a} \equiv (a)$ et (b).

Supposons a droit : b est enclenché droit par $\frac{a}{b}$; d'autre part, puisque b est droit, a est enclenché droit par $\frac{b}{a}$. Supposons a renversé : b est enclenché renversé par $\frac{b}{a}$; d'autre part, puisque b est renversé, a est enclenché renversé par $\frac{a}{b}$. Donc la coexistence de $\frac{a}{b}$ et $\frac{b}{a}$ immobilise a et b tous deux droits ou tous deux renversés; il est impossible de les manœuvrer. C'est l'indice d'une erreur que l'on fait disparaître en supprimant l'un des deux enclenchements donnés.

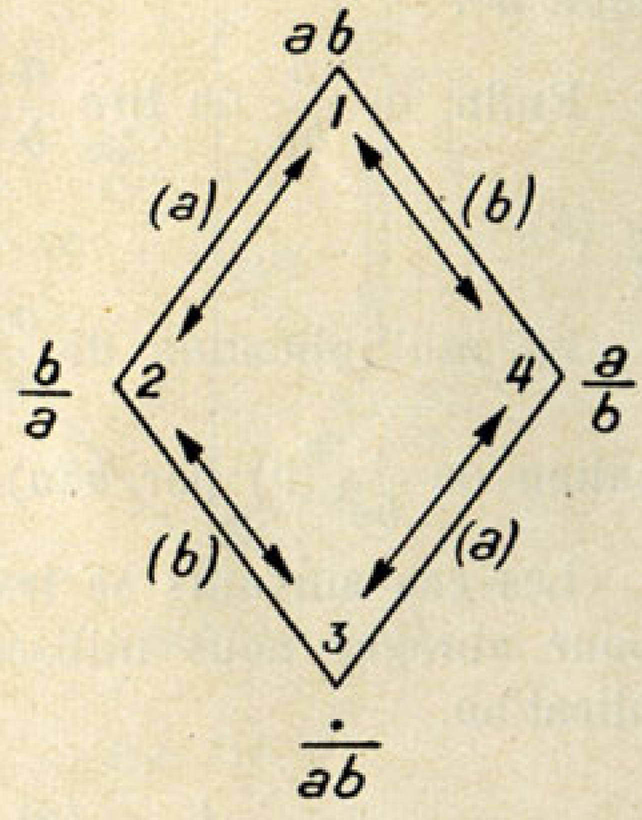


FIG. 112.

Voici maintenant l'application de la méthode de Perrin (fig. 112).

L'enclenchement $\frac{a}{b}$ peut être considéré comme engendré par les deux enclenchements de mouvement $a\,(b)$ et $\frac{\cdot}{b}\,(a)$. De même, l'enclenchement $\frac{b}{a}$ dérive des deux enclenchements de mouvement $\frac{\cdot}{a}$ (b) et $b\,(a)$.

Or, la multiplication algébrique de $\frac{\cdot}{a}(b)$ par $a\,(b)$ ne fait disparaître qu'un symbole de levier et donne comme produit (b). On a de même $\frac{\cdot}{b}\,(a) \times b\,(a) \equiv (a)$.

Donc $\frac{a}{b} \times \frac{b}{a} \equiv (a)$ et (b).

C'est ce que montre le losange de Perrin.

M. Soit $\frac{a}{bc} \times \frac{b}{a} \equiv \frac{(a)}{c}$ et $\frac{(b)}{c}$ (fig. 113).

Supposons c renversé : si a est droit, b est enclenché droit par $\frac{a}{bc}$ et, puisque b est droit, a est aussi enclenché droit par $\frac{b}{a}$; si a est renversé, b est enclenché renversé par $\frac{b}{a}$ et, puisque b est renversé, a est aussi enclenché renversé par $\frac{a}{bc}$. Donc, c renversé immobilise a et b dans l'une et l'autre de leurs positions.

Le parallélipipède de Perrin montre que a et b sont immobilisés : en position droite, dans la combinaison 8 et en position renversée, dans la combinaison 6. (Les combinaisons 5 et 7 sont exclues, la première par $\frac{a}{bc}$, la seconde par $\frac{b}{a}$ qui y entre comme facteur).

Enfin, de $\frac{a}{bc}$ on tire $\frac{a}{b}\,(c)$, $\frac{a}{c}\,(b)$, $\frac{\cdot}{bc}\,(a)$ et de $\frac{b}{a}$ on tire $b\,(a)$ et $\frac{\cdot}{a}\,(b)$.

La multiplication de $\frac{a}{c}\,(b)$ par $\frac{\cdot}{a}\,(b)$ donne $\frac{\cdot}{c}\,(b)$; la multiplication de $\frac{\cdot}{bc}\,(a)$ par $b\,(a)$ donne $\frac{\cdot}{c}\,(a)$.

Les cas suivants se traiteraient exactement de la même façon; pour abréger nous utiliserons seulement le procédé de la multiplication.

N. Soit $\frac{a}{bc} \times \frac{b}{ac} \equiv \frac{(a)}{c}$ et $\frac{(b)}{c}$.

En effet, de $\frac{a}{bc}$ on tire : $\frac{\cdot}{bc}\,(a)$, $\frac{a}{c}\,(b)$; de $\frac{b}{ac}$ on tire $\frac{b}{c}\,(a)$, $\frac{\cdot}{ac}\,(b)$.

La multiplication de $\frac{\cdot}{bc}\,(a)$ par $\frac{b}{c}\,(a)$ donne $\frac{\cdot}{c}\,(a)$ et la multiplication de $\frac{a}{c}\,(b)$ par $\frac{\cdot}{ac}\,(b)$ donne $\frac{\cdot}{c}\,(b)$.

O. Soit $\frac{a}{bc} \times \frac{b}{ad} \equiv \frac{(a)}{cd}$ et $\frac{(b)}{cd}$.

De $\frac{a}{bc}$ on tire $\frac{\cdot}{bc}\,(a)$, $\frac{a}{c}\,(b)$.

De $\frac{b}{ad}$ on tire $\frac{b}{d}$ (a), $\frac{\cdot}{ad}$ (b).

La multiplication de $\frac{\cdot}{bc}$ (a) par $\frac{b}{d}$ (a) donne $\frac{\cdot}{cd}$ (a) et la multiplication de $\frac{a}{c}$ (b) par $\frac{\cdot}{ad}$ (b) donne $\frac{\cdot}{cd}$ (b).

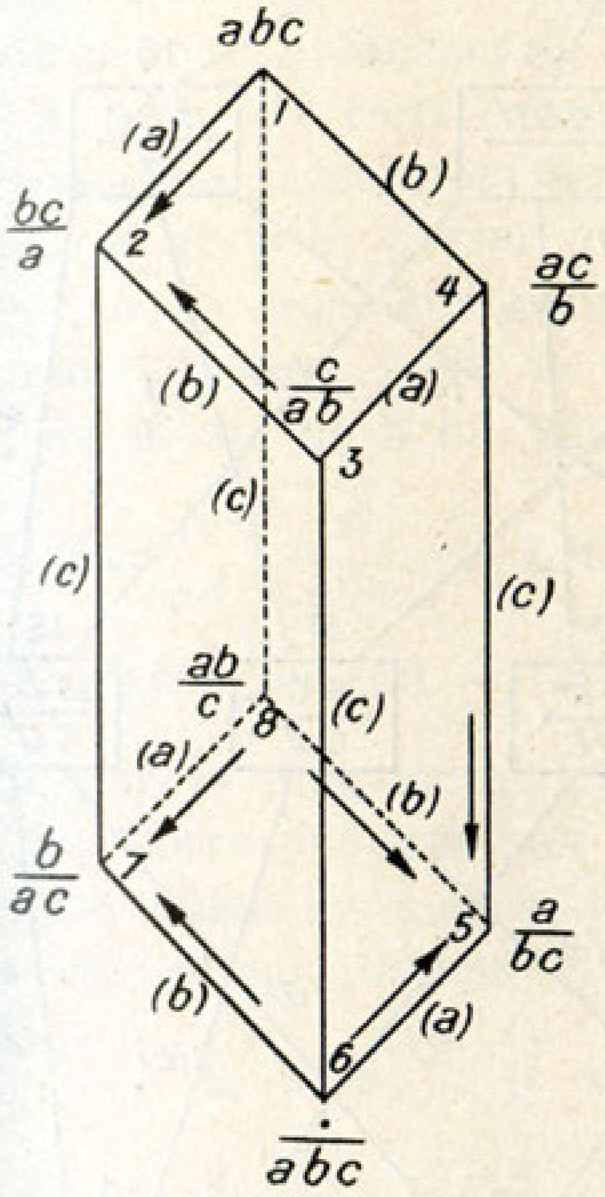


FIG. 113.

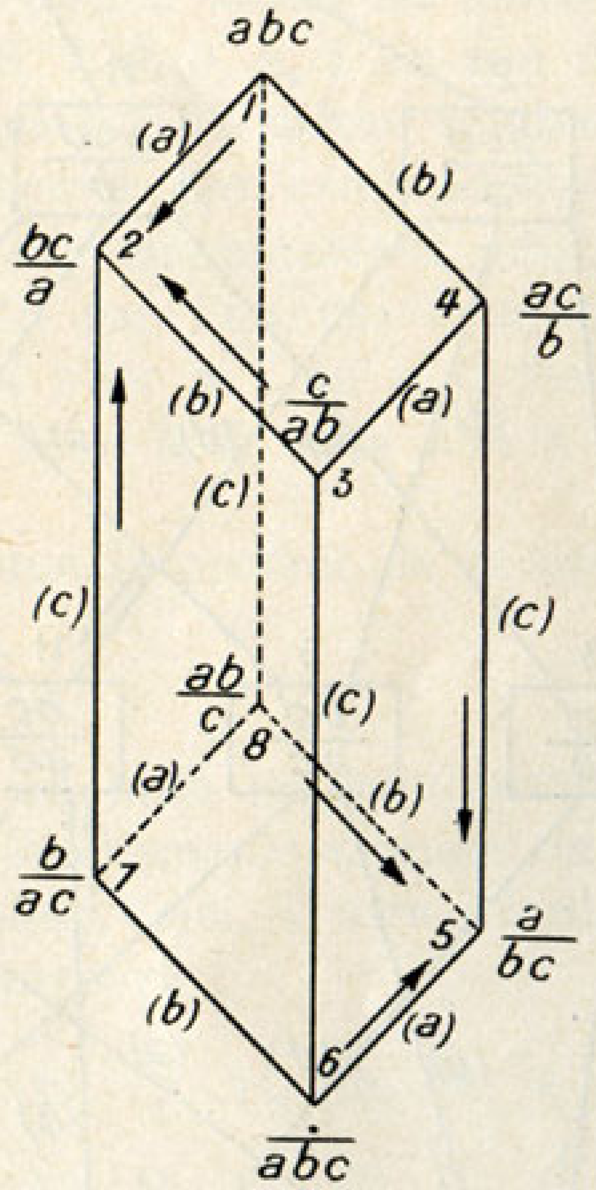


FIG. 114.

P. Soit $\frac{ab}{cd} \times \frac{mn}{ab} = \frac{mn}{cd}$ (a) et $\frac{mn}{cd}$ (b).

De $\frac{ab}{cd}$ on tire $\frac{b}{cd}$ (a), $\frac{a}{cd}$ (b).

De $\frac{mn}{ab}$ on tire $\frac{mn}{b}$ (a), $\frac{mn}{a}$ (b).

La multiplication de $\frac{b}{cd}$ (a) par $\frac{mn}{b}$ (a) donne $\frac{mn}{cd}$ (a) et la multiplication de $\frac{a}{cd}$ (b) par $\frac{mn}{a}$ (b) donne $\frac{mn}{cd}$ (b).

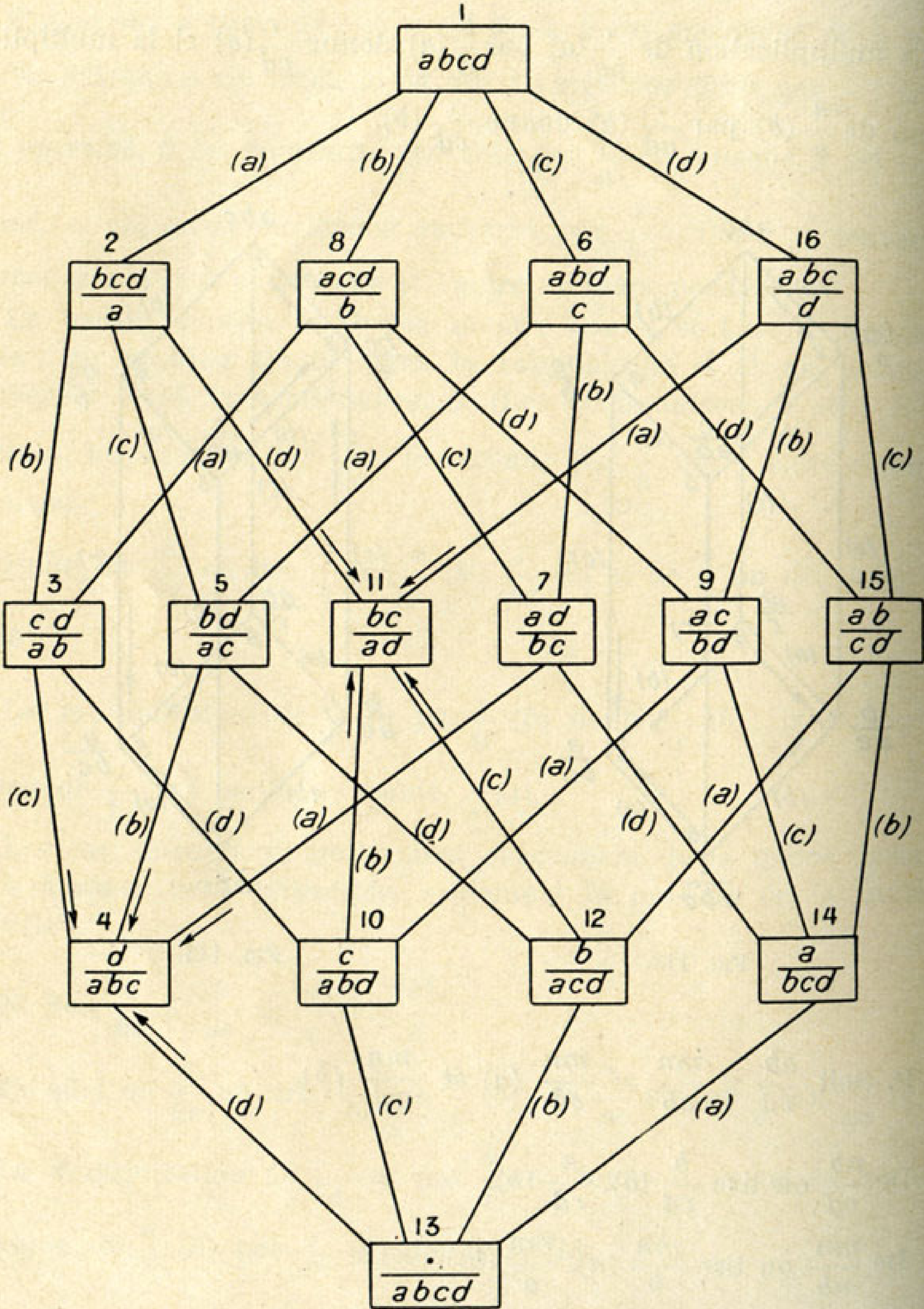

1
abcd
(a)
(b)
(c)
(d)
2
bcd/a
8
acd/b
6
abd/c
16
abc/d
3
cd/ab
5
bd/ac
11
bc/ad
7
ad/bc
9
ac/bd
15
ab/cd
4
d/abc
10
c/abd
12
b/acd
14
a/bcd
13
·/abcd

FIG. 115.

III. — La multiplication algébrique des deux formules fait disparaître trois symboles de leviers ou plus.

Q. Soit $\frac{a}{bc} \times \frac{bc}{a} \equiv$ néant. (Voir fig. 114).

Le parallélipipède de Perrin montre que les combinaisons 5 et 2 sont interdites, ce que l'on savait par avance.

Mais il montre aussi que l'on peut former toutes les autres combinaisons en parcourant le cycle 1, 8, 7, 6, 3, 4, 1 ou son inverse 1, 4, 3, 6, 7, 8, 1 sans passer deux fois par la même combinaison. On remarque également que de chacune des combinaisons permises on ne peut passer qu'à deux des combinaisons adjacentes; l'accès de la troisième restant interdit par l'un des deux enclenchements donnés. Ainsi de 1 on peut aller à 4 ou à 8, mais non à 2; de même de 6 on peut aller à 3 ou à 7, mais non à 5, etc.

R. Soit $\frac{bc}{ad} \times \frac{d}{abc} \equiv$ néant, bien que le produit de la multiplication algébrique soit $\frac{\bullet}{a}$ (fig. 115).

Si, sur le diagramme de Perrin, on biffe les combinaisons 11 et 4 qui correspondent aux deux enclenchements donnés, on constate que toutes les autres sont possibles. Voici, à titre d'indication, deux cycles qui permettent de les parcourir :

1, 2, 3, 8, 7, 6, 5, 12, 13, 10, 9, 14, 15, 16, 1.

1, 2, 5, 6, 7, 8, 3, 10, 13, 12, 15, 14, 9, 16, 1.

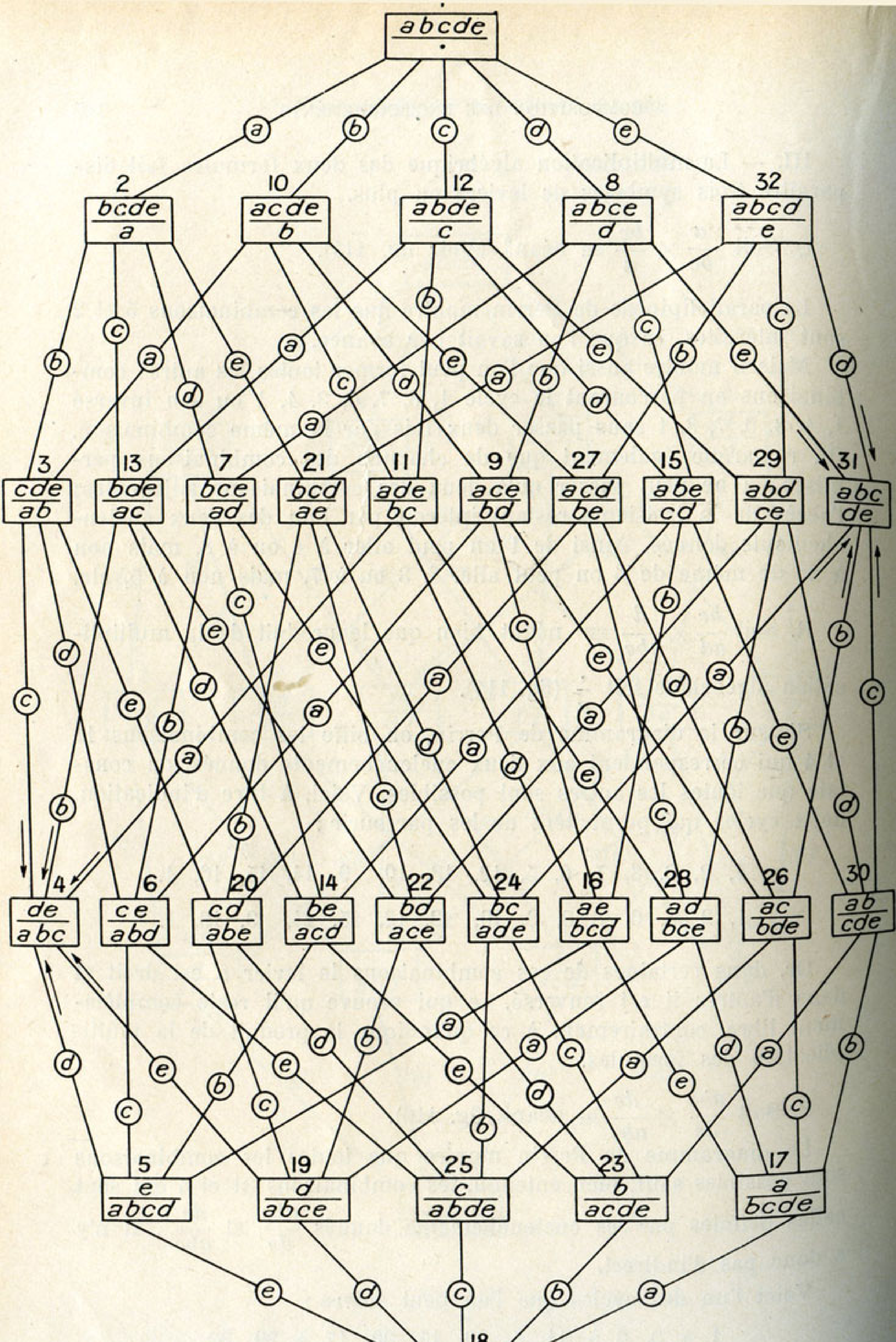
Or, dans certaines de ces combinaisons le levier a est droit et dans d'autres il est renversé, ce qui prouve qu'il reste complètement libre, contrairement à ce qu'indique le produit de la multiplication des formules.

S. Soit $\frac{abc}{de} \times \frac{de}{abc} \equiv$ néant (fig. 116).

Le diagramme de Perrin montre que toutes les combinaisons sont possibles sauf, bien entendu, les combinaisons 31 et 4 qui sont celles définies par les enclenchements donnés $\frac{abc}{de}$ et $\frac{de}{abc}$. Il n'y a donc pas d'indirect.

Voici l'un des cycles que l'on peut suivre :

1 à 3, 6 à 14, 5, 16, 15, 30, 17 à 29, 32.



abcde
2
bcde/a
10
acde/b
12
abde/c
8
abce/d
32
abcd/e
3
cde/ab
13
bde/ac
7
bce/ad
21
bcd/ae
11
ade/bc
9
ace/bd
27
acd/be
15
abe/cd
29
abd/ce
31
abc/de
4
de/abc
6
ce/abd
20
cd/abe
14
be/acd
22
bd/ace
24
bc/ade
16
ae/bcd
28
ad/bce
26
ac/bde
30
ab/cde
5
e/abcd
19
d/abce
25
c/abde
23
b/acde
17
a/bcde
18
abcde

FIG. 116.

T. Soit $\frac{abc}{de} \times \frac{\cdot}{abcde} \equiv$ néant, bien que le produit de la multiplication algébrique soit $\frac{\cdot}{de}$.

Après avoir biffé sur le diagramme de Perrin les combinaisons 31 et 18 qui correspondent aux enclenchements donnés, on constate que toutes les autres sont possibles et qu'on peut les former successivement de plusieurs manières et notamment dans l'ordre suivant :

1 à 17, 28, 19 à 27, 32, 29, 30.

Or, en parcourant ce cycle on est passé par les combinaisons 24, 26, 30, 25, 23 et 17 dans lesquelles les leviers *d*, *e*, sont simultanément renversés; il n'y a donc pas d'indirect entre eux, contrairement à ce qu'indique le produit de la multiplication des formules.

73. Règles pour la recherche des enclenchements indirects. — Nous avons terminé la discussion de tous les cas possibles de composition de deux enclenchements ayant au plus un seul symbole de levier en mouvement. Nous allons énoncer la règle qui découle de cette discussion, ainsi que celle relative au cas de formules d'enclenchements en nombre indéterminé comportant chacune un levier différent en mouvement.

Première règle. — Cas de deux formules.

a) Lorsque la multiplication algébrique de deux formules d'enclenchements fait disparaître du produit un seul symbole de levier, ce produit est la formule d'un enclenchement indirect *à la condition de ne contenir au plus qu'un symbole de levier en mouvement.*

b) Lorsque la multiplication algébrique de deux formules d'enclenchements *ne contenant pas de levier en mouvement* fait disparaître du produit deux symboles, on obtient deux formules d'enclenchements indirects de mouvement. La formule de l'un de ces indirects se compose du produit algébrique et du symbole entre parenthèses de l'un des leviers disparus; la formule de l'autre indirect se compose également du produit algébrique auquel on ajoute le symbole entre parenthèses de l'autre levier disparu $\left(\text{exemple : } \frac{a}{bc} \times \frac{b}{a} \equiv \frac{(a)}{c} \text{ et } \frac{(b)}{c}\right)$.

c) Lorsque la multiplication algébrique de deux formules d'enclenchements contenant au plus un symbole de levier en mouvement fait disparaître trois symboles de leviers ou davantage, la formule du produit ne correspond à aucun enclenchement indirect.

Deuxième règle. — Cas de formules en nombres quelconques comportant chacune un levier différent en mouvement.

Etant donné un système de *n* formules d'enclenchements entre *n* leviers, comportant *chacune un levier différent en mouvement* et tel que l'ensemble des formules du système contienne aussi comme en repos *tous les leviers et ceux-là seuls* qui y figurent comme en mouvement, on forme la fraction $\frac{N}{D}$ ayant respectivement comme numérateur et dénominateur les plus petits multiples communs des numérateurs et des dénominateurs de toutes les formules du système. Sous la seule condition que la fraction ne soit pas susceptible de réduction par suppression d'un ou de plusieurs symboles communs à ses deux termes, il suffit d'y effacer tous les symboles de leviers en mouvement pour obtenir :

d) la formule d'un enclenchement indirect de position, si le système ne contient pas d'*enclenchement élémentaire;*

e) la formule d'un autoenclenchement (1), si le système donné ne contient que *des enclenchements élémentaires* (2) ou bien s'il est formé d'un mélange d'enclenchements de mouvement avec au moins un *enclenchement élémentaire.*

f) Lorsque la fraction $\frac{N}{D}$ a un ou plusieurs symboles communs à ses deux termes et que le système comporte au moins un *enclenchement élémentaire,* il faut, avant de conclure à l'inexistence d'un indirect, inverser dans la formule de chaque *enclenchement élémentaire* la position du levier qui y figure en repos et en mouvement; puis, le système ayant été ainsi revisé, on forme une nouvelle fraction $\frac{N'}{D'}$ dont les termes sont respectivement les plus petits multiples communs des numérateurs et des dénominateurs de toutes les formules de ce système. Si la fraction $\frac{N'}{D'}$ n'a plus de symboles communs à ses deux termes, il suffit d'y biffer tous les symboles

(1) M. Perrin appelle autoenclenchement une combinaison réalisable et qui, une fois réalisée, est indestructible, parce que tous les leviers qui y figurent restent définitivement immobilisés; c'est évidemment l'indice d'une erreur dans l'établissement du système.

(2) Il n'est pas nécessaire que la formule de chaque enclenchement élémentaire comprenne les *n* symboles de leviers; elle peut en comporter un nombre moindre et même deux seulement.

de leviers en mouvement pour obtenir la formule d'un enclenchement indirect de position; mais s'il existe encore des symboles communs aux deux termes de la fraction $\frac{N'}{D'}$, il n'y a pas d'indirect.

74. Exemples. — Les exemples suivants feront comprendre la façon d'appliquer cette seconde règle.

Prenons d'abord des systèmes ne contenant pas d'enclenchement élémentaire.

Soit $\frac{(b)}{a} \times b\,(a) \equiv \frac{b}{a}$. (Voir fig. 117).

Le losange de Perrin montre qu'en effet la combinaison 2 est inaccessible et que par suite l'enclenchement résultant est bien $\frac{b}{a}$;

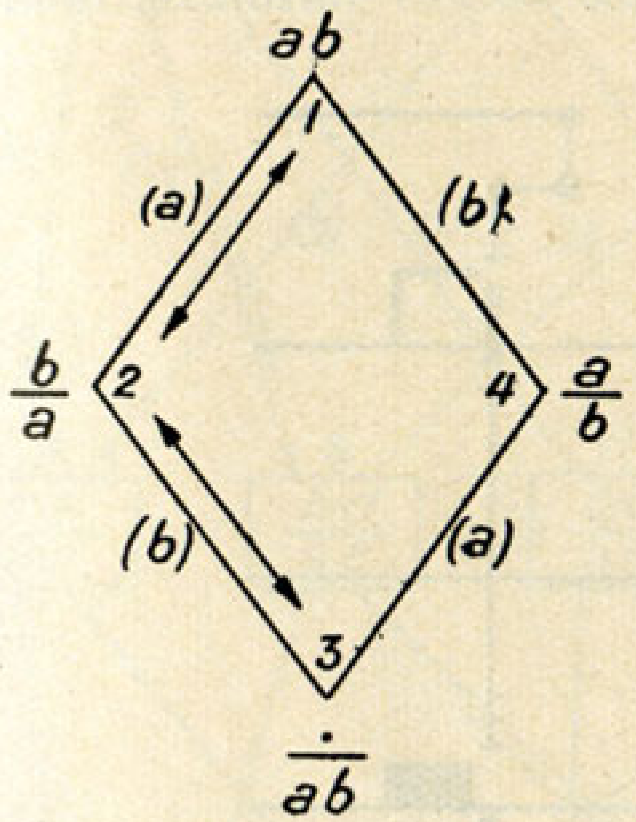


FIG. 117.

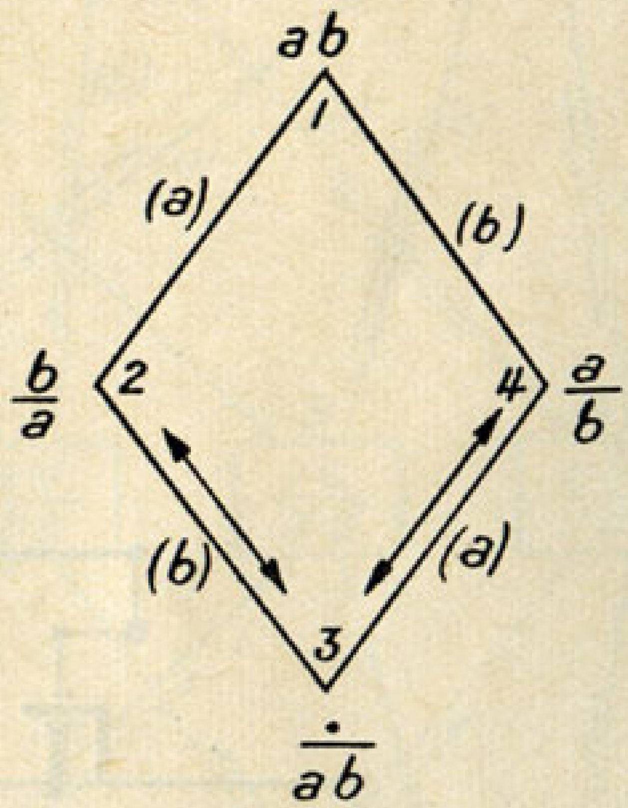


FIG. 118.

on l'obtient en supprimant du produit les symboles de leviers en mouvement.

C'est le moment de faire remarquer que l'on fait ici l'opération inverse de celle qui a consisté à transformer un enclenchement de position quelconque en autant d'enclenchements de mouvement qu'il comporte de leviers, pour la détermination de l'enclenchement indirect dans le cas de la disparition de deux symboles de leviers du produit de la multiplication des formules de deux enclenchements.

Soit $\frac{(b)}{a} \times \frac{(a)}{b} \equiv \frac{\cdot}{ab}$. (Voir fig. 118).

Le losange de Perrin montre que la combinaison 3 est exclue.

Il suffit de faire disparaître du produit les symboles de leviers en mouvement pour obtenir l'indirect $\frac{\cdot}{ab}$.

Soit : $a\,(b) \times b\,(c) \times \frac{\cdot}{c}\,(d) \times \frac{\cdot}{d}\,(a) \equiv \frac{ab}{cd}$.

Soit : $\frac{a}{c}\,(b) \times \frac{b}{d}\,(c) \times \frac{b}{c}\,(d) \times \frac{\cdot}{cd}\,(a) \equiv \frac{ab}{cd}$.

Soit : $\frac{a}{cd}\,(b) \times \frac{ab}{d}\,(c) \times \frac{ab}{c}\,(d) \times \frac{b}{cd}\,(a) \equiv \frac{ab}{cd}$.

Chacun de ces trois systèmes donne le même indirect, comme on peut facilement le vérifier sur le diagramme de Perrin (fig. 120).

Tout système mixte formé de quatre de ces formules, dont une

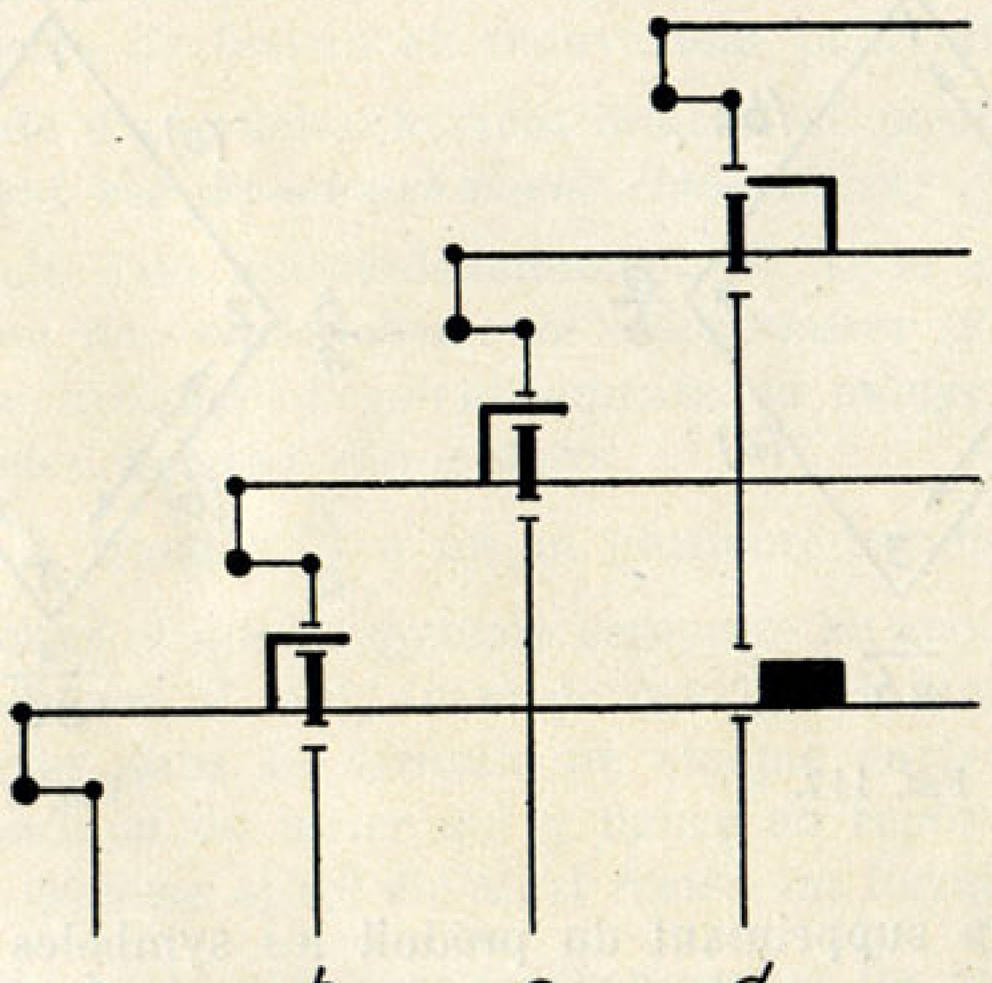


FIG. 119.

serait prise dans chacune des quatre colonnes sur n'importe quelle ligne, donnerait aussi $\frac{ab}{cd}$ comme indirect.

La figure 119 montre que le système $a\,(b)$, $b\,(c)$, $\frac{\cdot}{c}\,(d)$, $\frac{\cdot}{d}\,(a)$ donne le moyen de remplacer un quaternaire de position par quatre bianires de mouvement. On trouvera aisément sur le diagramme de Perrin l'ordre dans lequel les leviers doivent être manipulés pour former chacune des combinaisons 6, 16, 14 et 12 adjacentes à la combinaison 15 interdite.

On forme la combinaison 6 $\left(\frac{abd}{c}\right)$ en suivant l'itinéraire 1, 2, 3, 4, 5 et 6.

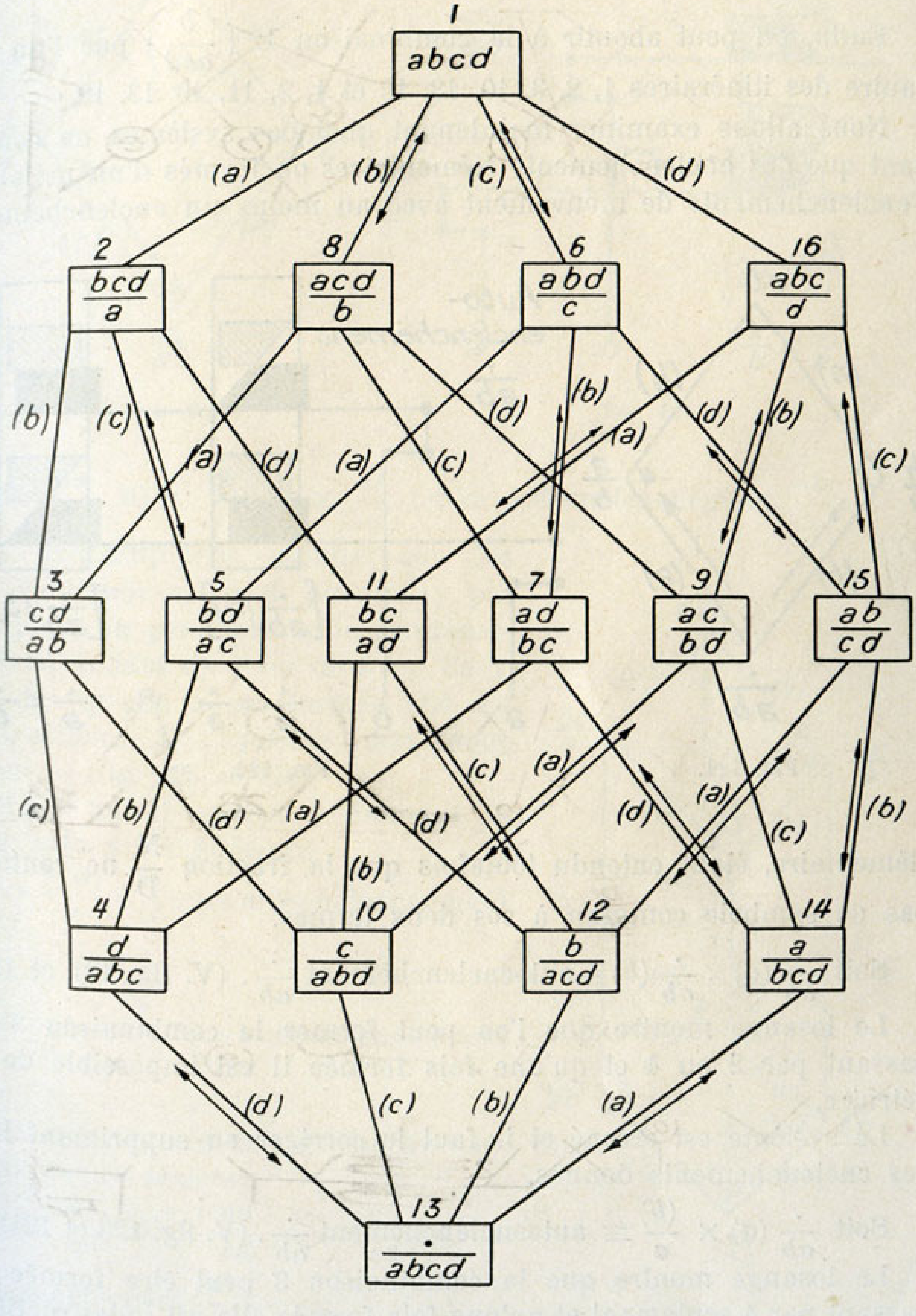


FIG. 120.

La combinaison 16 $\left(\frac{abc}{d}\right)$ se forme en venant directement de 1.

On ne peut accéder à la combinaison 14 $\left(\frac{a}{bcd}\right)$ qu'en suivant l'itinéraire 1, 2, 3, 8, 9, 14.

Enfin, on peut aboutir à la combinaison 12 $\left(\frac{b}{acd}\right)$ par l'un ou l'autre des itinéraires 1, 2, 3, 10, 13, 12 et 1, 2, 11, 10 13, 12.

Nous allons examiner maintenant quelques systèmes ne contenant que des enclenchements élémentaires ou formés d'un mélange d'enclenchements de mouvement avec au moins un enclenchement

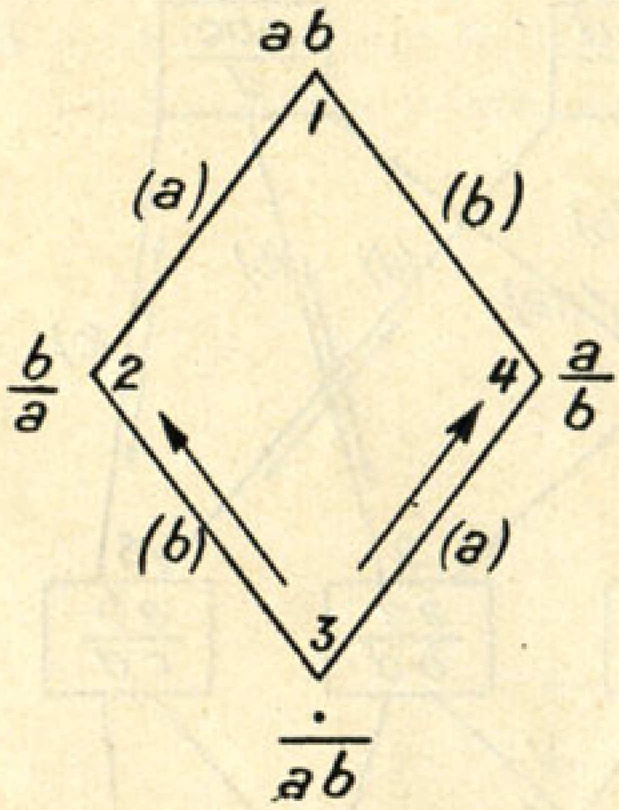


Fig. 121.

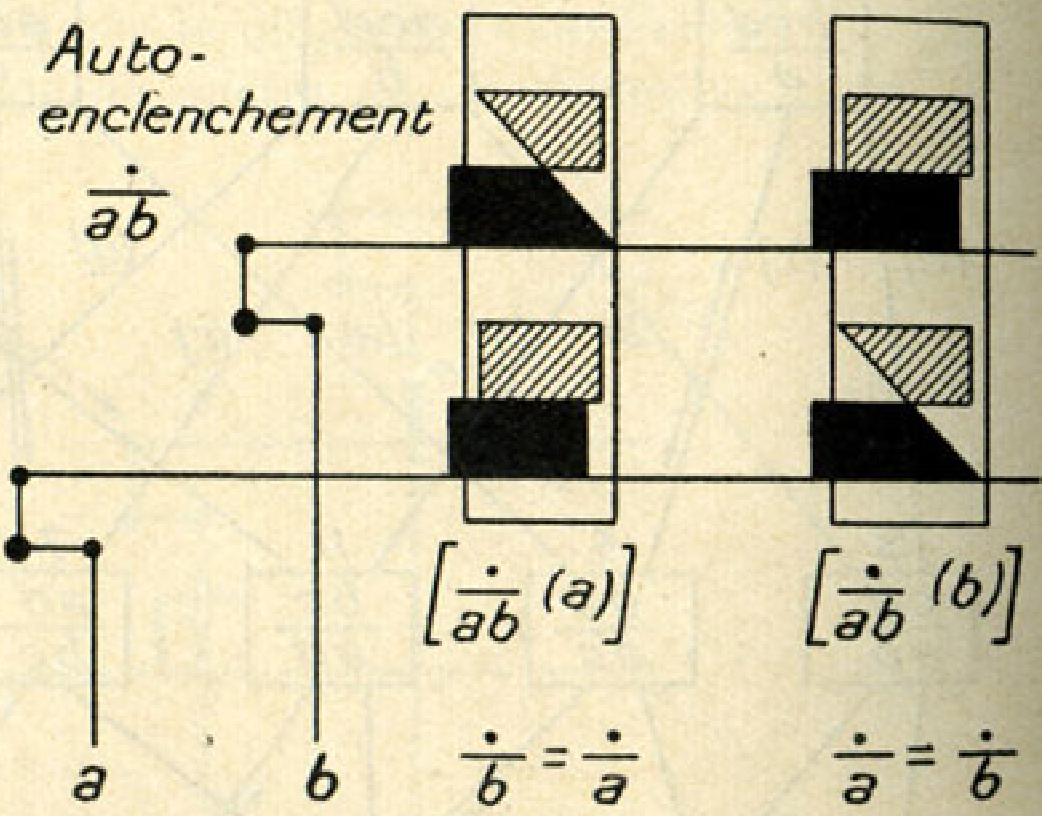


Fig. 122.

élémentaire, étant entendu toutefois que la fraction $\frac{N}{D}$ ne contient pas de symbole commun à ses deux termes.

Soit $\frac{\cdot}{ab}(a)\times\frac{\cdot}{ab}(b)\equiv$ autoenclenchement $\frac{\cdot}{ab}$. (V. fig. 121 et 122).

Le losange montre que l'on peut former la combinaison 3 en passant par 2 ou 4 et qu'une fois formée il est impossible de la détruire.

Le système est erroné et il faut le corriger en supprimant l'un des enclenchements donnés.

Soit $\frac{\cdot}{ab}(a)\times\frac{(b)}{a}\equiv$ autoenclenchement $\frac{\cdot}{ab}$. (V. fig. 123 et 124).

Le losange montre que la combinaison 3 peut être formée en passant par 4 seulement et qu'une fois formée elle est indestructible.

La conclusion est la même que celle de l'exemple précédent : il faut supprimer l'un des enclenchements donnés.

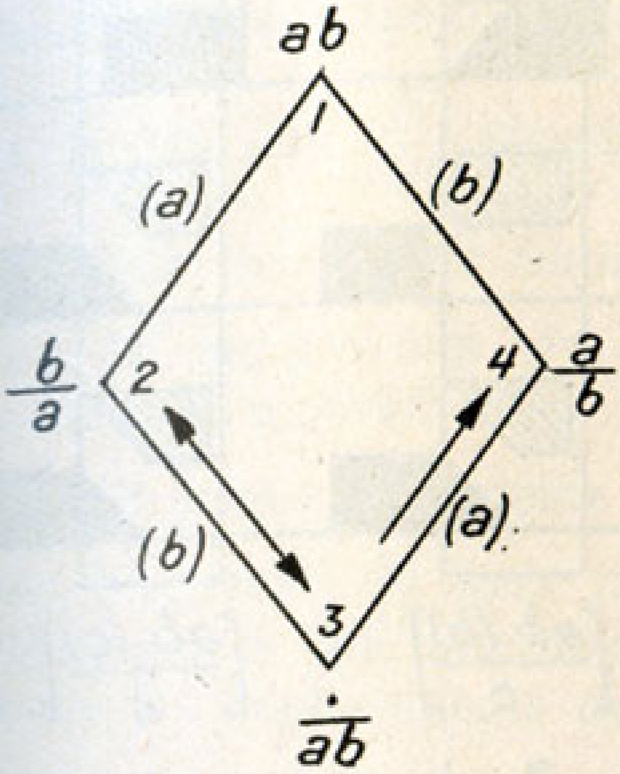


FIG. 123.

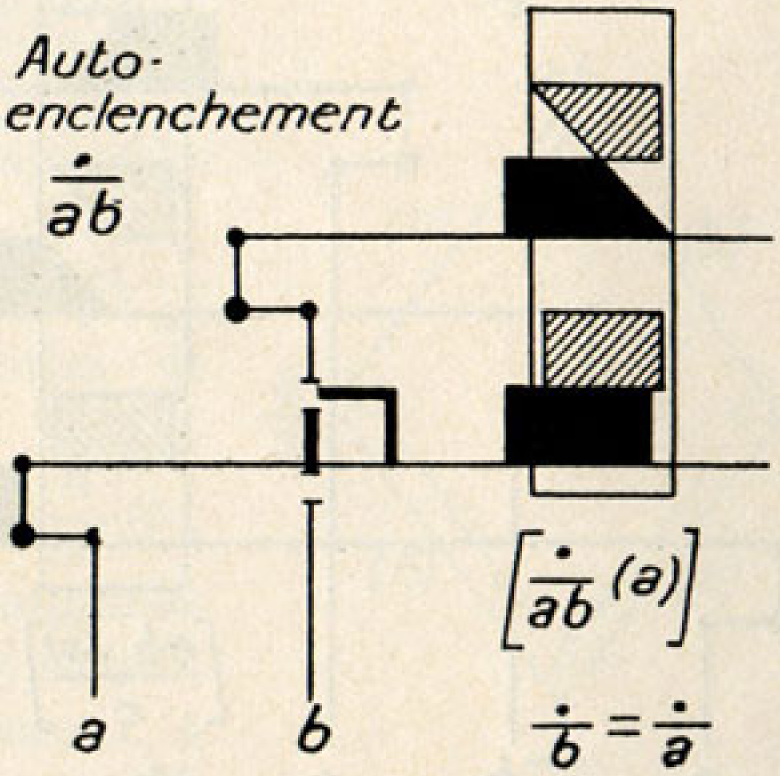


FIG. 124.

Soit $\frac{ab}{c}\,(a) \times \frac{ab}{c}\,(b) \times \frac{ab}{c}\,(c) \equiv$ autoenclenchement $\frac{ab}{c}$.

Le parallélipipède montre que les huit combinaisons sont possibles; par conséquent on peut former la combinaison 8 en venant de 1 ou de 5 ou de 7. Mais dès qu'elle a été formée elle est indestructible. Le système doit donc être revisé (fig. 125 et 126).

Voici d'autres systèmes donnant le même autoenclenchement :

$ab\,(a) \times \frac{b\,(b)}{c} \times \frac{a}{c}\,(c) \equiv$ autoenclenchement $\frac{ab}{c}$.

$b\,(a) \times \frac{\cdot}{c}\,(b) \times \frac{a}{c}\,(c) \equiv$ autoenclenchement $\frac{ab}{c}$.

Voici maintenant des systèmes comportant quatre leviers :

$\frac{ab}{cd}\,(a) \times \frac{ab}{cd}\,(b) \times \frac{ab}{cd}\,(c) \times \frac{ab}{cd}\,(d) \equiv$ autoenclenchement $\frac{ab}{cd}$.

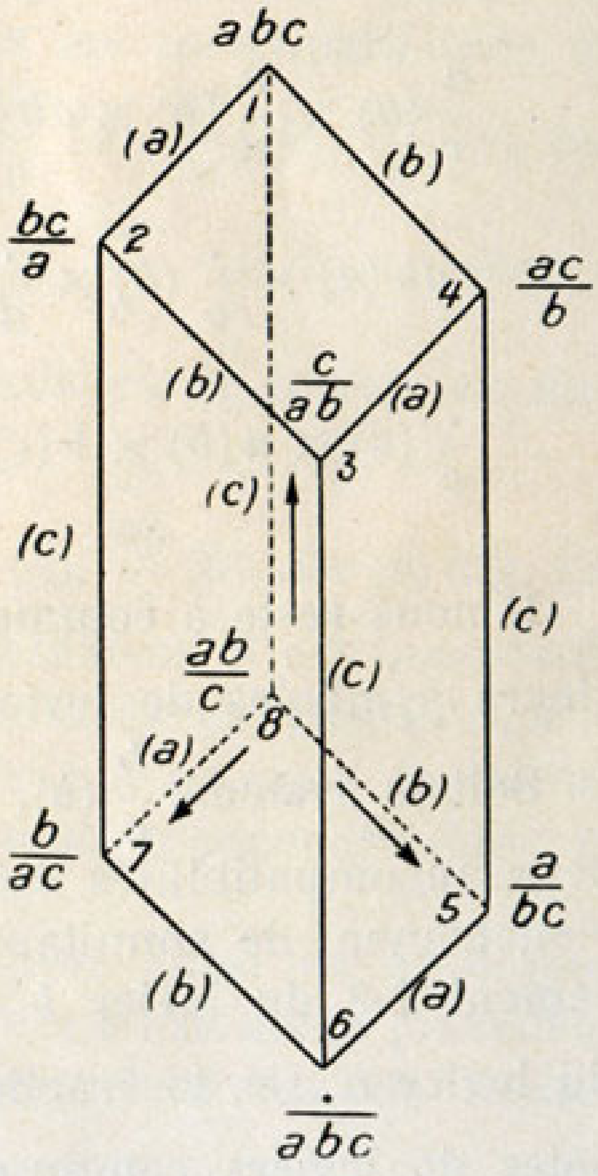


FIG. 125.

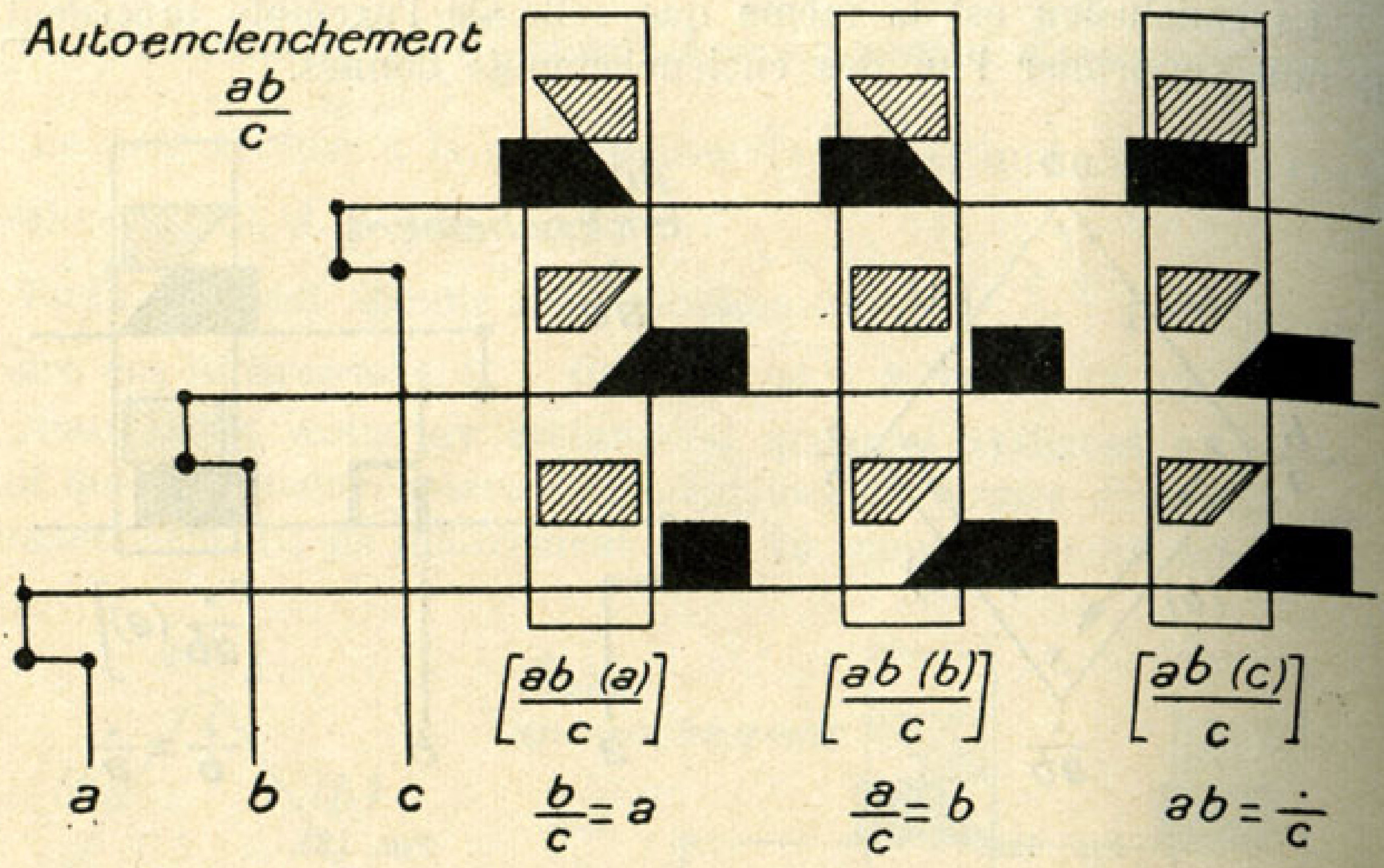


FIG. 126.

$$\frac{ab}{cd}\,(a) \times a\,(b) \times b\,(c) \times \frac{\cdot}{c}\,(d) \equiv \text{autoenclenchement } \frac{ab}{cd}.$$

$$\frac{a}{c}\,(a) \times \frac{a}{d}\,(b) \times ab\,(c) \times \frac{b}{c}\,(d) \equiv \text{autoenclenchement } \frac{ab}{cd}.$$

$$ab\,(a) \times \frac{\cdot}{c}\,(b) \times \frac{\cdot}{d}\,(c) \times b\,(d) \equiv \text{autoenclenchement } \frac{ab}{cd}.$$

$$\frac{\cdot}{c}\,(a) \times a\,(b) \times b\,(c) \times \frac{a}{cd}\,(d) \equiv \text{autoenclenchement } \frac{ab}{cd}.$$

Il nous reste à commenter le cas où la fraction $\frac{\mathrm{N}}{\mathrm{D}}$ a un ou plusieurs symboles de leviers communs à ses deux termes.

Soit le système $\frac{b}{a}\,(b)$, $\frac{a}{b}\,(a)$ qui, on se le rappelle, représente les deux incompatibilités élémentaires dont l'association produit l'enclenchement de simultanéité, puisque la première interdit le déplacement 2-3 du levier b et la seconde interdit le déplacement 4-3 du levier a. Or, la fraction $\frac{\mathrm{N}}{\mathrm{D}}$ est ici : $\frac{ba}{ab}\,(b)\,(a)$; elle a deux symboles de leviers communs à ses deux termes. Avant de conclure à l'inexistence d'un indirect, il faut inverser dans la formule de chaque enclenchement élémentaire la position du levier qui y figure en repos et en mouvement; par cette opération les deux formules deviennent $\frac{\dot{}}{ab}$ (b) et $\frac{\dot{}}{ab}$ (a) et la fraction $\frac{N'}{D'}$ correspondante est : $\frac{\dot{}}{ab}$ $(b)\,(a)$ qui donne comme indirect $\frac{\dot{}}{ab}$ par la suppression des symboles de leviers en mouvement.

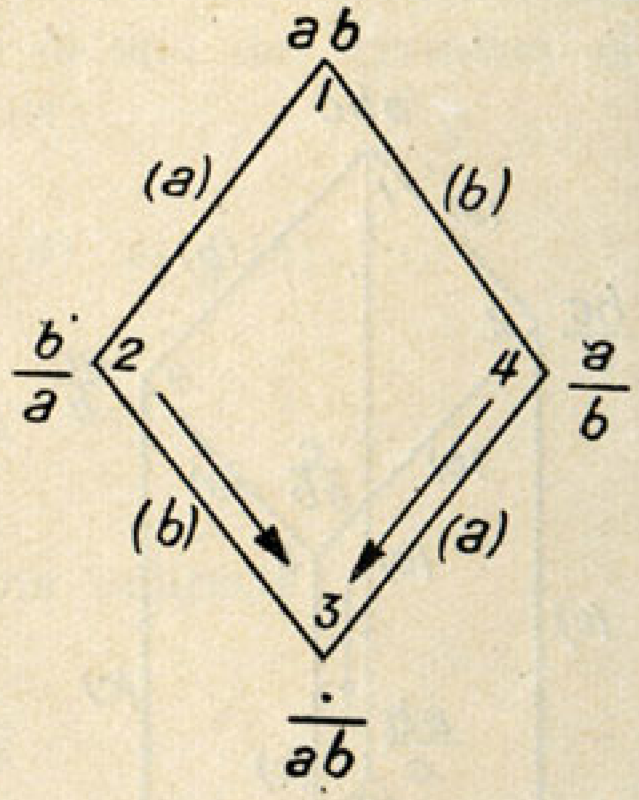


FIG. 127.

Soit encore le système $\frac{b}{ac}$ (a), $\frac{a}{bc}$ (b), abc (c) formé de trois incompatibilités élémentaires qui interdisent respectivement les déplacements des leviers a, b et c qui conduisent à la combinaison $\frac{ab}{c}$ (fig. 125).

La fraction $\frac{N}{D}$ est $\frac{abc}{abc}$ $(a)\,(b)\,(c)$; elle a trois symboles de leviers communs à ses deux termes. Il faut donc la transformer en inversant la position des leviers qui figurent en repos et en mouvement dans les incompatibilités élémentaires. On obtient ainsi le système $\frac{ab}{c}$ (a), $\frac{ab}{c}$ (b), $\frac{ab}{c}$ (c), avec lequel on forme la fraction $\frac{N'}{D'}$ que voici : $\frac{ab}{c}$ $(a)\,(b)\,(c)$, dont on tire l'indirect $\frac{ab}{c}$ par suppression des symboles de leviers en mouvement.

Considérons maintenant le système $\frac{b}{ac}$ (a), $\frac{ab}{c}$ (b), abc (c) (fig. 128).

Le parallélipipède montre que la combinaison 8 est inaccessible en venant de 1 ou de 7 et qu'elle est faisable en passant par 5; il fait voir également qu'après avoir formé 8 on peut la détruire en passant par 1 ou par 7. Le système donné n'engendre donc pas d'indirect.

Toutefois, il est bon de nous en assurer aussi en appliquant, comme nous venons de le faire dans les deux exemples précédents, la seconde règle de composition des enclenchements, de façon à avoir la preuve de son exactitude.

Formons donc la fraction $\frac{N}{D}$ correspondant au système $\frac{b}{ac}$ (a),

$\frac{ab}{c}$ (b), abc (c) ; la voici $\frac{abc}{ac}$ (a) (b) (c). Comme elle comporte au moins un symbole commun à ses deux termes, nous devons inverser la position des leviers qui figurent en repos et en mouvement dans les incompatibilités élémentaires données et nous obtenons le nouveau système $\frac{ab}{c}(a)$, $\frac{a}{bc}$ (b), $\frac{ab}{c}(c)$ avec lequel nous formerons la fraction $\frac{N'}{D'} \equiv \frac{ab}{bc}$ (a) (b) (c).

Cette nouvelle fraction ayant aussi un symbole commun à ses deux termes, on est en droit d'affirmer que le système donné ne comporte pas d'indirect.

Pour bien familiariser le lecteur avec l'application de la deuxième règle, voici encore quelques systèmes pour lesquels la fraction $\frac{N}{D}$ a un ou plusieurs symboles communs :

$$\frac{b}{acd}\ (a);\quad \frac{a}{bcd}\ (b);\quad \frac{abc}{d}\ (c);\quad \frac{abd}{c}\ (d).$$

$$\frac{N}{D} \equiv \frac{abcd}{abcd}\ (a)\,(b)\,(c)\,(d).$$

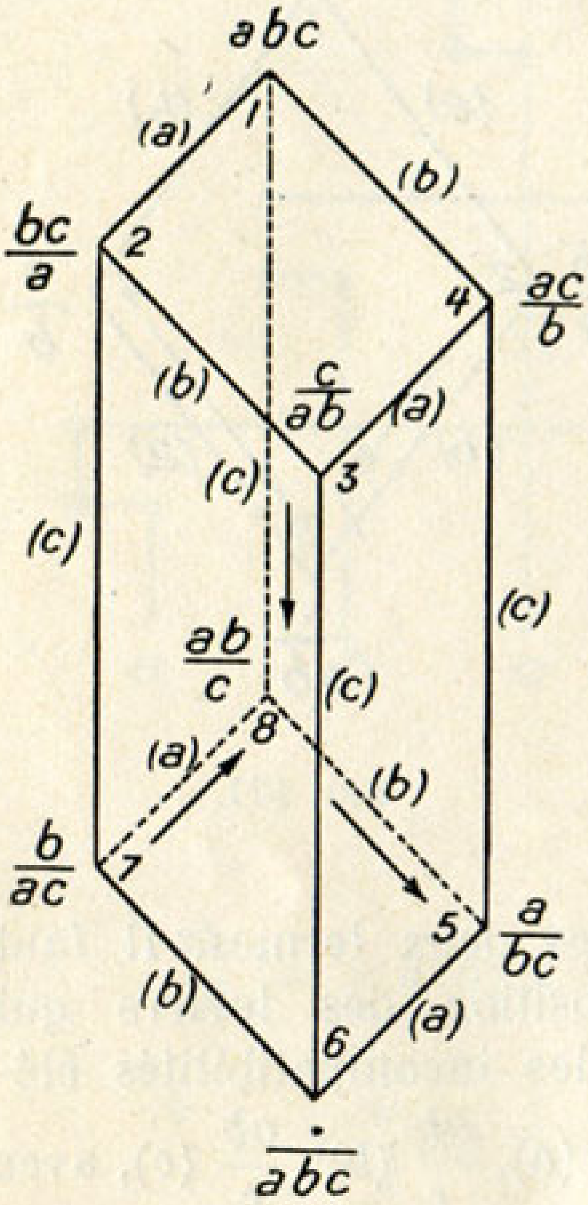


FIG. 128.

$$\frac{b}{acd}\ (a);\quad a\,(b);\quad b\,(c);\quad \frac{\cdot}{c}\ (d).\quad \frac{N}{D} \equiv \frac{ab}{acd}\ (a)\,(b)\,(c)\,(d).$$

$$\frac{b}{a}\ (a);\quad \frac{a}{cd}\ (b);\quad \frac{ac\,(c)}{d};\quad \frac{ab}{c}\ (d).\quad \frac{N}{D} \equiv \frac{abc}{acd}\ (a)\,(b)\,(c)\,(d).$$

Après inversion de la position du levier en repos, on obtient respectivement :

$$\frac{ab}{cd}\,(a);\ \frac{ab}{cd}\,(b);\ \frac{ab}{cd}\,(c);\ \frac{ab}{cd}\,(d).\ \frac{N'}{D'} \equiv \frac{ab}{cd}\,(a)\,(b)\,(c)\,(d);\ \text{indirect}\ \frac{ab}{cd}.$$

$$\frac{ab}{cd}\,(a);\ a\,(b);\ b\,(c);\ \frac{\cdot}{c}\,(d).\ \frac{N'}{D'} \equiv \frac{ab}{cd}\,(a)\,(b)\,(c)\,(d);\ \text{indirect}\ \frac{ab}{cd}.$$

$$ab\,(a);\ \frac{a}{cd}\,(b);\ \frac{a}{cd}\,(c);\ \frac{ab}{c}\,(d).\ \frac{N'}{D'} \equiv \frac{ab}{cd}\,(a)\,(b)\,(c)\,(d);\ \text{indirect}\ \frac{ab}{cd}.$$

Il est prudent de s'aider du diagramme de Perrin chaque fois que l'on se trouve en présence d'un cas embarrassant.

Il n'est pas inutile de remarquer que, parmi les enclenchements de mouvement qui entrent dans la composition des systèmes ci-dessus, il ne s'en trouve pas deux tels que :

$$b\,(c) \quad \text{et} \quad \frac{\cdot}{c}\,(b) \quad \text{ou bien} \quad b\,(d) \quad \text{et} \quad \frac{\cdot}{d}\,(b)$$

ou encore $$\frac{\cdot}{c}\,(d) \quad \text{et} \quad \frac{\cdot}{d}\,(c),$$

car ils donneraient respectivement comme indirects :

$$\frac{b}{c} \quad \text{ou} \quad \frac{b}{d} \quad \text{ou} \quad \frac{\cdot}{cd}$$

qui rendraient inutile le quaternaire $\dfrac{ab}{cd}$.

75. Remarque. — Ainsi donc un groupe de plusieurs enclenchements de mouvement se prêtant à l'application de la deuxième règle qui vient d'être étudiée peut former un indirect de position. Ce fait peut recevoir une application intéressante dans le cas où, par suite de l'usure ou de la déformation d'une pièce, un ou plusieurs des enclenchements élémentaires d'un conditionnel deviennent défaillants.

L'expérience démontre que, lorsque les ternaires et, à plus forte raison, les quaternaires et les quinaires ne sont pas réalisés à l'aide de taquets coulissants du type Stevens, il arrive un moment où certains enclenchements élémentaires perdent leur efficacité et permettent la formation de la combinaison qu'ils ont pour office d'interdire.

En pareil cas, il suffit de compléter chaque enclenchement élémentaire défaillant par un binaire de mouvement pour rétablir l'intégrité du conditionnel. Sur les tables Saxby, cette addition peut presque toujours se faire immédiatement par la pose du ou des taquets appropriés (1). On a alors tout le temps nécessaire pour effectuer la remise en état de la table d'enclenchements.

---

(1) On pourrait aussi réaliser ces binaires de mouvement à l'aide de serrures Bouré, mais ce procédé n'est pas à recommander, surtout dans les postes où les passages se succèdent à intervalles restreints, en raison de la surcharge de travail qu'imposerait aux aiguilleurs la manipulation de ces serrures.

Soit le ternaire $\frac{bc}{a}$ qui est formé par les trois enclenchements élémentaires : $\frac{b}{a} = \frac{\cdot}{c}$, $\frac{c}{a} = \frac{\cdot}{b}$ et $bc = a$.

En général, ce dernier enclenchement conserve son efficacité, alors que les deux autres ont perdu la leur; il en résulte que le levier a renversé cesse d'empêcher le redressement du levier b ou c qu'il avait fallu renverser avant lui pour le dégager de sa position droite. Il suffit d'établir les deux binaires de mouvement $\frac{(b)}{a}$ et $\frac{(c)}{a}$ pour empêcher ce redressement.

On a, en effet, les trois incompatibilités suivantes : $\frac{(c)}{a}$, $\frac{(b)}{a}$ et $abc\,(a)$, cette dernière correspondant à l'enclenchement élémentaire $bc = a$ qui, par hypothèse, est resté en bon état.

La fraction $\frac{\mathrm{N}}{\mathrm{D}}$ correspondant à ces éléments est : $\frac{abc}{a}\,(a)\,(b)\,(c)$.

La présence du symbole a au nominateur et au dénominateur de $\frac{\mathrm{N}}{\mathrm{D}}$ nous oblige à former la fraction $\frac{\mathrm{N}'}{\mathrm{D}'}$ qui est : $\frac{bc}{a}\,(a)\,(b)\,(c)$; d'où l'indirect $\frac{bc}{a}$. L'enclenchement initial $\frac{bc}{a}$ a donc retrouvé son efficacité.

Soit encore le quaternaire $\frac{ab}{cd}$.

Suivant le mode de réalisation, l'un des enclenchements élémentaires $\frac{ab}{d} = c$ et $\frac{ab}{c} = d$ conserve, en général, son efficacité, alors que l'autre ainsi que $\frac{a}{cd} = \frac{\cdot}{b}$ et $\frac{b}{cd} = \frac{\cdot}{a}$ deviennent défaillants.

Admettons que l'enclenchement $\frac{ab}{c} = d$ soit resté en bon état. Nous devons suppléer à l'insuffisance des trois enclenchements élémentaires $\frac{ab}{d} = c$, $\frac{a}{cd} = \frac{\cdot}{b}$ et $\frac{b}{cd} = \frac{\cdot}{a}$.

Nous le ferons en installant les trois binaires de mouvement : $\frac{(a)}{d}$, $\frac{(b)}{d}$ et $\frac{(c)}{d}$.

L'incompatibité correspondant à l'enclenchement élémentaire $\frac{ab}{c} = d$ est $\frac{abd}{c}(d)$.

Formons la fraction $\frac{N}{D}$; on obtient $\frac{abd}{cd}(a)(b)(c)(d)$.

La présence du symbole d au numérateur et au dénominateur nous oblige à former la fraction $\frac{N'}{D'}$ qui est : $\frac{ab}{cd}(a)(b)(c)(d)$, d'où l'indirect $\frac{ab}{cd}$ qui rétablit dans son intégrité l'enclenchement initial.