

ENCYCLOPÉDIE SCIENTIFIQUE DES AIDE-MÉMOIRE

COLLABORATEURS

Section du Biologiste

MM.	MM.	MM.
Arloing (S.).	Feulard.	Marie (A.).
Auvard.	Florent.	Martin (A.-J.).
Ballet (Gilbert).	Filhol (H.).	Maygrier.
Bar.	François-Franck (Ch.).	Mégnin (P.).
Barthélemy.	Gamaleia.	Merklen.
Baudouin.	Gariel.	Meyer.
Bazy.	Gérard-Marchant.	Napias.
Beauregard (H.).	Gilbert.	Nocard.
Bergé.	Girard (Aimé).	Olivier (Ad.).
Bergonié.	Girard (A.-Ch.).	Olivier (L.).
Bérillon.	Gley.	Ollier.
Berne (G.).	Gombault.	Patouillard.
Berthault.	Grancher.	Peraire.
Blanc (Louis).	Guerne (J. de).	Perrier (Edm.).
Blanchard (R.).	Hanot.	Peyrot.
Bonnaire.	Hartmann (H.).	Polin.
Brault.	Hébert (A.).	Pouchet (G.).
Brissaud.	Henneguy.	Pozzi.
Broca.	Hénocque.	Prillieux.
Brocq.	Heydenreich.	Quénu.
Brun.	Jacquet.	Reclus.
Brun (de).	Joffroy.	Retterer.
Budin.	Kœhler.	Roché (G.).
Castex.	Labit.	Roger (H.).
Catrin.	Landouzy.	Ruault.
Cazal (du).	Langlois (P.).	Séglas.
Chantemesse.	Lannelongue.	Segond.
Charrin.	Lapersonne (de).	Sérieux.
Chatin (J.).	Laulanié.	Spillmann.
Cornevin.	Lavarenne (de).	Straus.
Crouzat.	Laveran.	Talamon.
Cuénot (L.).	Lavergne.	Testut (Léo).
Dastre.	Layet.	Tissier.
Dehérain.	Le Dentu.	Thoulet (J.).
Delorme.	Legrain.	Trousseau.
Demelin.	Legroux.	Vallon.
Dubois (Raphaël).	Legry.	Viala.
Durand-Fardel.	Lermoyez (M.).	Viault.
Duval (Mathias).	Letulle.	Weill (J.).
Faisans.	L'Hôte.	Weiss (G.).
Féré.	Magnan.	Wurtz.
Fernbach (A.).	Marfan.	

ENCYCLOPÉDIE SCIENTIFIQUE

DES

AIDE - MÉMOIRE

PUBLIÉE

SOUS LA DIRECTION DE M. LÉAUTÉ, MEMBRE DE L'INSTITUT

KOEHLER — Les applications de la Photographie . 1

*Ce volume est une publication de l'Encyclopédie
scientifique des Aide-Mémoire ; F. Lafargue, ancien
élève de l'Ecole Polytechnique, Secrétaire général,
46, rue Jouffroy (boulevard Malesherbes), Paris.*

N° 63 A

ENCYCLOPÉDIE SCIENTIFIQUE DES AIDE-MÉMOIRE

PUBLIÉE SOUS LA DIRECTION

DE M. LÉAUTÉ, MEMBRE DE L'INSTITUT.

LES APPLICATIONS
DE LA PHOTOGRAPHIE
AUX SCIENCES NATURELLES

PAR

R. KOEHLER

Docteur ès sciences, Docteur en Médecine
Chargé d'un cours complémentaire de Zoologie
à la Faculté des Sciences de Lyon

PARIS

GAUTHIER-VILLARS ET FILS,

IMPRIMEURS-ÉDITEURS

Quai des Grands-Augustins, 55

G. MASSON, ÉDITEUR,

LIBRAIRE DE L'ACADÉMIE DE MÉDECINE

Boulevard Saint-Germain, 120

(Tous droits réservés)

AVANT-PROPOS

Les services que la photographie peut rendre aux sciences naturelles sont de deux ordres différents suivant qu'on l'emploie comme simple méthode de reproduction rapide et fidèle, ou qu'on en fait une véritable méthode de recherche et d'analyse scientifiques. Cette distinction répond au développement historique des applications de la photographie dans laquelle on ne vit pendant longtemps qu'un moyen commode d'obtenir la représentation des objets en histoire naturelle ; mais quelques années seulement nous séparent de l'époque où l'on commença à tirer parti de la merveilleuse sensibilité des plaques au gélatino-bromure d'argent pour suppléer à l'imperfection de nos sens et étudier certains phénomènes biologiques qui, par leur nature même, échappaient à tout autre méthode d'investigation.

Chacun connaît l'importance considérable du dessin en histoire naturelle. Les naturalistes doivent accompagner leurs descriptions de figures faites avec soin et représentant, avec une minutie, une fidélité religieuse en quelque sorte, l'objet étudié sans modifier en rien sa forme générale ni le moindre de ses détails. Sans doute un dessin bien fait, exécuté par l'auteur lui-même, remplit toutes les conditions nécessaires. Mais la représentation de certains objets pourra offrir quelques difficultés par suite de l'abondance et de la finesse de détails ; d'autres fois, il s'agira de fixer par le dessin des points de structure très controversés ou d'une importance considérable : le naturaliste pourra craindre alors qu'on ne mette en doute sa bonne foi ou l'exactitude de ses observations. Il trouvera alors fort commode de recourir à une méthode qui fournit, avec la même facilité et la même exactitude, la reproduction des objets les plus simples comme des plus compliqués, qui donnera de plus toutes les garanties, et cela avec une autorité indiscutable : c'est la photographie.

Je ne veux pas dire pour cela que la photographie doit remplacer et supplanter le dessin en histoire naturelle. Je crois même que la pho-

tographie de dissections ou de préparations histologiques remplacerait bien difficilement, dans les mémoires originaux, les dessins exécutés par l'auteur, car, si parfaites qu'elles soient, les épreuves photographiques seront toujours moins lisibles et moins nettes que les figures faites à la chambre claire. Mais il est indiscutable que la photographie, en tant que simple méthode de reproduction, peut et doit rendre aux naturalistes de grands services; la chose est trop évidente pour qu'il soit nécessaire d'insister sur ce point.

Mais il y a plus, et ce n'est pas seulement comme méthode permettant d'obtenir des représentations plus parfaites, plus exactes et plus rapides que le dessin ordinaire, que la photographie a droit de cité dans la science. L'œil humain est un instrument imparfait, susceptible de se fatiguer, auquel certaines choses échappent, soit pour des raisons purement physiques (finesse de structure, éclairage insuffisant), soit parce que l'observateur dirige son attention sur un seul point ou qu'il a des idées préconçues. L'œil photographique voit tout, sans fatigue comme sans partialité. La plaque sensible, a dit M. Janssen, est la rétine du savant; elle additionne les impressions qu'elle

reçoit, et là où notre œil ne voit rien parce que la quantité de lumière reçue est trop faible, la plaque photographique sera impressionnée si l'exposition est suffisante. D'autre part, cette plaque étant sensible à des radiations que notre œil ne peut percevoir à cause de leur faible longueur d'onde, elle est capable de nous déceler, en les rendant sensibles à nos sens, des détails qui, sans la photographie, nous seraient toujours restés inconnus. De plus, grâce à la sensibilité de l'émulsion au gélatino-bromure, la photographie peut saisir des phénomènes de très courte durée que notre œil ne saurait percevoir; la photographie instantanée permet d'obtenir des images des êtres en mouvement avec leurs attitudes, leurs formes et leurs gestes que la vitesse nous empêcherait d'étudier. Enfin, on conçoit qu'en disposant les appareils de manière à recueillir sur la plaque sensible une série d'images instantanées, prises à des intervalles très rapprochés, d'objets en mouvement, on puisse obtenir une série d'épreuves qui permettent d'étudier toutes les phases du mouvement. En fait, l'application de la photographie à l'étude des différents mouvements, et en particulier de la locomotion, a fourni aux physiologistes les plus brillants résultats.

Il ne sera pas question dans cet ouvrage d'applications qu'on pourrait appeler banales de la photographie. Il est incontestable que le zoologiste aura souvent avantage à photographier des squelettes, des sujets anthropologiques, des échantillons desséchés, des dissections, etc.; que le botaniste pourra obtenir la reproduction de plantes vivantes ou sèches, ou de certains organes de ces plantes; qu'enfin le géologue recueillera d'importants documents en photographiant des fossiles, des coupes ou des plis de terrain, des chaînes de montagnes, etc. De même le médecin aura tout intérêt à photographier certaines lésions dont il veut suivre l'évolution attentivement, ainsi que certaines attitudes vicieuses et les modifications provoquées dans le jeu de certains muscles par telle ou telle maladie. Ce sont là toutes des applications qui n'exigent aucune installation spéciale, bien que certains photographes aient cru devoir en inventer, et que tout savant pourra aisément réaliser, à condition de posséder un bon appareil et de savoir disposer convenablement les objets à photographier. Il y a en outre un côté artistique dont nous ne pouvons pas nous préoccuper ici. Nous n'étudierons donc que des applications plus spéciales, plus techniques que les

précédentes, qui exigent une installation, des appareils et des procédés particuliers, et qui, en outre, réclament, de la part de l'opérateur, des connaissances photographiques et surtout scientifiques très complètes.

Les applications les plus importantes de la photographie se rapportent à la microscopie et à la physiologie. Nous nous occuperons tout d'abord de la *microphotographie* qui exige des appareils microscopiques et photographiques très bien construits, des organes accessoires d'un maniement délicat, l'installation d'une source lumineuse devant réaliser des conditions déterminées, etc. Cette étude qui demandera certains développements fera l'objet de la première partie de ce livre. La deuxième partie comprendra l'exposé d'une série d'applications de la photographie à la physiologie. L'application la plus intéressante, comme aussi la plus importante, est la *chronophotographie*, ou l'art d'obtenir des images successives, à des intervalles connus, d'objets en mouvement. La chronophotographie tient même une place à part dans les sciences biologiques, aussi bien par les méthodes et les appareils spéciaux qu'elle exige que par l'importance des résultats qu'elle a donnés ; elle a cessé d'être une simple application de la photographie : c'est

une véritable branche de la physiologie. Dans un deuxième chapitre, nous étudierons les procédés qui permettent d'appliquer la photographie aux instruments enregistreurs dont se servent les physiologistes, et grâce auxquels on pourra obtenir des tracés supérieurs aux tracés ordinaires sur papier noirçi. Enfin, dans un dernier chapitre, nous nous occuperons des méthodes à employer pour photographier les cavités internes de l'organisme : œil, larynx, vessie, oreille, etc. ; de telles épreuves sont appelées à rendre service aussi bien aux médecins qu'aux physiologistes (1).

Il est bien entendu que ce livre traite exclusivement des applications de la photographie aux sciences naturelles, et qu'il ne saurait être question des méthodes spéciales à la photogra-

(1). J'ai laissé de côté la description de certains dispositifs ayant pour objet l'étude, à l'aide de la photographie, des courants sous marins, de la pénétration des rayons lumineux dans les eaux, des oscillations périodiques ou irrégulières du sol, etc. Cette étude qu'on peut, à la vérité, rapporter aux sciences naturelles comme appartenant à la géologie, rentre plutôt dans le domaine de la physique ou de la météorologie et la description des appareils qu'elle comporte sortirait du cadre de ce livre.

phie, pas plus que des procédés de recherche employés par les naturalistes. J'ai laissé de côté, de parti pris, tout ce qui concerne les opérations photographiques proprement dites : développement et fixage des clichés, tirage des positifs, etc., ainsi que la description des appareils photographiques. Je ne mentionnerai ces appareils et ces opérations que pour indiquer les modifications qu'on doit y apporter en vue de certaines applications scientifiques.

De même, je me suis dispensé de décrire les appareils microscopiques et leurs accessoires, ainsi que les instruments de physiologie dont les naturalistes connaissent l'usage, et je ne m'en suis occupé que pour rappeler les qualités qu'ils devaient posséder pour fournir de bonnes photographies. Je suppose le lecteur parfaitement au courant du maniement des instruments dont se servent les biologistes ; s'il n'est pas photographe, il pourra le devenir rapidement, et en tous cas, il n'aura que l'embaras du choix pour trouver un ouvrage à même de le guider.

Saint-Dié (Vosges), 15 septembre 1892.

PREMIÈRE PARTIE

MICROPHOTOGRAPHIE

I. APPAREILS

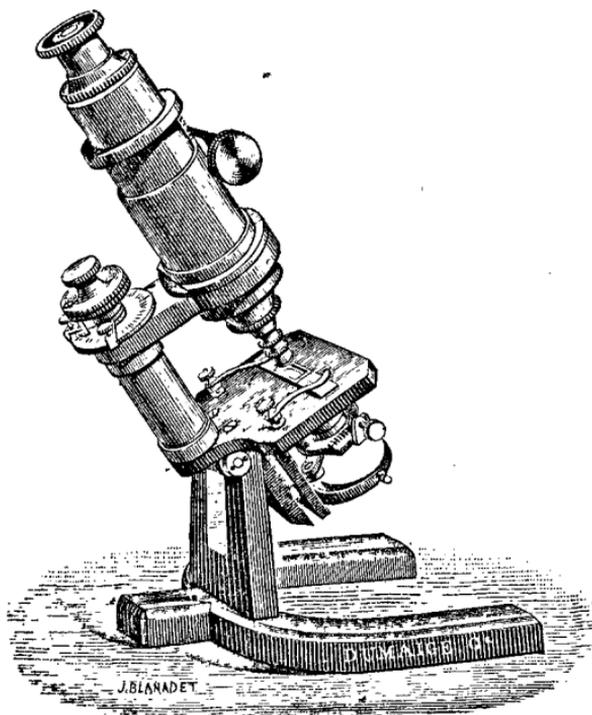
1. — Les personnes désireuses de faire de la microphotographie et qui disposeraient d'une somme considérable, deux ou trois mille francs, pour l'achat d'instruments, trouveront facilement chez les constructeurs les plus connus, des appareils à microphotographie complets. Mais je considère cette grosse dépense, que d'ailleurs peu de personnes feront volontiers, comme parfaitement inutile. Je ne reproduirai pas ici les dessins et les descriptions des différents appareils que construisent les opticiens ; je renvoie aux catalogues spéciaux le lecteur qui voudra se renseigner à cet égard. Avec une chambre noire ordinaire et un bon microscope, tout le monde peut installer facilement un appareil à photogra-

phie microscopique permettant d'obtenir d'aussi bonnes épreuves qu'un appareil complet très coûteux. Examinons rapidement les qualités qu'on devra exiger du microscope et de la chambre, et les conditions que devront présenter ces deux instruments, une fois réunis, pour constituer l'appareil à microphotographie.

2. Microscope. — Le microscope devra être solide et très stable, pourvu d'une crémaillère et d'un mouvement inclinant. Autant que possible, *son tube sera large*, car avec les tubes étroits ordinaires il est difficile d'éviter les réflexions sur les parois internes, tandis qu'on arrive à les supprimer d'une manière suffisante en disposant quelques diaphragmes dans l'intérieur d'un tube large. Dumaige et Zeiss fabriquent de ces tubes (*fig: 1*). L'intérieur du tube sera soigneusement noirci. On s'assurera également que l'axe de ce tube est rigoureusement perpendiculaire à la platine porte-objet; les microscopes ordinaires laissent souvent à désirer sous ce rapport et l'on devra corriger ce défaut. Cet axe doit en outre coïncider très exactement avec l'axe optique du microscope, et on vérifiera très attentivement le centrage de toutes les parties optiques du microscope : objectif, oculaire, condensateur. L'on écartera systématiquement toutes les dispositions

qui peuvent amener le décentrage de ces pièces : ainsi on renoncera à l'emploi du revolver ordinaire qu'il est impossible de centrer exactement.

Fig. 1

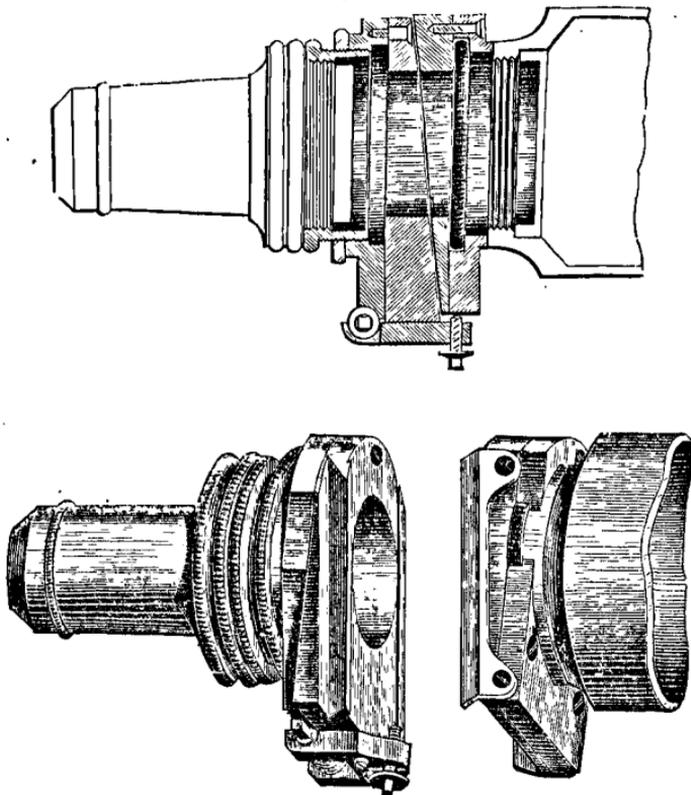


Si l'on veut changer rapidement les objectifs sans les dévisser chaque fois, on adaptera l'armature spéciale à coulisse construite par Zeiss

(fig. 2), qui conservera le centrage parfait, des objectifs ou le revolver spécial de Nachet.

Le microscope devra être pourvu d'une platine

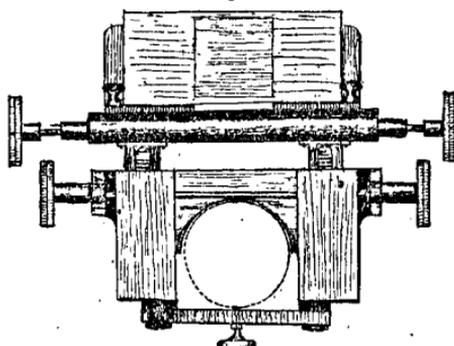
Fig. 2



mobile, permettant de faire mouvoir la préparation à l'aide de deux vis placées sur le côté

(fig. 3). Les microscopes ordinaires ne sont généralement pas pourvus de cette platine; mais cette pièce peut s'acheter séparément et rien n'est plus facile que de l'adapter au microscope photographique. On choisira un modèle dans lequel les vis qui commandent le mouvement se trouvent toutes deux du même côté, de manière à ce qu'on puisse les prendre simultanément

Fig. 3



dans une seule main pendant qu'avec l'autre on fait manœuvrer la vis micrométrique.

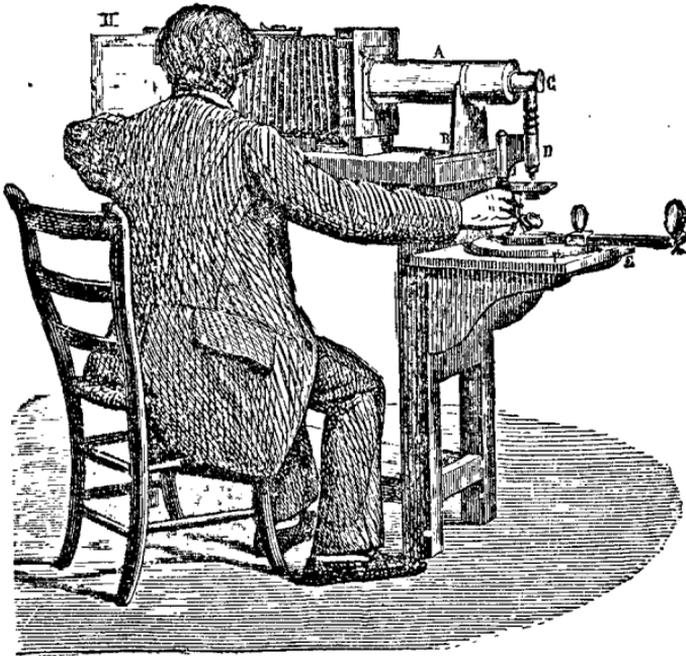
3. **Chambre noire.** — La chambre noire peut être une chambre photographique ordinaire; on fera bien toutefois d'allonger le soufflet pour permettre un tirage plus grand que d'habitude. Bien qu'on ne doive pas chercher à augmenter le grossissement par un tirage consi-

dérable, il est utile de pouvoir disposer à l'occasion d'un tirage de 1 mètre à 1^m,50. Les dimensions de la chambre dépendront de celles que l'on se propose de donner aux photographies; une chambre 18 × 24 conviendra très bien et on pourra employer des plaques plus petites à l'aide d'intermédiaires placés dans le châssis. J'estime qu'il n'y a aucun avantage à donner aux châssis des chambres microphotographiques des dimensions spéciales telles que 12 × 12, 16 × 16; comme ces dimensions ne se trouvent pas dans le commerce, on est obligé de couper les plaques à ces mesures, et il est plus simple d'employer des dimensions courantes, ce qui évite des retouches aux châssis et des changements dans les plaques.

Je n'ai rien de spécial à dire relativement aux qualités du soufflet, à la disposition et à la fermeture des châssis (on préférera les châssis à *rideau*), à leur adaption parfaite à la chambre, etc. On choisira un verre dépoli ayant un grain aussi fin que possible, qu'on effacra encore en le frottant avec de l'huile ou de l'encaustique. Malgré cette précaution, les images qui se formeront sur le verre dépoli paraîtront toujours granuleuses, et les débutants seront parfois embarrassés pour mettre bien au point. Dans ce cas,

on pourra remplacer, pour la mise au point définitive, le verre dépoli par une glace ordinaire polie ; pour apercevoir l'image dans ces condi-

Fig. 4



tions, il sera nécessaire de prendre une loupe de mise au point qu'on aura une fois pour toutes réglée sur la face antérieure de cette glace. Afin de rendre cette opération plus facile, on tracera sur la face antérieure de la glace polie quelques

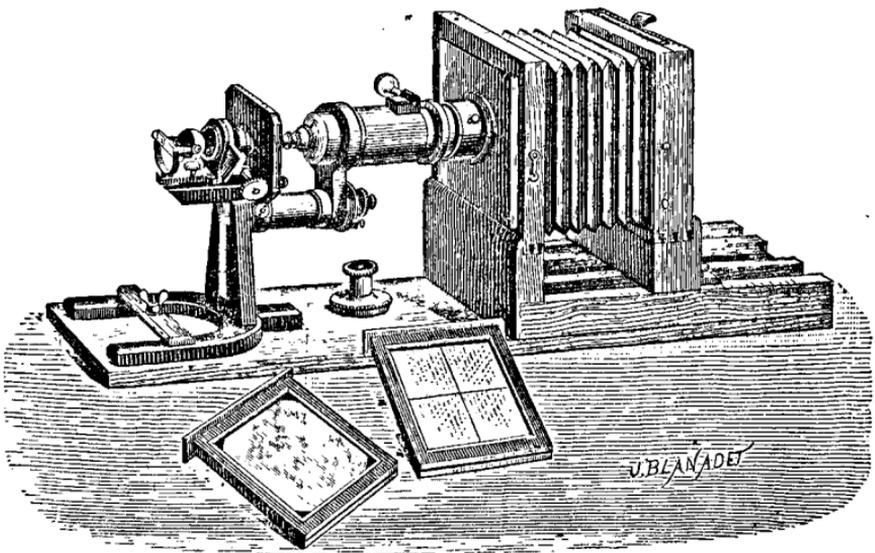
traits à l'aide d'un diamant. On facilitera considérablement la mise au point en imprimant au verre dépoli un mouvement de rotation très rapide dans son plan ; l'image devient alors d'une netteté remarquable, mais il faut pour cela tout un dispositif spécial.

Moitessier adaptait au fond du soufflet une allonge présentant sur le côté un volet II et qui portait un verre dépoli comme d'ordinaire (*fig. 4*). A ce verre dépoli il substituait un écran en carton blanc sur lequel se faisait l'image qu'il observait par l'ouverture latérale. Ce dispositif est commode, malheureusement il nécessite tout un changement dans la chambre noire.

Le microscope et la chambre noire doivent-ils être placés verticalement ou horizontalement ? Il est beaucoup plus commode pour l'opérateur de disposer la chambre horizontalement, et j'ajouterai que cette position est la seule qui permette une stabilité parfaite de tout l'appareil, à moins d'employer tout un luxe de supports et de piliers. La disposition la plus simple que l'on puisse adopter consiste à placer le microscope et la chambre horizontalement (*fig. 5*), en les réunissant comme nous le verrons tout à l'heure. Mais, dans certains cas, cette disposition peut avoir des inconvénients, lorsqu'il s'agit par

exemple de photographier des animaux vivants, ou des objets inclus dans des milieux liquides et qui pourraient tomber si la préparation était placée verticalement ; c'est pour cette raison que certains auteurs ont conseillé la position verticale

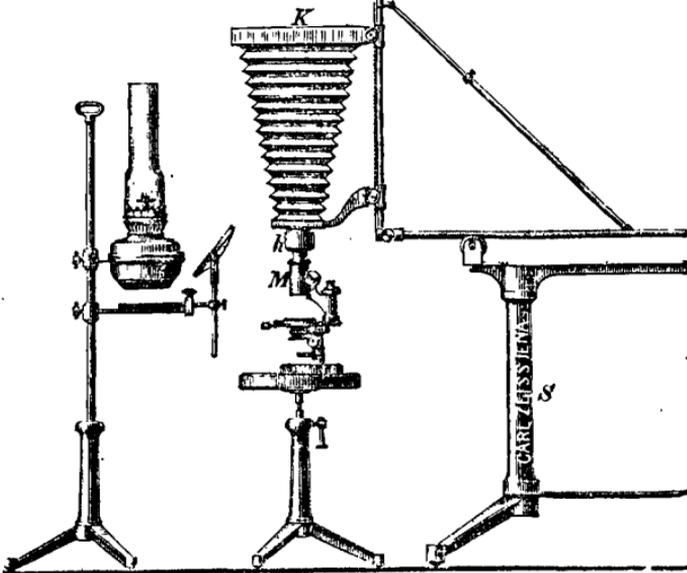
Fig. 5



pour le microscope et la chambre. L'appareil représenté *fig. 6*, et qui est construit par Zeiss, est très commode car il permet de placer à volonté le microscope et la chambre soit verticalement, soit horizontalement ; du reste, chacun pourra réaliser un dispositif analogue. Enfin on

pourra trouver plus commode de placer le microscope verticalement et la chambre horizontalement en réunissant les deux appareils à l'aide

Fig. 6

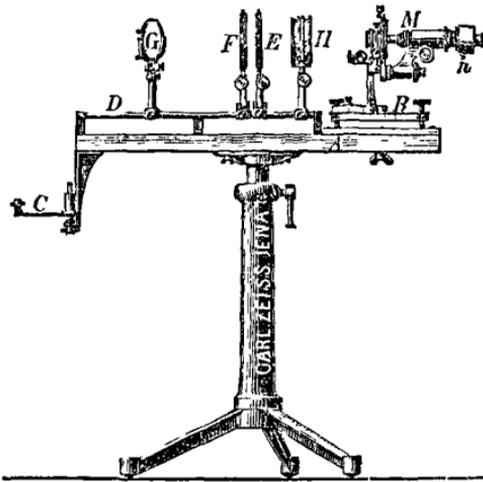


d'un tube renfermant un prisme à réflexion totale (*fig. 4*).

Quelle que soit la disposition que l'on adopte pour la chambre, si le microscope est vertical on sera obligé de renvoyer, à l'aide d'un miroir, les rayons lumineux sur la préparation. Or, comme d'une part il est préférable d'envoyer

directement le faisceau éclairant sur l'objet à photographier, et que d'autre part on n'a, dans la grande majorité des cas, à photographier que des objets inclus en préparations et qui peuvent par conséquent être placés verticalement; que de plus, il est inutile de compliquer les appa-

Fig. 7



reils, je considère que la meilleure disposition à adopter, quitte à la modifier pour les cas spéciaux dont nous aurons à parler ultérieurement, consiste à placer le microscope et la chambre horizontalement.

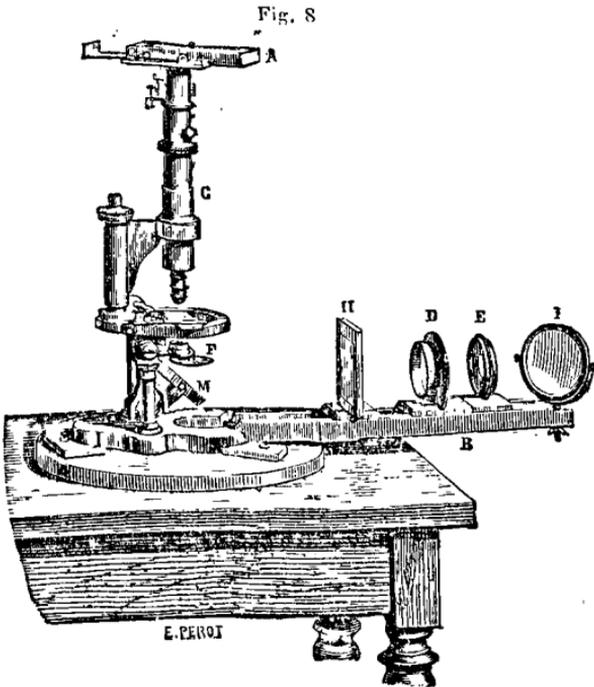
Le microscope est solidement fixé à l'aide de vis à l'extrémité d'une table allongée devant for-

mer le *banc optique* (fig. 7) sur lequel nous reviendrons plus loin ; la chambre noire sera également fixée sur une table indépendante et les deux appareils seront réunis par une garniture mobile de manière à former un seul et même appareil. On peut réaliser cette union de différentes manières, soit à l'aide d'un manchon d'étoffe noire, soit à l'aide d'un système de tubes rentrant l'un dans l'autre et noircis de manière à rendre impossible l'accès de la lumière. Un procédé très simple consiste à fermer l'ouverture antérieure de la chambre qui reçoit habituellement la planchette de l'objectif, par une feuille de caoutchouc percée en son milieu d'un orifice plus petit que le tube du microscope ; le caoutchouc s'appliquant exactement sur la surface externe du tube empêche la pénétration de la lumière.

On dispose les appareils de manière à ce que l'axe du tube coïncide exactement avec celui de la chambre noire, et qu'en plaçant une lumière devant le microscope, le cercle lumineux, qui se forme sur le verre dépoli, se trouve juste au milieu de ce verre. On aura soin également que la platine du microscope soit rigoureusement parallèle au verre dépoli. Si ces conditions n'étaient pas remplies, l'axe du cône lumineux

ne tomberait pas normalement sur la plaque sensible, l'image serait déformée et l'éclairage ne serait pas uniforme.

On pourrait placer le microscope et la chambre sur le banc optique, mais il vaut mieux que ces



deux instruments se trouvent sur des supports différents et ne soient reliés par aucun intermédiaire rigide. En effet, les secousses que l'on

imprime forcément à la chambre noire en remplaçant le verre dépoli par le châssis négatif, pourraient se transmettre au microscope et suffiraient pour déranger la mise au point. C'est pour cette raison qu'on ne devra pas adopter un dispositif analogue à celui que représente la *fig. 8*, qui consiste à fixer directement au tube du microscope une simple garniture dans laquelle s'emboîte le châssis. D'ailleurs les images obtenues de cette manière sont fort petites, et en outre on n'est pas libre de modifier le grossissement.

Il y a encore une autre raison pour laquelle il est essentiel que le microscope et la chambre soient placés sur deux supports indépendants. Le micrographe en effet aura très souvent besoin d'étudier d'avance la préparation qu'il veut photographier. Au lieu d'examiner cette préparation au microscope ordinaire, et de la transporter ensuite sur l'appareil microphotographique, il lui sera parfois plus commode de l'étudier à l'aide du microscope photographique lui-même en écartant la chambre noire ; puis quand il aura parcouru la préparation et choisi le point à photographier, il rapprochera la chambre noire du microscope et réunira les deux appareils en un seul. Il est évident que cette manière de faire ne serait pas possible, ou serait fort peu commode,

si la chambre et le microscope étaient fixés sur un seul et même support.

La *fig. 9* représente le grand appareil microphotographique de Zeiss. Cet appareil est très compliqué et il possède un grand nombre de pièces accessoires dont on peut parfaitement se passer, mais il peut servir de modèle aux micrographes qui feront eux-mêmes leur installation. On voit que le microscope et la chambre se trouvent sur deux supports indépendants et que rien n'est plus facile que de les séparer ou de les réunir.

Le microscope photographique devra être installé à poste fixe. Rien n'est plus mauvais que de le faire servir à deux fins en l'enlevant pour l'employer à des études microscopiques ordinaires, et en le mettant de nouveau en place quand on veut faire de la photographie. Ces dérangements continuels sont dangereux pour les appareils; quand après avoir disposé un microscope verticalement on le place horizontalement, on remarque que le tube, bien que la charnière soit au bout de sa course, continue par suite de son poids à tomber très lentement; si l'on faisait alors une photographie avec une pose un peu longue, le cliché ne serait pas net. Cet effet ne se produit plus après un certain

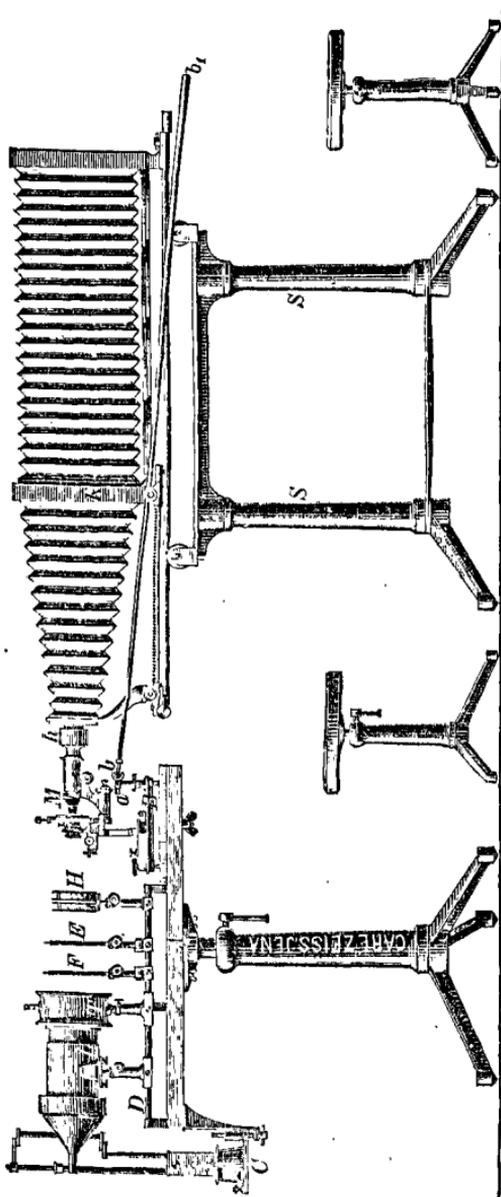
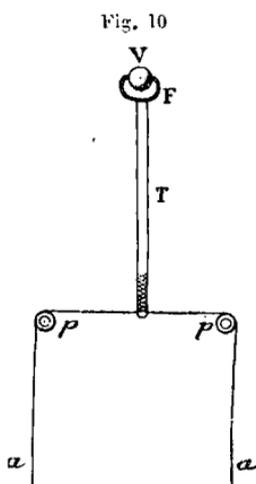


Fig. 9. — Grand appareil micrométrique de Zeiss.

temps de repos. D'ailleurs ces déplacements du microscope nécessitent chaque fois des centrages très longs qu'il vaut mieux éviter.

4. — Lorsque l'on ne donne pas au soufflet de la chambre un tirage supérieur à 20 ou 30 centimètres (longueur qu'on

devra rarement dépasser), on peut manœuvrer directement la vis micrométrique; mais pour peu que le tirage soit supérieur à 50 centimètres, l'opérateur ne pourra pas l'atteindre et il se servira d'une tige dont l'une des extrémités s'articule avec la vis. Les grands appareils microphotographiques possèdent un système d'articulations très



compliqué, mais il est possible d'en réaliser de plus simples. Par exemple, on adaptera une poulie à gorge à la table qui supporte le microscope juste au niveau de la vis micrométrique, et au moyen d'un fil sans fin on la reliera à cette dernière. Il suffira alors d'attacher à la poulie une longue baguette qu'on fera tourner dans un sens ou dans l'autre

pour mettre au point. Neuhauss emploie deux poulies p (fig. 10) recevant deux fils a, a qui s'enroulent en sens inverse sur une tige T terminée par une fourche F entre les dents de laquelle se trouve prise la vis micrométrique V . En tirant alternativement sur les deux bouts libres des fils a , on communique à la vis des mouvements dans un sens ou dans l'autre. Si l'on se sert pour la transmission d'une tige rigide, on fera bien d'employer le dispositif imaginé par Nachet et qui consiste à couper la tige de transmission et à intercaler entre les deux bouts un ressort en spirale.

L'appareil microphotographique sera installé, si cela est possible, dans une chambre au rez-de-chaussée et loin des rues fréquentées pour éviter les trépidations du sol qui peuvent être une véritable cause d'insuccès. On choisira aussi une chambre ayant une fenêtre au midi afin de pouvoir opérer à la lumière solaire. Les tables sur lesquelles reposent les instruments seront très stables, et les pieds seront séparés du sol par des morceaux de papier ou d'étoffe qui amortiront les trépidations.

Nous étudierons à propos de l'éclairage la disposition à donner au banc optique ainsi que les différents appareils qu'il doit supporter.

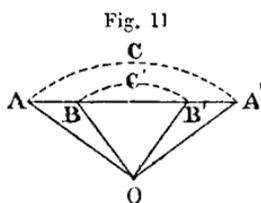
II. OBJECTIFS ET OCULAIRES

1° Objectifs

5. — Les objectifs employés en microphotographie peuvent être des objectifs microscopiques ordinaires ou des objectifs spéciaux. Nous n'avons pas à nous occuper ici de la composition optique de ces instruments, ni à examiner les qualités respectives des objectifs à sec, à immersion à l'eau, ou à immersion homogène; nous étudierons les qualités que doivent posséder les objectifs pour fournir de bonnes photographies microscopiques; ces qualités dépendent de l'angle d'ouverture des objectifs et de la correction des aberrations chromatique et sphérique.

6. **Pouvoir séparateur ou résolvant.** — On appelle *angle d'ouverture* d'un objectif l'angle formé par les rayons extérieurs émanant de l'objet et concourant à la formation de l'image. Les angles AOA, BOB' (*fig. 11*) sont les angles d'ouverture des objectifs C et C', et l'on sait que la propriété que possède un objectif de montrer les fins détails de structure, son *pouvoir séparateur*, varie avec la grandeur de cet angle. Mais cette notion de l'angle d'ouverture, qui suffisait quand on ne connaissait que les objectifs à sec,

s'est doublée d'un autre facteur depuis la découverte de l'immersion. En interposant entre l'objectif et le couvre-objet un liquide réfringent, on unifie en un tout homogène le couvre-objet et la lentille frontale de l'objectif; on supprime ainsi des pertes lumineuses. Or, la capacité qu'a un objectif d'utiliser le plus ou moins grand nombre de rayons qu'il reçoit, et qui est proportionnelle, non pas à l'angle d'ouverture, mais



bien à *la moitié du sinus de cet angle*, dépend aussi de l'indice de réfraction du liquide interposé. Cette capacité, qu'on peut appeler l'indice de résolution

de l'objectif, et qui n'est autre chose que le pouvoir séparateur, est égale, ainsi que l'a démontré Abbe, au produit de la moitié du sinus de l'angle d'ouverture par l'indice de réfraction du milieu que traversent les rayons venant de l'objet. Ce produit, qui ne représente pas un angle mais un nombre abstrait, s'appelle l'*ouverture numérique* : $ON = n \sin u$, u étant la moitié de l'angle d'ouverture.

L'application de cette formule montre tout de suite les différences qui existent entre les objectifs à sec et à immersion. Un objectif à sec ayant un

angle d'ouverture maximum de 180° aurait une ouverture numérique égale à 1, car la moitié de 180° est de 90° dont le sinus $= 1$, et l'indice de réfraction de l'air étant 1, la formule devient $ON = 1 \times 1 = 1$. Cet objectif ne recueille pas plus de rayons qu'un objectif à immersion dans l'eau ayant un angle d'ouverture de 97° seulement. En effet, le sinus de la moitié de 97° étant 0,752 et l'indice de réfraction de l'eau 1,33, la formule nous donne $ON = 0,752 \times 1,33 = 1$. Un calcul analogue apprend que cet objectif correspond à un objectif à immersion homogène ayant une ouverture angulaire de 82° seulement. Ces considérations montrent que si l'on s'en tenait exclusivement à la notion de l'angle d'ouverture, on serait obligé de dire qu'un objectif à immersion homogène, ayant un angle d'ouverture de 90° , correspond à un objectif à sec dont l'angle d'ouverture serait voisin de 200° , ce qui est une absurdité.

Les objectifs à immersion homogène dont on se sert généralement ($n = 1,52$) ont une ouverture numérique variant entre 1,30 et 1,40; le maximum possible est 1,50 chiffre qui correspond à un angle d'ouverture de 161° , tandis qu'avec l'immersion dans l'eau ce maximum est de 1,30 seulement. Tout récemment Zeiss a

construit un objectif à immersion dans la naphthaline monobromée ($n = 1,65$), dont l'ouverture numérique atteint 1,63. Cet objectif, d'un prix fort élevé, exige l'emploi de porte-objets et de couvre-objets en flint ayant un haut indice de réfraction, ce qui rend son maniement singulièrement difficile.

Les importantes recherches d'Abbe sur les phénomènes de diffraction ont montré que les rayons centraux étaient incapables de donner à eux seuls les images des structures fines de l'objet; pour que ces images se forment, il faut que l'objectif recueille, outre les faisceaux centraux, d'autres faisceaux secondaires produits par l'interférence des rayons en lesquels se décomposent, par diffraction, les rayons incidents. Un objectif peut admettre un nombre de faisceaux secondaires d'autant plus grand que le chiffre de son ouverture numérique est plus élevé. On s'explique ainsi pourquoi le pouvoir résolvant est facteur de l'ouverture numérique, et l'on conçoit que cette dernière ne pouvant être indéfiniment augmentée, le pouvoir séparateur d'un objectif est nécessairement limité.

7. Relation entre le pouvoir séparateur et les différentes radiations du spectre. — On apprécie généralement le pouvoir résolvant par

le nombre de lignes qu'un objectif peut reconnaître ou *résoudre* dans un espace donné, un millimètre par exemple. Ce nombre peut être déterminé par le calcul, et l'on sait, par exemple, que lorsque $ON = 1$, l'objectif peut et doit résoudre 3 600 lignes ou stries par millimètre; si $ON = 1,40$ ce chiffre s'élève à 5 100 et atteindra presque 6 000 avec une ouverture de 1,63.

Ces chiffres ne sont vrais que si l'objet est éclairé par de la lumière blanche et centrale; ils sont sensiblement modifiés quand la lumière est oblique et l'éclairage monochromatique. En effet, l'étude de la diffraction montre que la distance minima e de deux points que peut séparer un objectif est indiquée par la formule

$$e = \frac{\lambda}{2\alpha}$$

dans laquelle α représente l'ouverture numérique et λ la longueur d'onde du rayon lumineux éclairant. Dans les observations microscopiques ordinaires à la lumière blanche, les rayons qui impressionnent le plus vivement notre œil sont les rayons jaunes et jaune-verts, compris entre les raies D et E du spectre, dont les radiations correspondent à 0^{mm},000550, c'est-à-dire, à peu près, à $\frac{1}{2} \mu$. Dans ces conditions, un objectif ayant une ouverture numérique de 1 pourra résoudre

un intervalle $e = \frac{0,000550}{2} = 0,000275$ c'est-à-dire de $\frac{1}{4}$ de μ ; si $ON = 1,40$, $e = \frac{0,000550}{2,80}$ ou environ $\frac{1}{5}$ de μ , et enfin si $ON = 1,63$, cet intervalle deviendra égal à $\frac{1}{6}$ de μ . Cette distance est 600 fois plus petite environ que celle que distingue notre œil (1) et elle ne peut guère être diminuée ; la constitution même de la lumière ne saurait permettre de descendre beaucoup au-dessous de cette limite qui est déjà un peu inférieure à la valeur de la longueur d'une onde dans la région moyenne du spectre. Des intervalles plus petits n'apporteraient point de trouble à la propagation des ondes, et ne seraient pas séparables.

Mais si au lieu d'éclairer l'objet avec des radiations de $\lambda = 550$, on emploie des rayons violets dont la longueur d'onde au voisinage de G est de 420, le pouvoir séparateur de l'objectif sera

(1) L'œil normal, avec un diamètre pupillaire de 4 millimètres, peut distinguer *théoriquement* un angle de 30" ce qui correspond à une longueur sur la rétine de 0^{mm},00225, chiffre représentant sensiblement le diamètre des cônes sur la *fovea centralis*. Cette limite minima n'est jamais atteinte à cause des aberrations ; en fait, le pouvoir séparateur de notre œil n'est pas supérieur à une minute ; la distance minima que l'œil normal, visant à 0^m,30, peut distinguer, est de 0^{mm},10.

augmenté dans la proportion de $\frac{42}{55}$, c'est-à-dire de presque $\frac{1}{4}$. Ces radiations sont à peine visibles pour notre œil, mais elles impressionnent fortement la plaque photographique. Cette plaque est même sensible à des rayons dont la longueur d'onde est beaucoup plus faible et ne dépasse pas 300 ou même 250 millièmes de millimètre. Dans ces conditions, la plaque sensible est capable de résoudre des distances de $\frac{1}{10}$ de μ , c'est-à-dire mille fois plus petites que celles que notre œil peut séparer. C'est là la limite extrême compatible avec la constitution des vibrations connues. En calculant le nombre de lignes ou de stries que peut résoudre, dans un millimètre, un objectif bien construit d'une ouverture numérique donnée, on obtient le tableau suivant :

MAXIMUM DE LIGNES QUE PEUT RÉSOUDRE UN OBJECTIF

Ouverture numérique	Dans la lumière blanche	Dans la lumière bleue	Par la photographie
1	3780	4098	4980
1,15	4347	4712	5727
1,20	4536	4917	5976
1,25	4726	5122	6225
1,30	4915	5327	6474
1,40	5292	5737	6972
1,63	6000	6500	10,000

Ce tableau montre de la manière la plus évidente dans quelle proportion la photographie peut étendre le champ des observations microscopiques et de quelle importance sont les services qu'elle est appelée à rendre à la micrographie.

8. Pouvoir grossissant. — J'aurai l'occasion de revenir sur le pouvoir séparateur des objectifs en étudiant l'éclairage, mais il importe de faire remarquer que le pouvoir séparateur d'un objectif est une de ses qualités fondamentales, qu'il détermine la *puissance* de cet objectif, tandis que le *pouvoir grossissant* n'arrive qu'en seconde ligne. En effet, le grossissement n'a d'importance qu'autant qu'il est subordonné au pouvoir séparateur, mais en lui-même il ne signifie rien contrairement à ce qu'on se figure souvent. Le pouvoir séparateur, qui dépend de l'ouverture numérique, et le pouvoir grossissant, qui est déterminé par les longueurs focales des lentilles du système optique, sont tout à fait indépendants l'un de l'autre, mais c'est une grosse erreur de croire qu'en doublant le grossissement d'un objectif ou d'un système optique quelconque, capable de nous faire distinguer, par exemple, des intervalles 600 fois plus petits que ceux que distingue notre œil, on arriverait à séparer des objets deux fois plus petits encore. Supposons

en effet une série de points mathématiques séparés par des intervalles de $0\mu,25$. L'image fournie par l'objectif de chacun de ces points ne sera pas un point mathématique, mais bien un petit cercle de diffraction dont le diamètre dépend du grossissement, et ces petits cercles ne pourront être séparés, résolus, que si l'objectif possède une ouverture numérique au moins égale à 1. Tant que cette valeur ne sera pas atteinte, les cercles de diffraction empièteront les uns sur les autres, et l'on aura beau augmenter le grossissement, on n'arrivera qu'à augmenter le diamètre des cercles, mais sans arriver pour cela à les séparer.

Il existe néanmoins une relation entre le grossissement et le pouvoir séparateur, le premier devant être suffisant pour permettre à notre œil de percevoir, dans l'image microscopique, les détails que l'objectif a séparés. Il est facile d'établir cette relation. Notre œil percevant des distances de $0^{\text{mm}},1$, un objectif de $ON \doteq 1$ qui peut résoudre des intervalles de $0\mu,25$ devra posséder un pouvoir grossissant x déterminé par l'équation

$$0,00025x = 0,1$$

d'où $x = 400$. Tel est le grossissement *nécessaire et suffisant* de cet objectif. On pourra l'augmenter dans une certaine mesure *pour observer*

l'image plus commodément, mais il faut bien savoir qu'on ne découvrirait pas un seul détail de plus en doublant ou en triplant ce grossissement.

Ces données, qu'on perd trop souvent de vue dans les observations microscopiques ordinaires, ont encore plus d'importance en microphotographie où le grossissement de l'image peut être indéfiniment augmenté par le simple tirage de la chambre noire. *On ne devra jamais oublier que le grossissement est chose secondaire, car une image vaut moins par ses dimensions que par ses qualités.* Un grossissement de 1 500 à 2 000 diamètres obtenu à l'aide d'un objectif à petit angle serait ridicule, puisque l'image qu'il fournit ne montrerait aucun des détails dont la découverte est, en somme, la raison et le but de l'amplification microscopique. Il ne servira donc à rien d'agrandir, par de forts oculaires ou un long tirage de la chambre, l'image fournie par un objectif dans l'espérance d'y apercevoir des structures nouvelles.

9. Pouvoir pénétrant. — On appelle *pouvoir pénétrant* d'un objectif la propriété qu'il doit posséder de montrer simultanément et nettement, sans changement de mise au point, plusieurs plans successifs de l'objet, d'en *pénétrer* effectivement les couches dans une certaine

épaisseur. Cette qualité est fort importante en microphotographie.

En effet, dans les observations ordinaires, on remédie au défaut de profondeur d'un objectif par les mouvements alternatifs communiqués à la vis micrométrique et par l'accommodation de l'œil qui intervient pour une large part. En microphotographie il ne peut en être ainsi, et l'image doit être photographiée telle qu'elle se présente sur le verre dépoli. Le tableau suivant indique la profondeur maxima que peut posséder un objectif d'une longueur focale donnée :

Longueur focale	Ouverture numérique	Profondeur exprimée en millièmes de millimètres	Accommodation de l'œil exprimée en millièmes de millimètres
100	0,07	522	2080
100	0,14	262	2080
38	0,14	86	230
38	0,21	57	230
12,7	0,34	10,6	20
12,7	0,82	4,4	20
4,2	0,60	1,19	2,3
4,2	1,20	0,99	2,3
2,1	0,83	0,72	0,58
2,1	1,10	0,54	0,58
1,26	0,98	0,37	0,21
1,26	1,10	0,33	0,21

La lecture des chiffres de la 4^e colonne montre que l'accommodation de l'œil aide d'une manière puissante à la perception des différents plans d'un objet, puisque pour tel objectif dont la profondeur est de 57 μ , l'accommodation de l'œil est de 230 μ : pour le micrographe, le résultat est le même que si l'objectif avait une profondeur de 287 μ . Cette accommodation n'existant pas en microphotographie, la profondeur intrinsèque de l'objectif doit être aussi grande que possible.

La résolution et la pénétration sont deux qualités inversement proportionnelles qui dépendent toutes deux, mais dans un sens opposé, des changements de l'angle d'ouverture, et elles s'excluent l'une l'autre. Comme il est impossible de les réunir toutes deux dans le même objectif, il faudra opter pour l'une ou l'autre de ces qualités suivant le but qu'on se propose d'atteindre. Or, à part certains cas particuliers où il s'agira d'obtenir des détails de structure excessivement fins et délicats, *on aura tout avantage à employer, en microphotographie, des objectifs très pénétrants qui ont en même temps une distance frontale plus grande.*

10. Pouvoir définissant. — La définition d'un objectif (*definire*, limiter, circonscrire) est la

propriété qu'il possède de fournir une image pure, dont les contours sont nets et précis dans toutes ses parties, sans bords estompés ni franges colorées. Cette qualité dépend du centrage des lentilles et de la correction des aberrations chromatique et sphérique.

Les objectifs microscopiques sont très suffisamment corrigés des deux aberrations pour les observations ordinaires. Les corrections sont faites pour les rayons les plus lumineux et qui impressionnent le plus vivement notre œil, c'est-à-dire pour ceux qui sont compris entre les raies D et E. Ces rayons, qui forment l'image *optique*, sont très peu actiniques, et il en résulte que cette image, nette pour notre œil, ne coïncide pas avec l'image *chimique* formée par les rayons actiniques bleus, violets et ultra-violets; ceux-ci, ont, en effet, un foyer qui, dans les objectifs ordinaires, ne se confond pas avec celui des premiers. L'image formée par les rayons chimiques se trouve située en avant de celle fournie par les rayons optiques, de telle sorte que quand celle-ci est au point, l'autre ne l'est pas. Aussi, lorsque après avoir mis exactement au point une préparation dans la lumière blanche, on la photographie, l'épreuve que l'on obtient n'est pas nette. On exprime ce fait

en disant que les objectifs ont un *foyer chimique*.

D'une manière générale, le foyer chimique est plus marqué dans les objectifs faibles ; mais, comme ce défaut dépend beaucoup de la construction, on rencontrera de grands différences suivant les marques.

On peut facilement se rendre compte de l'existence du foyer chimique en opérant de la manière suivante : On place sur la platine du microscope un micromètre dont on soulève un des côtés à l'aide d'un morceau de carton, de manière à ce qu'il fasse avec la platine un angle de 15 à 30° si l'objectif est faible, de 2 à 10° si l'objectif est fort. Cela fait, on met au point sur une division déterminée, la 50° par exemple, en éclairant à la lumière blanche, et l'on photographie le micromètre. Or le cliché étant développé, on constatera que ce n'est pas la 50° division qui est venue nette, mais bien une autre, la 45° je suppose. On saura alors que pour obtenir une image nette de cette dernière avec le même objectif, il faudra mettre au point sur la 50° division, et que pour avoir la 50°, on devra mettre au point sur la 55°. Ce procédé permet de remédier à l'inconvénient du foyer chimique. Ainsi on pourra rechercher, par tâtonnements, quelle fraction de tour il faudra

donner à la vis micrométrique du microscope, ou mieux quelle modification devra être apportée au tirage du soufflet de la chambre, une fois la mise au point terminée, pour obtenir une image photographique nette. Il est bien entendu que cette détermination devra être faite pour chaque objectif.

Ces sortes de corrections ne peuvent avoir d'effet qu'avec des objectifs faibles ou moyens ; elles offrent d'ailleurs peu de garantie. Il vaut mieux remédier aux inconvénients résultant de l'existence d'un foyer chimique en employant un éclairage *monochromatique* qui, ajouterons-nous, est indispensable pour obtenir de bonnes épreuves. Il existe du reste des objectifs construits spécialement pour la photographie et qui n'ont pas de foyer chimique : Siebert, Hartnack, Wales, Nachet, Zeiss, etc., livrent de ces objectifs à faible grossissement, à l'aide desquels on peut photographier dans la lumière blanche,

11. Objectifs apochromatiques. — En 1886, la maison Zeiss d'Iéna a introduit dans le commerce les objectifs dits *apochromatiques*, que d'autres constructeurs fabriquent actuellement. Ces objectifs, construits avec des verres spéciaux, présentent sur les autres certains avantages et ils conviennent tout particulièrement pour la mi-

crophotographie. Tandis que dans les anciens objectifs, il n'était pas possible d'obtenir un achromatisme parfait car on ne pouvait combiner que deux couleurs, et qu'il y avait divergence entre les autres couleurs, on obtient dans les objectifs apochromatiques la convergence en un même point de l'axe optique de trois couleurs différentes, rouge, jaune et bleue, ce qui est un perfectionnement important. De plus, l'aberration de sphéricité est corrigée pour deux rayons de couleur différente, alors qu'autrefois la correction n'était faite que pour une seule couleur, la plus lumineuse du spectre, c'est-à-dire le jaune. Aussi, tandis que les objectifs ordinaires ne donnent une image nette qu'avec les rayons pour lesquels ils sont corrigés, les apochromatiques donnent des images également nettes pour plusieurs rayons du spectre, en particulier pour les rayons bleus, dans la lumière blanche comme dans la lumière monochromatique. Ces objectifs n'ont pas de foyer chimique et les images des différentes couleurs coïncident parfaitement. On ne peut donc que conseiller leur usage aux personnes qui ne reculeront pas devant leur prix élevé, mais il faut bien savoir qu'*on peut obtenir, avec les objectifs ordinaires, de très belles photographies, aussi bonnes qu'avec les apochromatiques,*

à condition toutefois d'opérer dans la lumière jaune et avec des plaques orthochromatiques.

2° Oculaires

12. — Les objectifs microscopiques, ordinaires ou apochromatiques, sont corrigés pour une longueur de tube déterminée (160 millimètres sur le continent, 250 millimètres en Angleterre), et c'est à cette distance de l'objet seulement qu'ils fournissent une image parfaitement nette, exempte d'aberrations chromatique et sphérique. C'est donc à cette distance de la préparation, c'est-à-dire à la place de l'oculaire (ou plus exactement entre les deux lentilles de celui-ci), qu'il faudrait placer la plaque sensible pour obtenir un bon cliché. Or, dans l'immense majorité des cas, l'image ainsi fournie par l'objectif seul est trop petite. On peut bien l'agrandir en éloignant la plaque sensible, c'est-à-dire en augmentant le tirage de la chambre, mais cette pratique est mauvaise. En effet, au fur et à mesure que la distance devient plus grande, l'image devient moins nette, les détails se perdent, et il arrive assez rapidement un moment où l'image devient tout à fait *floue*. Or, le but de la photographie microscopique n'est point de donner seulement de gran-

des images, mais aussi et surtout de donner des images nettes et montrant des détails. D'ailleurs, plus on augmente le tirage, plus il faut rapprocher l'objectif de la préparation ; il en résulte qu'on diminue la profondeur de plus en plus.

Certains objectifs, destinés spécialement à la microphotographie, sont construits de manière à fournir de très bonnes images sans oculaire et avec un long tirage : ces objectifs, à foyer relativement long, sont forts commodes et très recommandables, mais ils ne peuvent servir que pour des grossissements assez faibles. Quand on travaille à des grossissements moyens ou forts, il est indispensable de réduire le tirage de la chambre et de grossir directement l'image fournie par l'objectif.

13. — Ce grossissement est généralement obtenu à l'aide d'un oculaire. Or, les oculaires microscopiques ordinaires sont insuffisamment corrigés pour la microphotographie, et ils ne donnent pas toujours de bons résultats ; l'image qu'ils fournissent présente souvent des franges colorées. On peut remédier à cet inconvénient. Neuhaus a remarqué qu'en éloignant l'une de l'autre les lentilles d'un oculaire, on voyait ces franges diminuer progressivement et disparaître à un moment donné pour reparaitre de nouveau, mais avec une

disposition inverse des couleurs, quand l'écartement des lentilles devenait trop grand. Il est très facile de modifier un oculaire en employant un cylindre de carton d'environ 2^{cm},5 de longueur qui s'emboîte dans l'oculaire par l'un de ses bouts, tandis qu'à l'autre on fixe le verre de l'œil de l'oculaire; on détermine, par tâtonnements, la longueur qu'il convient de donner au tube de carton pour que l'image ait le maximum de netteté. Neuhauss conseille en outre de placer, devant la lentille collectrice de l'oculaire ainsi modifié, un diaphragme de 5 millimètres d'ouverture.

Pour remédier aux inconvénients résultant de l'emploi des oculaires ordinaires ou de leur suppression complète, Woodward se servait d'une lentille biconcave, parfaitement achromatique, qu'il plaçait un peu en arrière de la lentille postérieure de l'objectif; l'image se formait alors plus loin et se trouvait grossie deux ou trois fois. Cette lentille, appelée *amplificateur*, donne d'excellents résultats, mais elle présente cet inconvénient qu'on est obligé de l'enfoncer trop profondément dans l'intérieur du tube du microscope.

On a pu obtenir aussi de bonnes images photographiques en disposant derrière l'oculaire un objectif photographique ordinaire et en opérant

comme si l'on faisait une photographie de paysage. L'objectif photographique, qui doit être parfaitement corrigé des aberrations chromatique et sphérique, sert à projeter l'image grossie de l'objet sur la plaque sensible. On obtient un meilleur résultat encore en enlevant le verre de l'œil de l'oculaire et en ne laissant dans le tube que la lentille collectrice. Une telle méthode n'est pas pratique, car outre que l'objectif photographique absorbe dans ces conditions une quantité considérable de lumière, il est très difficile d'obtenir un centrage parfait de tout l'appareil.

14. — Cette association d'un oculaire microscopique et d'un objectif photographique a été réalisée par Zeiss dans son *oculaire à projection*. Cet instrument, qui a la forme d'un oculaire ordinaire, comprend comme d'habitude une lentille collectrice, mais le verre de l'œil est remplacé par un système projecteur, parfaitement corrigé des aberrations chromatique et sphérique, exempt de foyer chimique, qui peut être approché ou éloigné de la lentille collectrice. Ce système est coiffé d'un diaphragme qui supprime complètement les rayons réfléchis sur les parois internes du tube. Entre les deux lentilles, dans l'intérieur du tube, se trouve un autre diaphragme qui limite le champ.

L'oculaire à projection fournit des images plus nettes et plus pures que les oculaires ordinaires ; il permet aussi de donner au soufflet un tirage plus long sans que les contours de l'image perdent leur netteté. Il s'emploie de la manière suivante : On met au point comme d'habitude avec un oculaire ordinaire que l'on remplace ensuite par l'oculaire à projection. Il faut alors visser ou dévisser le système projecteur jusqu'à ce que le bord du diaphragme se montre avec le maximum de netteté sur le verre dépoli ; plus la distance entre ce verre et le microscope est petite, plus le système projecteur doit être éloigné du diaphragme.

III. ÉCLAIRAGE

15. — L'opération la plus importante, mais aussi la plus difficile en microphotographie, consiste à éclairer convenablement l'objet à photographier. Il ne suffit plus en effet de tourner un miroir concave vers le ciel ou vers un nuage blanc comme dans les observations ordinaires ; l'opération est beaucoup compliquée et la plupart des insuccès obtenus par les débutants pro-

viennent d'un mauvais éclairage de la préparation.

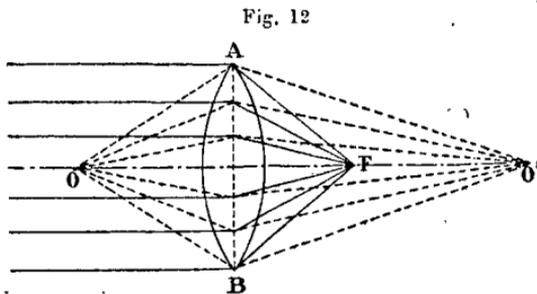
La lumière diffuse du jour n'est pas assez intense pour éclairer d'une manière suffisante les objets à photographier. Aussi doit-on recourir, soit à la lumière directe du soleil, soit à un éclairage artificiel qui peut être fourni par la lumière électrique (arc ou lampe), par la lumière oxhydrique ou la lumière au magnésium, enfin par celle du gaz ou du pétrole. Le choix de telle ou telle lumière sera souvent déterminé par des raisons de commodité, d'économie, etc., mais il faut savoir qu'on peut obtenir, dans la majorité des cas, de bons résultats avec n'importe quelle source, à condition de savoir manier la lumière qu'elle produit. Si l'on se contentait de placer purement et simplement la préparation sur le trajet des rayons lumineux émanant d'une source plus ou moins intense, on n'obtiendrait que de fort mauvais clichés. Pour avoir de bonnes épreuves, il est en effet indispensable de projeter sur l'objet une image aussi nette que possible de la source lumineuse ; cette condition avait déjà été indiquée par Moitessier en 1866. Il faut en outre que le pinceau lumineux ait une largeur déterminée et que les rayons tombent sur l'objet suivant une certaine incidence ; enfin, on devra choi-

sir, parmi les radiations différentes dont se compose la lumière, celles qui conviennent le mieux.

Avant d'étudier les avantages et les inconvénients des diverses sources lumineuses qui ont leur application en photographie, et les dispositions spéciales que l'emploi de chacune d'elles peut réclamer, nous nous occuperons d'abord des conditions générales qu'il est nécessaire de réaliser et qui sont communes à tous les modes d'éclairage.

16. Ouverture du cône lumineux. — Pour qu'un objet à photographier soit convenablement éclairé, la première condition à remplir est de former, sur l'objet lui-même, ou quand l'objectif a un long foyer, sur la lentille frontale de l'objectif, une image nette de la source lumineuse à l'aide de lentilles condensatrices appropriées. Non seulement l'éclairage atteint, dans ces conditions, son maximum d'intensité, mais on évite ainsi des phénomènes de diffraction; l'objet, se trouvant pour ainsi dire confondu avec la source, ne jouera pas le rôle d'un écran, et les contours de l'image seront parfaitement nets, sans franges colorées. La position des lentilles condensatrices par rapport à la source offre une grande importance. Représentons par L l'ensemble du système optique servant de condensa-

teur dont le foyer est en F (fig. 12). Si la source lumineuse se trouve placée très loin, le soleil par exemple, les rayons arriveront à la lentille parallèlement à l'axe et l'image se formera au foyer; l'ensemble des rayons réfractés représente un cône dont le sommet est en F , dont la base correspond au pourtour de la lentille, et dont l'angle F détermine l'ouverture. Si, au contraire, la



source est placée plus près de la lentille, en O par exemple, son image se formera en O' , et le cône lumineux formé par les rayons réfractés aura son foyer en ce point; par conséquent ce cône sera plus aigu, il aura une ouverture plus petite que dans le cas précédent.

L'ouverture du cône éclairant a, sur les qualités de l'image microscopique, une influence considérable qui a été observée depuis longtemps

par les micrographes. Les cônes très aigus fournissent ce que l'on appelle l'*éclairage central*, tandis que les cônes larges, renfermant des rayons d'autant plus obliques qu'ils sont plus ouverts, permettent de réaliser l'*éclairage oblique*. En étudiant le pouvoir séparateur des objectifs nous avons vu que ce pouvoir e , c'est-à-dire le plus petit intervalle que cet objectif peut résoudre, était déterminée par la formule $e = \frac{2a}{\lambda}$, a étant l'ouverture numérique. Cette formule a été calculée pour un éclairage aussi oblique que possible, et dans l'éclairage central le pouvoir séparateur devient 2 fois plus petit : $e = \frac{\lambda}{a}$. Sans entrer dans les considérations théoriques qui ont permis d'établir ces formules et que l'on trouvera développées dans les mémoires d'Abbe, nous dirons seulement que cette différence dans les valeurs de e tient à ce que le nombre des faisceaux diffractés ou secondaires, auxquels seuls est due l'image des très fins détails de structure, augmente avec l'obliquité des rayons lumineux éclairants.

17. — On pourra, suivant les cas, éclairer les préparations microscopiques à l'aide de cônes aigus, ne renfermant que des rayons centraux, ou à l'aide de cônes très ouverts renfermant des

rayons centraux et des rayons obliques, ou enfin supprimer ces rayons centraux à l'aide de diaphragmes convenablement taillés, et ne conserver que les rayons obliques. Les condensateurs que l'on construit actuellement permettent de réaliser très facilement cet éclairage oblique qu'on n'obtenait autrefois qu'en relevant le miroir et le disposant presque horizontalement. En général, les contours de l'image microscopique sont d'autant plus nets et plus accusés que le cône est plus étroit; cela est surtout vrai pour des objets transparents, non colorés, dont les éléments ne se distinguent que grâce à des différences dans leur réfringence. Chacun sait que si l'on examine de tels objets éclairés à l'aide d'un condensateur non diaphragmé ou à pleine ouverture, c'est-à-dire dans un cône éclairant très ouvert, l'image est noyée dans une telle quantité de lumière qu'elle devient indistincte. En réalité, cet effet est dû à ce que l'image observée par l'œil est la résultante de nombreuses images différentes produites par des rayons de diverses obliquités, dont l'ensemble forme une image sans netteté. Mais ce défaut ne se produira pas, ou se produira à un degré beaucoup moins marqué, s'il s'agit d'une préparation colorée dont les éléments se distinguent, non pas seulement par des

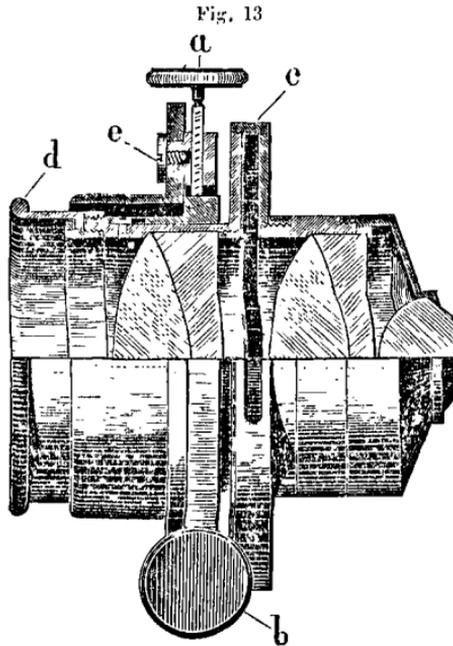
différences de réfringence, mais par des différences dans l'absorption de certaines radiations.

Ces considérations sur les relations entre l'ouverture du cône lumineux, la netteté de l'image et le pouvoir séparateur de l'objectif s'appliquent naturellement à la photographie microscopique ; mais ici d'autres considérations encore doivent intervenir. D'abord les cônes à grande ouverture donnent à l'image de la source un éclat plus considérable, circonstance qui a une certaine importance puisqu'elle a pour effet de diminuer le temps de pose. Ensuite ces cônes larges ne produisent pas les franges de diffraction qui, avec les cônes étroits, entourent les contours de l'image ; ces franges de diffraction sont d'autant plus nombreuses que le cône est plus étroit et la lumière plus intense, et elles diminuent considérablement la netteté de l'image. Ainsi il est absolument impossible d'employer l'éclairage direct par le soleil sans condensateur, même avec de faibles grossissements quoique l'intensité d'un tel éclairage soit très suffisante, parce que les rayons du soleil nous arrivent presque parallèlement, puisqu'ils ne forment qu'un angle d'un demi-degré environ. Enfin les larges cônes permettent la résolution de structures très fines, qui n'apparais-

sent pas dans l'éclairage central. D'autre part, ces mêmes cônes diminuent la netteté des contours ainsi que la profondeur des objectifs. L'image fournie par les objectifs est, en effet, toujours un peu courbe, et elle n'offre pas la même netteté sur les bords que dans sa partie centrale : or à mesure que l'ouverture du cône augmente, la partie centrale du champ dans laquelle la netteté est uniforme, se rétrécit, ce qui est un gros inconvénient en photographie microscopique.

18. — Il est donc essentiel d'adapter au microscope un condensateur qui permette : 1° de former sur la préparation une image nette de la source ; 2° de régler l'ouverture du cône lumineux et de la modifier suivant les caractères de l'objet à photographier. Moitessier se servait dans ce but du condensateur Dujardin, mais aujourd'hui il existe des instruments beaucoup plus perfectionnés. Tous les bons microscopes sont actuellement pourvus d'un condensateur Abbe qui permet de régler l'ouverture du cône éclairant, et d'obtenir à volonté l'éclairage central seul, ou l'éclairage oblique seul. Ce condensateur, dont je n'ai pas à donner la description, peut porter deux systèmes optiques différents : l'un à deux lentilles, a une ouverture numérique de 1,20, et l'autre, à trois lentilles, une ouverture

de 1,40. Ce condensateur, excellent pour les observations ordinaires, est moins bon pour la photographie microscopique parce qu'il n'est pas achromatique. Zeiss a construit spécialement pour



la microphotographie un condensateur qui répond à toutes les exigences et qu'on aura avantage à substituer à celui d'Abbe. Cet appareil (*fig. 13*) est formé de deux systèmes de lentilles achromatiques associés à une troisième lentille simple

qui est la lentille frontale ; un diaphragme-iris *c* placé entre les deux premiers systèmes modifie l'ouverture du condensateur. L'appareil se place dans la sous-platine, et les vis *a* et *b* permettent de le déplacer. Le condensateur donne à pleine ouverture une image nette de la source, et il projette une image du soleil suffisante pour éclairer tout le champ de l'objectif apochromatique de 4 millimètres ($NO = 0,95$). L'ouverture numérique est égale à 1, ce qui suffit dans presque tous les cas puisque les rayons peuvent être utilisés jusqu'à une incidence de 60° . Si l'on désire un éclairage plus oblique, on aura recours au condensateur ordinaire d'Abbe.

La plupart des opticiens construisent aujourd'hui des condensateurs d'après le système Abbe. Il convient de signaler tout particulièrement le condensateur apochromatique de Powel et Lealand qui permet tous les éclairages, mais dont le prix est malheureusement très élevé.

19. Éclairage monochromatique. — Nous avons vu qu'un moyen commode pour remédier à l'inconvénient du foyer chimique des objectifs consistait à remplacer, dans l'éclairage, la lumière blanche par de la lumière homogène. Les anciens microphotographes avaient déjà remarqué qu'ils obtenaient de meilleurs résultats avec

la lumière *jaune* qu'avec la lumière blanche : ils supprimaient ainsi un certain nombre de rayons dont le foyer ne coïncidait pas exactement avec celui des rayons utilisés. Plus tard, à une époque où on ne connaissait pas encore les plaques orthochromatiques, on crut devoir remplacer la lumière *jaunée* par la lumière *bleue*, sous prétexte que les plaques photographiques n'étant pas sensibles aux rayons jaunes, l'éclairage ne devait comprendre que des rayons photogéniques. Or ce mode d'éclairage donne, avec les objectifs ordinaires, des résultats bien inférieurs à la lumière jaune pour les raisons qui seront indiquées plus loin, et il doit être rejeté absolument.

20. Procédés pour obtenir une lumière monochromatique. — On peut obtenir la lumière monochromatique, soit à l'aide d'un prisme, soit à l'aide de solutions ou de verres colorés. Castracane en 1864 eut le premier l'idée de produire de la lumière homogène en interposant, sur le trajet des rayons lumineux, un prisme très large et qui possédait un pouvoir dispersif assez grand pour fournir un spectre très étalé ; la lumière solaire traversait ce prisme, et un mécanisme très simple permettait d'amener successivement les différentes couleurs du spectre

dans le champ du microscope. On devra recourir à cette méthode toutes les fois que l'on voudra opérer dans une lumière bleue ou violette parfaitement monochromatique qu'il n'est pas possible d'obtenir autrement.

Dans la pratique ordinaire on se contente d'une lumière qui n'est pas parfaitement homogène et qu'on obtient à l'aide de verres colorés ou de solutions spéciales. Ces solutions sont reçues dans des cuvettes rectangulaires en verre, à faces bien parallèles, ayant environ 2 centimètres d'épaisseur et qu'on place sur le banc optique. Ces cuvettes peuvent être aisément fabriqués en mastiquant des lames de verres coupées à des dimensions convenables ; on en trouve d'ailleurs de toutes faites dans le commerce. On pourra recourir à l'une des solutions suivantes suivant la couleur de la lumière que l'on veut obtenir.

Lumière jaune. — La solution concentrée de dichromate de potassium, sous une épaisseur de 2 centimètres, est d'un usage courant en microphotographie. Cette solution laisse passer toutes les radiations comprises entre les raies A et b^2 , c'est-à-dire les rayons rouges, jaunes et la plus grande partie des rayons verts, et elle absorbe tous les rayons plus réfrangibles à partir de

$\lambda = 515$ (1). La lumière dite *jaune* qu'elle fournit est donc fort peu monochromatique; néanmoins elle convient parfaitement dans la plupart des cas. Les verres jaunes que l'on trouve dans le commerce, à condition d'être suffisamment foncés, peuvent remplacer cette solution et ils sont d'un maniement plus commode; on aura soin de les vérifier préalablement au spectroscope et de s'assurer qu'ils arrêtent tous les rayons réfrangibles.

On pourra substituer avantageusement à la solution de bichromate une solution d'*hélianthine* qui absorbe les rayons verts et ne laisse passer que le rouge et le jaune. Le liquide de Crova,

(1) Le tableau suivant, qui donne en millièmes de millimètre les longueurs d'onde correspondant aux différentes régions du spectre, pourra être utile à consulter :

Rouge extrême	A	762
Rouge	B	687
Orange	C	656
Jaune	D	589
Vert	E	526
	δ^2	516
Bleu	F	486
Indigo	G'	433
Violet	G	430
Ultra-violet	H	396

mélange de perchlorure de fer et de chlorure de nickel, fournit une lumière jaune à peu près monochromatique (de $\lambda = 575$ à $\lambda = 525$).

Lumière rouge. — Une solution de *fuschine* laisse passer les rayons rouges seulement, et elle peut être remplacée par un verre rouge rubis ordinaire. La solution d'*escorcéine* laisse en plus passer les rayons orangés.

Lumière verte. — La lumière verte monochromatique peut être très facilement obtenue à l'aide d'une solution concentrée de nitrate de nickel, ou du liquide de Zettnow (sulfate de cuivre 176 grammes, bichromate de potassium 17 grammes, acide sulfurique 2 centimètres cubes, eau de 500 à 1 000 centimètres cubes). Une solution suffisamment concentrée de *vert neutre* ne laisse passer que les rayons moyens du spectre, jaunes et verts (de $\lambda = 580$ à $\lambda = 510$).

Lumière bleue. — La lumière monochromatique dite bleue obtenue à l'aide de la liqueur de Bareswill ou d'une solution de sulfate de cuivre ammoniacal, renferme tous les rayons les plus réfrangibles du spectre, bleu, indigo et violet; elle ne peut servir en microphotographie que si on l'associe aux objectifs apochromatiques.

Rayons ultra-violets. — Les solutions fluores-

centes arrêtent les rayons ultra-violetes ; la plus commode est une solution d'*esculine* à $\frac{15}{1000}$.

21. Utilité de la lumière monochromatique. — On considère généralement que l'éclairage monochromatique sert exclusivement à supprimer le foyer chimique des objectifs ; cet avantage, très précieux autrefois lorsque les objectifs étaient imparfaitement corrigés, est beaucoup moins appréciable depuis les progrès récents réalisés dans la construction des objectifs. Mais l'éclairage monochromatique offre d'autres avantages, et il permet de réaliser des effets qu'il importe de bien distinguer de la correction des foyers chimiques. En effet, cet éclairage doit être considéré comme servant, avant tout, à supprimer certains rayons dont l'action photogénique est si intense qu'elle couvre complètement celle des autres ; il peut aussi être utilisé pour séparer, et permettre d'employer certains rayons doués de qualités spéciales.

Les conditions que doit remplir l'éclairage monochromatique diffèrent suivant que l'on a affaire à des objectifs ordinaires ou à des apochromatiques.

a) *Objectifs ordinaires.* — Le spectre de la lumière solaire peut être divisé, comme on le sait, en deux régions : l'une qui s'étend du

rouge jusqu'à l'extrémité du vert renferme les radiations auxquelles notre œil est le plus sensible et qui sont presque sans action sur les sels haloïdes d'argent, et l'autre, plus étendue, qui comprend les rayons bleus, violets et ultraviolets, très photogéniques mais auxquels notre œil est peu ou pas sensible. On sait depuis longtemps que l'œil humain et l'œil photographique ne voient pas les objets de la même manière, et ce qui est vrai pour la photographie ordinaire l'est aussi pour la photographie microscopique. Si donc nous voulons obtenir des épreuves qui se rapprochent le plus de ce que nous voyons au microscope, nous devons chercher à supprimer la prépondérance des rayons très réfrangibles pour laisser agir les rayons à plus grande longueur d'onde, et obtenir une image faite des rayons qui impressionnent le plus vivement notre œil. L'écran jaune au bichromate de potassium qu'on interpose sur le trajet des rayons lumineux réalise précisément cette condition en absorbant les rayons chimiques.

Si l'on songe à l'énorme différence que possèdent, dans leur pouvoir photogénique, les rayons rouges, jaunes, et verts d'une part, bleus et violets de l'autre, on se convaincra aisément que la lumière bleue obtenue à l'aide des solutions

cuvriques, si recommandée par les anciens auteurs et même par quelques auteurs modernes, est à peu près inutile. Ces solutions laissent en effet passer tous les rayons photogéniques du spectre, et l'on peut admettre qu'en pratique, l'effet est le même que si l'on opérât en lumière blanche, l'action infiniment faible des rayons rouges, jaunes et verts disparaissant complètement devant l'action énergique des autres. Remarquons de plus que ces solutions arrêtent précisément les rayons pour lesquels les objectifs ordinaires sont corrigés, et que l'image se forme aux dépens des autres ; on opère donc dans des conditions très défectueuses. Les objectifs ordinaires sont corrigés des aberrations chromatiques pour le rouge et le jaune et de l'aberration sphérique pour cette dernière couleur seulement ; les foyers des rayons bleus et violets sont donc plus ou moins distincts de ceux des premiers.

Aussi la lumière dite monochromatique que fournissent les solutions de bichromate ou d'hélianthine, ou simplement un verre coloré, conviennent-elles parfaitement dans la plupart des cas et permettent d'obtenir de bons clichés. Il y aurait même souvent un inconvénient à opérer avec une lumière parfaitement monochromati-

que, car on n'obtiendrait pas ainsi la valeur exacte de certaines teintes. En effet, si l'on se servait d'une lumière homogène, les parties de la préparation dont la couleur se rapproche la plus de l'éclairage adopté viendraient seules avec leur valeur réelle, tandis que les parties ayant des colorations différentes donneraient leurs images comme si elles étaient noires ; les épreuves seraient non seulement dures et haurtées, mais elles ne représenteraient point les préparations telles que notre œil les voit.

Toutefois, dans certains cas particuliers, lorsque par exemple on se proposera d'obtenir des détails dans une préparation offrant une coloration intense, rouge, jaune ou verte, il conviendra d'opérer avec un éclairage monochromatique correspondant à ces couleurs. J'aurai l'occasion de revenir sur cette question en étudiant les qualités que doivent offrir les préparations à photographier.

J'ai expliqué pourquoi l'éclairage à la lumière bleue, obtenu à l'aide de solutions cuivriques ou autres, ne pouvait donner, avec les objectifs ordinaires, que des résultats très imparfaits. On pourrait à la rigueur obtenir la résolution de certains détails en utilisant les couleurs spectrales, bleue ou violette, exactement homo-

gènes, mais ce procédé ne fournira réellement les bons résultats qu'on est en droit d'en attendre qu'avec les apochromatiques.

En résumé, et à moins d'indication contraire, *on devra toujours se servir de la lumière jaune lorsqu'on opérera avec des objectifs ordinaires*. Bien que les plaques ordinaires puissent donner avec cette lumière d'excellents clichés à condition que l'on prolonge considérablement le temps de pose, *on aura tout avantage à prendre des plaques orthochromatiques*; ces plaques permettent de diminuer beaucoup la durée de l'exposition.

b) Objectifs apochromatiques. — Ces objectifs n'ont pas de foyer chimique, et si les différents rayons du spectre possédaient tous le même pouvoir photogénique, on pourrait s'en servir sans écran coloré. Mais il n'en est pas ainsi, et le plus ordinairement on devra arrêter les rayons très réfrangibles à l'aide de solutions convenables et opérer en lumière jaune, comme avec les objectifs ordinaires. J'ajouterai que, dans ces conditions, les objectifs apochromatiques ne sont pas supérieurs à ces derniers.

Mais ces objectifs permettent d'obtenir, et c'est là ce qui fait leur supériorité incontestable, de

bonnes photographies dans la lumière monochromatique bleue ou violette, puisqu'ils sont corrigés pour ces rayons et qu'ils donnent des images également nettes avec tous les rayons du spectre. Lorsqu'on se proposera de photographier des structures très fines, comme les cils des Bactéries, les perles des Diatomées et autres objets présentant des détails très délicats et difficiles à résoudre, on devra avoir recours à l'éclairage dans la lumière bleue et se rappeler que, plus la longueur d'onde des rayons est courte, plus le résultat sera satisfaisant. La résolution sera donc plus complète avec les rayons violets seuls qu'avec l'ensemble des rayons bleus, indigos et violets. Les solutions de sulfate de cuivre ammoniacal ou la liqueur de Bareswill (1) pourront trouver ici leur emploi, mais si l'on veut obtenir les meilleurs résultats possibles et utiliser pleinement les rayons réfrangibles, on devra recourir à l'emploi du prisme et projeter sur l'objectif un pinceau de lumière homogène bleue ou violette.

(1) La solution de sulfate de cuivre ammoniacal laisse passer les rayons ultra-violets qui sont arrêtés par la liqueur de Bareswill; cette dernière est donc préférable quoiqu'elle laisse passer des rayons rouges dont l'action est à peu près nulle.

Ces rayons impressionnant très faiblement notre œil, il est nécessaire d'employer à la lumière du soleil et de la condenser fortement; néanmoins, la mise au point sera beaucoup plus difficile qu'avec la lumière jaune.

Dans ces conditions, les objectifs apochromatiques peuvent déceler, à l'aide de la photographie, des structures dont nous n'aurions jamais reconnu l'existence, et ils résolvent facilement les plus fins détails. Avec un éclairage monochromatique oblique correspondant à $\lambda = 400$, dernière limite de visibilité pour notre œil, un objectif de $ON = 1,63$ peut résoudre près de 8000 lignes par millimètre : c'est la limite extrême que l'on puisse obtenir pratiquement avec les objectifs actuels.

On conçoit que l'on pourrait obtenir mieux encore si l'on opérait dans des radiations ultra-violettes seulement, que l'on obtiendrait en projetant sur la préparation la partie ultra-violette du spectre. Il faudrait alors mettre au point dans la lumière violette et rectifier cette mise au point suivant la méthode indiquée p. 44. Si l'objectif était parfaitement corrigé pour les rayons très réfringibles l'image conserverait toute sa netteté. Si ces dispositions pouvaient être réalisées pratiquement, la photographie dans les rayons ultra-

violet ($\lambda = 300$) permettrait de distinguer jusqu'à 10 000 lignes par millimètre (1).

(1) Actuellement ce résultat ne peut pas être atteint parce que les objectifs ne sont pas corrigés pour les radiations ultra-violettes, mais on peut espérer que les constructeurs arriveront à fabriquer des instruments corrigés pour les rayons invisibles, et dont les lentilles n'arrêteront pas ces rayons (certains verres absorbent les radiations ultra-violettes à partir de $\lambda = 350$). C'est dans ce sens que doivent maintenant tendre les efforts des opticiens pour augmenter la puissance des objectifs.

En effet, les objectifs dont l'ouverture numérique est supérieure à 1,50 sont très difficiles à manier. Le nouvel objectif de Zeiss à immersion dans la naphthaline monobromée (ON = 1,63) exige l'emploi de couvre-objets spéciaux, d'un haut indice; ces couvre-objets, qui sont en flint, sont d'une fabrication très difficile, et de plus ils sont attaquables par les liquides très réfringents dans lesquels l'objet doit être inclus. Pour obtenir un objectif plus puissant encore, il faudrait prendre des lentilles en diamant, employer des porte-objets et des couvre-objets également en diamant, et inclure l'objet dans un médium ayant un indice au moins égal à 2, toutes choses à peu près impossibles à réaliser.

Nous pouvons donc considérer que les objectifs ont à peu près atteint aujourd'hui leur dernière perfection, en ce qui concerne l'observation par l'œil. Il est beaucoup moins difficile de chercher à augmenter leur pouvoir à l'aide de la photographie que de chercher à réaliser des perfectionnements qui rendraient leur prix inabordable et leur maniement fort délicat. Une différence de $\lambda = 550$ à $\lambda = 440$ donne, avec le

22. Sources lumineuses. a) *Lumière solaire.* -- La lumière directe du soleil, offre tous les avantages, intensité, pouvoir photogénique, économie : elle renferme toutes les radiations depuis l'infra-rouge jusqu'à l'ultra-violet, et son intensité est si grande que, même en n'utilisant pour l'éclairage qu'une portion très étroite du spectre et en prenant de forts grossissements, le champ est très éclairé et la durée d'exposition peut être très courte. Le parallélisme des rayons est un inconvénient auquel on obvie facilement par l'emploi d'un condensateur.

Pour utiliser convenablement la lumière solaire, il est indispensable de pouvoir en amener les rayons dans une direction déterminée, c'est-à-dire suivant l'axe optique du microscope photographique, et il faut que cette direction reste constante pendant toute la durée de l'expérience. On

même objectif, le même résultat que si on élevait son ouverture numérique de 1,40 à 1,75 ou de 1,63 à 2. Cette longueur d'onde $\lambda = 440$ correspond à peu près à la lumière bleue qui agit dans la photographie, mais si l'on opérait avec des rayons à longueur d'onde plus courte, $\lambda = 300$ par exemple, on obtiendrait les mêmes résultats que si l'ouverture numérique s'élevait de 1,40 à 2,5 et 1,63 à 3. Ces chiffres indiquent suffisamment dans quelle mesure la photographie pourra élargir le champ des observations microscopiques.

pourra réaliser cette condition à l'aide du *portelumière*, miroir plan mobile dans toutes les directions, qui permet de rectifier de temps en temps le trajet des rayons envoyés vers le microscope. On aura soin d'interposer, entre ce dernier et le miroir, un écran percé en son centre d'une ouverture circulaire, et on s'arrangera, par les déplacements successifs qu'on imprimera au miroir, de manière que l'ouverture de l'écran reste toujours au milieu du cercle lumineux.

Les opérations photographiques étant toujours très courtes, on peut admettre que la direction des rayons éclairants ne subit pas de modification pendant l'exposition. Mais il est bien préférable de recourir à un héliostat qui maintiendra de lui-même les rayons lumineux dans une direction constante. On peut se procurer actuellement des héliostats à très bon marché, et dont l'installation n'exige aucune dépense.

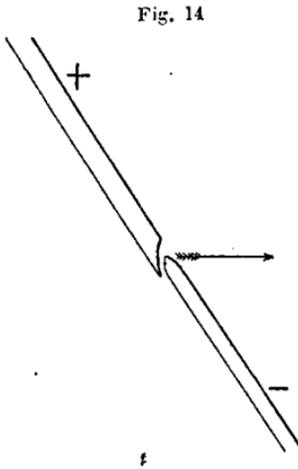
Il ne faudra pas oublier que la valeur actinique des rayons solaires varie, non seulement suivant l'heure du jour ou l'époque de l'année, mais aussi suivant l'état de l'atmosphère ; ces variations rendent parfois assez difficile l'évaluation des temps de pose. Malgré cet inconvénient, et bien qu'on ne puisse l'utiliser

dans nos climats que d'une manière très irrégulière, la lumière solaire devra toujours être préférée aux lumières artificielles, car elle offre des avantages considérables que n'ont pas ces dernières.

b) *Lumière électrique.* — La lumière fournie par l'arc voltaïque, en raison de son éclat et de sa richesse en rayons chimiques, est, de toutes les sources artificielles, celle qui se rapproche le plus de la lumière solaire. Elle exige malheureusement une installation assez coûteuse et une grande dépense d'électricité ; en outre il est très difficile d'obtenir, avec cette lumière, une fixité absolue et cet inconvénient empêche de l'employer directement en microphotographie. Toutefois, il existe certains régulateurs qui donnent une lumière suffisamment fixe : ainsi la lampe Reynier réalise cette condition, grâce à un dispositif spécial. Dans la lampe Soleil, les charbons maintenus à une distance invariable, se trouvent placés dans l'intérieur d'un bloc de marbre évidé que l'arc rend incandescent et qui fournit une lumière d'une fixité parfaite.

On sait que le charbon « + » est le plus brillant, et qu'il forme vis à vis du charbon « — » un cratère très éclatant duquel partent les rayons

lumineux, qui, dans la position verticale habituellement donnée aux charbons, sont dirigés obliquement vers le bas. Cette condition, qui est avantageuse pour l'éclairage ordinaire, est très mauvaise dans notre cas, et l'on devra choisir un système de régulateur pouvant s'incliner



de manière à ce que l'axe des charbons fasse avec la verticale un angle d'environ 30° : les rayons partant du cratère lumineux « + » auront alors une direction horizontale (fig. 14). S'il est impossible de donner cette inclinaison au régulateur, au moins aura-

t-on soin de placer le charbon « + » un peu en arrière et non immédiatement au-dessus du charbon « - » .

L'arc électrique offre sur toutes les autres sources artificielles une supériorité incontestable lorsqu'il est nécessaire d'opérer avec une lumière très éclatante et très photogénique, comme dans la microphotographie instantanée. Grâce à sa ri-

chesse en rayons très réfrangibles, la lumière de l'arc convient tout particulièrement pour éclairer les préparations d'objets dans lesquels on se propose de découvrir de très fins détails de structure. D'autre part, en raison de sa richesse en radiations ultra-violettes, il est bon, dans les observations ordinaires, d'interposer sur le trajet des rayons lumineux une solution fluorescente pour arrêter ces radiations, même lorsqu'on opère avec des objectifs apochromatiques.

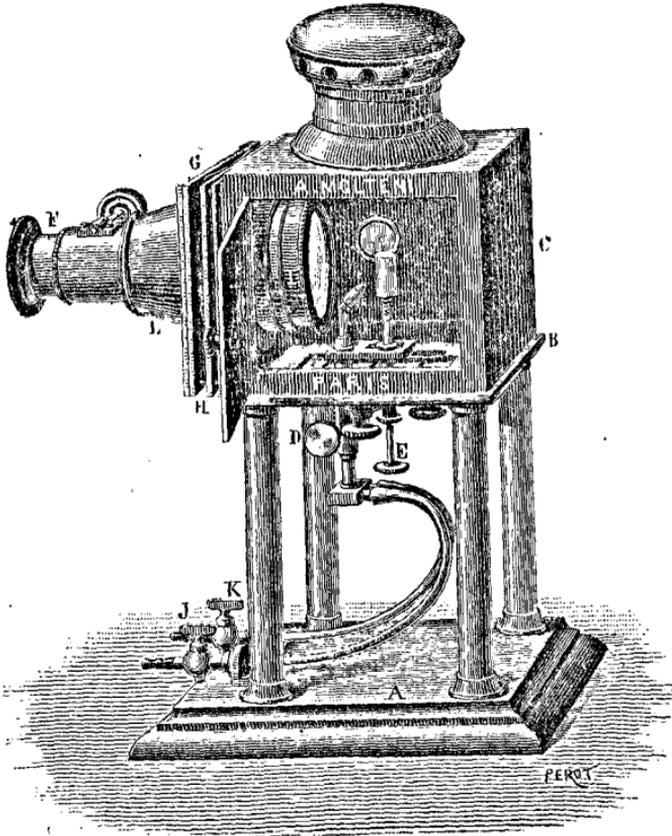
Les lampes à incandescence fournissent une lumière fixe assez photogénique, beaucoup moins éclatante que celle de l'arc, mais qu'on peut facilement produire partout à l'aide de piles ou d'accumulateurs. On préférera aux lampes ordinaires à filament, celles dont le charbon est renflé en une masse globuleuse ou discoïde, de manière à fournir un gros point lumineux. Il n'est pas nécessaire que les lampes soient fortes : des lampes de 10 à 16 bougies conviennent parfaitement, mais le courant doit toujours être maintenu à un potentiel suffisant pour donner une lumière parfaitement blanche ; si le filament est simplement rougi, la lumière ne sera pas photogénique. La lumière fournie par les lampes à incandescence est bien inférieure à celle de l'arc, et je ne partage pas l'opinion de quelques auteurs

qui ont exalté outre mesure les mérites de cette lumière. J'estime que les lampes donnent un éclairage qui n'est pas beaucoup supérieur à celui du gaz ou du pétrole; leur seul avantage est de dégager moins de chaleur, et encore cet avantage a-t-il été bien exagéré. On est étonné de lire dans certains ouvrages, qu'en raison du peu de chaleur dégagée par ces lampes, on peut les placer directement sous l'objectif, à la place du miroir. Or, après avoir fonctionné une ou deux minutes, les globes des lampes sont tout simplement brûlants et ils dégagent beaucoup de chaleur. De plus, si on laisse de côté la question du rayonnement, il est évident qu'on ne saurait disposer plus mal l'éclairage qu'en plaçant la lampe sous la préparation : le cône lumineux ainsi formé est très aigu, et les rayons arrivent à l'objectif presque parallèlement; aussi les contours sont-ils entourés de franges colorées et d'anneaux de diffraction.

c) *Lumière de Drummond.* — La lumière de Drummond ou oxhydrique s'obtient en projetant, sur un bâton de chaux ou de magnésie, la flamme produite par la combinaison de l'oxygène et de l'hydrogène ou du gaz d'éclairage. Les deux gaz arrivent séparément, par des tubes en caoutchouc pourvus de robinets qui per-

mettent de régler leur débit, à un chalumeau

Fig. 15



renfermé dans une lanterne montée sur pied
et pourvue d'un condensateur (fig. 15). Ce cha-

lumeau est actionné par des crémaillères qui permettent de le déplacer dans tous les sens ; le bâton de magnésie est maintenu à l'aide d'une broche dont on peut également modifier la position.

L'usage de la lumière de Drummond tend à se généraliser de plus en plus depuis que l'on trouve dans le commerce des tubes renfermant de l'oxygène comprimé à 125 kilogrammes, ce qui facilite singulièrement l'installation ; cette lumière est très suffisamment photogénique, bien qu'elle renferme plus de rayons rouges et jaunes que la lumière électrique. Il est à remarquer que les rayons actiniques sont plus nombreux quand on emploie un bâton de magnésie au lieu de chaux. En outre, le prix de revient de cette lumière est peu élevé. Elle présente néanmoins quelques inconvénients : le point lumineux n'est pas parfaitement fixe, et la chaleur dégagée est considérable.

d) *Lumière au magnésium.* — Cette lumière, beaucoup plus photogénique que la précédente, rappelle par ses qualités la lumière de l'arc électrique. Pour maintenir le fil ou le ruban métallique en ignition à une hauteur convenable, on construit des lampes spéciales dans lesquelles un mouvement d'horlogerie déroule le fil placé

sur une bobine de manière à ce que son extrémité reste constamment à la hauteur de l'axe de la lentille condensatrice. Toutefois il est difficile de régler ce mouvement d'une manière uniforme, de telle sorte que la lumière obtenue n'est pas très fixe.

Il existe plusieurs modèles de lampes-éclair, ou revolvers, permettant d'obtenir un éclair magnésien produit par la combustion de la poudre de magnésium, et qui pourront rendre des services dans la photographie microscopique instantanée.

e) Gaz et pétrole. — Les flammes produites par la combustion du gaz ou du pétrole donnent des lumières très fixes et dont le pouvoir photographique est suffisant pour les grossissements faibles ou moyens, mais elles permettent difficilement l'emploi de forts grossissements. Il arrive, en effet, si la lumière est insuffisante, que le champ reste trop obscur et la mise au point est rendue très difficile; mais en outre, et ceci est un inconvénient plus grave, il y a très peu de contraste entre le fond et l'objet à photographier, et il en résulte que l'épreuve manque de vigueur.

On construit depuis quelques années, de nombreuses formes de brûleurs : lampe de

Wedham, de Siemens, de Sée, systèmes à l'albocarbon, à la ligroïne, etc., grâce auxquels la lumière du gaz prend beaucoup d'éclat, et qu'on pourra utiliser en microphotographie. Les bees Aüer au zircon, et Clamard à la magnésic, fournissent également une bonne lumière, mais il est impossible de projeter une image nette de la flamme sur la préparation car on obtiendrait en même temps l'image du treillis qui enveloppe cette flamme. Quant au pétrole, il existe aussi plusieurs systèmes de lampes qui permettent d'obtenir une bonne lumière et entre lesquels on aura que l'embarras du choix.

22. — Il résulte de ce que nous venons de voir, que toutes les sources lumineuses ont leurs avantages et leurs inconvénients, et qu'il est bon d'être installé de manière à pouvoir disposer, suivant les cas, de deux sources lumineuses différentes. L'éclairage le plus économique et le plus facile à réaliser est incontestablement celui du gaz ou du pétrole qui convient très bien pour le travail ordinaire et pour les grossissements faibles et moyens.

A cet éclairage, on substituera, pour les forts grossissements, et pour certains cas spéciaux comme la photographie dans des rayons très

réfrangibles, l'éclairage à l'arc voltaïque, ou, ce qui est beaucoup plus économique, l'éclairage par le soleil qu'on obtiendra à l'aide d'un simple porte-lumière si l'on recule devant les frais d'installation d'un héliostat.

23. Installation de la source lumineuse.

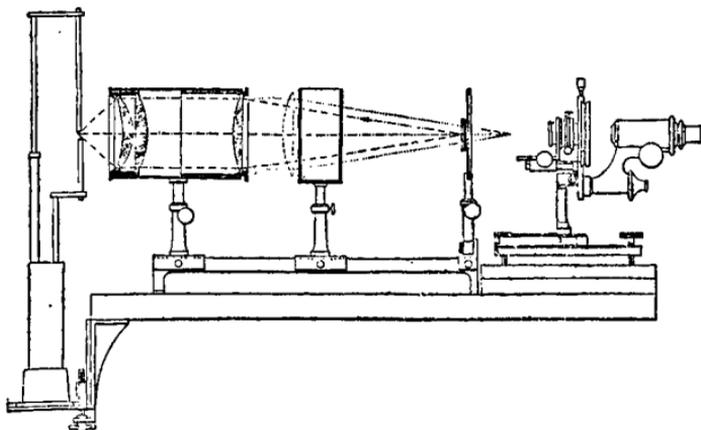
Banc optique. — Pour obtenir rapidement un bon éclairage et pour en modifier facilement les qualités, il est indispensable d'installer un banc optique dont l'emploi a été indiqué par Moitessier. On désigne sous ce nom une sorte de règle ou de table étroite, à coulisse (*fig. 7*), à l'une des extrémités de laquelle le microscope se trouve solidement fixé, et dans laquelle peuvent glisser une lentille collectrice à grand foyer bien achromatisée, des diaphragmes, des cuves à faces parallèles, une pièce supportant un disque de verre dépoli, un porte-écran, etc. Tous ces appareils devront être parfaitement centrés avec le microscope photographique et avec son condensateur, et la source lumineuse sera placée exactement dans l'axe optique de l'ensemble de l'appareil.

Les cuves à faces parallèles renfermeront, soit une solution colorée pour rendre la lumière monochromatique, soit une solution d'esculine destinée à absorber les radiations ultra-violettes

soit enfin une solution d'alun qui absorbera les rayons calorifiques.

Au lieu d'une simple lentille collectrice, on pourra disposer sur le banc optique un système analogue à celui qui existe dans le grand appareil microphotographique de Zeiss et qui est très

Fig. 16



recommandable (*fig. 16*). Ce système comprend trois lentilles renfermées dans une monture formée de deux tubes métalliques pouvant rentrer l'un dans l'autre. Le tube extérieur est fixe et il renferme deux lentilles qui sont des lentilles collectrices; le tube intérieur, mobile, porte la troisième lentille qui est une lentille condensatrice.

En déplaçant cette lentille, on modifiera également la position du foyer conjugué de la source.

25. — Il y a lieu de considérer deux modes d'éclairage distincts : l'éclairage direct et l'éclairage indirect ; dans le premier cas le condensateur reçoit directement les rayons lumineux de la source recueillis par la lentille à grand foyer ; dans le deuxième, on forme, à l'aide de cette lentille, une image de la source sur un disque de verre dépoli qui se trouve ainsi brillamment éclairé, et qui sert lui-même de source lumineuse.

a) *Eclairage direct.* — Ce mode d'éclairage, qui offre l'avantage d'utiliser les rayons lumineux sans que leur intensité soit affaiblie, ne s'applique qu'à la lumière solaire, ou aux lumières artificielles parfaitement fixes.

Si l'on emploie le soleil, la disposition est très simple, et il n'est pas nécessaire de prendre une lentille collectrice. Les rayons sont renvoyés par le miroir de l'héliostat dans la direction de l'axe optique du microscope photographique, sur le condensateur. Le banc optique porte seulement un diaphragme, dont l'ouverture correspond au diamètre du condensateur et deux cuves à faces parallèles, dont l'une renferme une solution d'alun, et l'autre, s'il y a lieu,

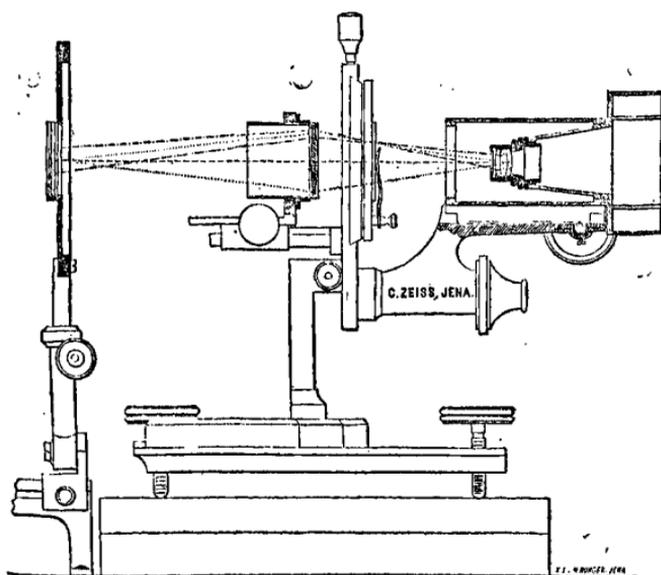
une solution colorée qu'on peut remplacer par un verre coloré. On déplace le condensateur dans un sens ou dans l'autre de manière à projeter sur l'objet, ou mieux sur la lentille frontale de l'objectif, une image nette du soleil. Pour arriver facilement à ce résultat, il est commode de recouvrir cette lentille d'une feuille de papier sur laquelle on observe l'image et qu'on enlève lorsque celle-ci se trouve nette.

Si l'on prend une source lumineuse artificielle, on devra en condenser une première fois les rayons à l'aide de la lentille collectrice ou du collecteur de Zeiss, qu'on dispose par rapport à la source de manière à former une image nette de celle-ci à 25 ou 30 centimètres environ du microscope. Les rayons qui se sont coupés en ce point sont ensuite reçus par le condensateur qu'on déplace dans un sens ou dans l'autre jusqu'à ce qu'une image nette de la source se forme sur la préparation, comme dans le cas précédent.

b) Eclairage indirect. — Si la source artificielle dont on dispose n'offre pas une fixité parfaite, on placera à 25 ou 30 centimètres en avant du microscope un disque en verre dépoli ou en corne sur lequel on projette, à l'aide de la lentille collectrice, l'image de la source. Ce disque très éclairé devient ainsi une véritable

source lumineuse, mais cette fois parfaitement fixe, dont les rayons sont reçus par le condenseur. Cette disposition a pour résultat de diminuer d'une manière notable l'intensité des rayons éclairants, mais si la source est suffisam-

Fig. 17



ment éclatante, cet inconvénient sera peu sensible. On sera ordinairement obligé d'y recourir toutes les fois que l'on opérera avec la lampe à arc ou au magnésium, et même avec la lumière de Drummond (*fig. 17*).

Cette méthode devra encore être appliquée lorsqu'on photographiera à de faibles grossissements. On conçoit en effet que si le grossissement est très faible, l'image projetée par le condensateur, quelle que soit la source, puisse ne pas remplir tout le champ; l'interposition d'un verre dépoli produira le même effet que si l'on augmentait beaucoup les dimensions de la source. Il arrivera même parfois que dans ces conditions on ne pourra pas éclairer le champ tout entier; on remplacera alors le condensateur par une lentille biconvexe, ou même on le supprimera purement et simplement.

Je ferai remarquer à ce sujet qu'il est beaucoup plus difficile d'obtenir un bon éclairage avec un grossissement faible qu'avec un grossissement fort. Dans ce dernier cas, en effet, rien n'est plus facile que de trouver, dans l'image très vive qu'on projette sur le microscope, une région parfaitement uniforme, assez grande pour éclairer tout le champ. Mais si le grossissement est faible, l'image projetée devra être reçue toute entière par l'objectif, et dans certains cas même elle suffira à peine pour éclairer tout le champ: si cette image n'est pas parfaitement uniforme, l'éclairage sera défectueux. On devra donc modifier les positions relatives de

la source, du disque en verre dépoli, de la lentille collectrice, éloigner ou supprimer le condensateur, etc., suivant la nature de la source dont on dispose, jusqu'à ce que le champ soit uniformément éclairé.

Il faut avoir soin de choisir un verre dépoli à grain très fin, et de ne pas former sur la préparation une image parfaitement nette du disque, autrement le grain formerait son image tout aussi bien que les différentes parties de l'objet à photographier et il donnerait au champ un aspect marbré.

26. — En résumé, pour que l'éclairage de l'appareil microphotographique soit bon les conditions suivantes devront être réalisées :

1° La source lumineuse doit être fixe ; si elle manque de fixité, on projettera son image sur un verre dépoli qui servira à son tour de source pour l'éclairage.

2° Le champ doit être vivement et uniformément éclairé. Il arrivera parfois qu'après avoir disposé l'éclairage pour le mieux, et obtenu un champ qui paraîtra, à l'œil, uniformément éclairé, on trouve après développement le cliché inégal, plus foncé d'un côté que de l'autre. Ce défaut provient d'un centrage imparfait de la source lumineuse et des différentes pièces inter-

posées entre cette source et la plaque sensible, et on devra le rectifier.

3° La partie utile de l'objet à photographier doit être seule éclairée, et l'objectif ne recevra pas d'autres rayons que ceux qui doivent concourir à la formation de l'image sur le verre dépoli. Ce résultat s'obtient en diaphragmant convenablement le faisceau éclairant avant son entrée dans le condensateur. Si l'on opère sans condensateur et avec des objectifs à long foyer, on placera le diaphragme immédiatement au devant de la préparation, et l'on pourra même interposer, entre celle-ci et l'objectif, un tube en carton noir n'admettant que les rayons qui ont traversé la région que l'on se propose de photographier.

4° L'ouverture du condensateur sera convenablement réglée; l'intensité de la lumière, et surtout la nature des rayons éclairants, seront appropriées au genre de préparation que l'on veut photographier.

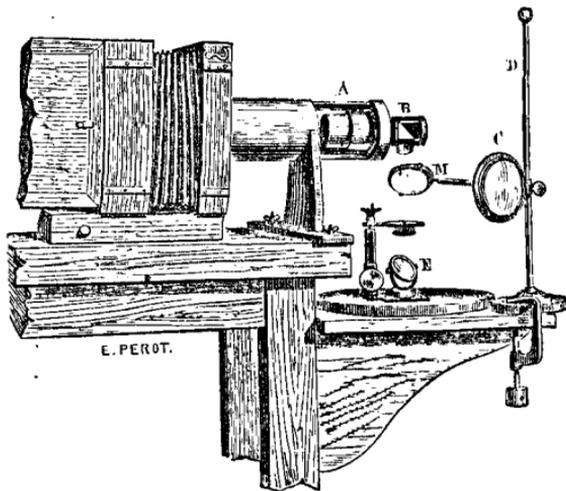
27. Éclairage des objets opaques. — Nous ne nous sommes occupés jusqu'à présent que de l'éclairage d'objets transparents, à la lumière transmise : c'est le seul mode d'éclairage qui convienne pour la photographie de préparations microscopiques. Autrefois on se servait beaucoup

de l'éclairage à la lumière réfléchie qui n'est plus employé aujourd'hui que pour des objets opaques, et encore y a-t-on bien rarement recours. Nous devons cependant en dire quelques mots.

Les objets opaques, qui sont ordinairement de très petites dimensions, pourront être éclairés à l'aide du miroir de Lieberkuhn, c'est-à-dire d'un miroir parabolique percé d'une ouverture pour laisser passer l'objectif. Cette ouverture est munie d'un tube qui peut glisser sur l'objectif, et qui permet de déplacer le miroir de manière à ce que son foyer coïncide avec l'objet à photographier. Comme l'a fait remarquer Moitessier, un inconvénient du miroir de Lieberkuhn consiste dans l'éclairage très uniforme qu'il communique aux objets : il réfléchit la lumière dans toutes les directions, et il produit par conséquent des ombres dirigées symétriquement de la circonférence au centre et qui ne répondent pas à la réalité. Moitessier a employé un autre dispositif qui permet d'obtenir tous les degrés d'obliquité dans l'incidence de la lumière (*fig.* 18). Voici comment il le décrit : « La lumière réfléchie par un miroir tombe sur une lentille convergente achromatique C de 30 centimètres de foyer environ et mobile sur un support vertical D ; une tige de cuivre parallèle à l'axe de la lentille est fixée

sur la douille qui glisse sur le support. Cette tige, percée de plusieurs trous, reçoit un petit miroir plan *M* qui a pour usage d'infléchir dans toutes les directions la lumière réfractée qui tombe à sa surface. Il est, comme on le voit, toujours facile de faire coïncider l'objet à reproduire avec le

Fig. 18

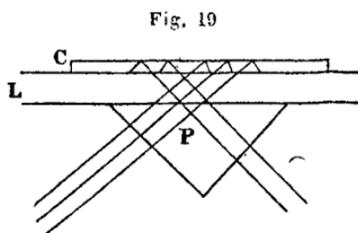


foyer du condensateur, et de varier l'obliquité de la lumière en éloignant plus ou moins le réflecteur de l'axe de l'appareil amplifiant. Cette disposition permet aussi de modérer à volonté l'intensité de la lumière en plaçant la préparation dans diverses portions du cône lumineux.

Une lentille de 8 centimètres suffit généralement à tous les cas, et encore est-il avantageux de la munir d'un diaphragme de 5 à 6 centimètres afin d'éliminer les rayons les plus latéraux qui sont plus nuisibles qu'utiles ».

L'éclairage à l'aide du miroir de Lieberkuhn ou de la lentille de Moitessier ne s'applique qu'aux cas où l'on se sert d'un objectif à long foyer, car si ce foyer était court l'objectif se trouverait assez rapproché de l'objet pour intercepter tous les rayons incidents.

28. — Si l'on voulait obtenir l'éclairage à la lumière réfléchie d'objets transparents et destinés à être fortement grossis, on aurait recours à un dispositif tout différent et dont le principe est



dû à Wenham. On colle au baume de Canada, à la face inférieure du porte-objet (fig. 19), un prisme triangulaire à angle droit P, par sa face hypoténuse. Si l'objet se trouve inclus dans un médium dont l'indice est égal à celui du prisme et du porte-objet, les rayons qui tombent perpendiculairement sur les deux faces du prisme tra-

verseront en ligne droite tout l'ensemble jusqu'au couvre-objet C, sur la surface supérieure duquel ils subissent la réflexion totale, et d'où ils reviennent ensuite sur l'objet qu'ils éclairent comme s'ils venaient directement d'en haut. Wenham a remplacé ce prisme par une lentille parabolique dont l'extrémité est coupée de manière à former une surface plane dont le milieu est occupé par un disque noirci. On place cette lentille immédiatement en dessous de la préparation.

La lentille à éclairage sur fond noir de Nachet et le *vertical illuminator* de Beck remplissent le même but. Nous n'entrerons pas dans la description de tous ces appareils qui ont eu autrefois beaucoup de vogue et qui sont à peu près abandonnés aujourd'hui.

IV. PRÉPARATIONS

29. Qualités que doivent avoir les préparations à photographier. — Les préparations que l'on se propose de photographier doivent être absolument irréprochables. Des préparations simplement bonnes peuvent être suffisantes pour l'observation microscopique or-

dinaire, quand les objets sont bien fixés, bien colorés, que les coupes sont bien lisibles, etc. Les imperfections de la préparation, les corps étrangers qui se trouvent dans le liquide d'inclusion ou dans le corps même de l'objet ne gênent point l'étude ; si la coupe n'est pas parfaitement plane, l'observateur, par les mouvements de la vis micrométrique, fait plonger l'objectif à travers les différents plans de la préparation, et, même sans qu'il s'en doute, son œil combine les différentes images qu'il perçoit pour en faire une image unique. En microphotographie il n'en est plus ainsi ; la plaque sensible reproduit avec la même fidélité, et en leur donnant la même importance, les détails qui nous intéressent aussi bien que les corps étrangers, les bulles d'air, les défauts de la préparation, etc. ; rien ne lui échappe. De plus elle ne reproduit nettement que les parties exactement mises au point, et qui sont comprises dans un cercle n'occupant qu'une région plus ou moins limitée du champ. Le diamètre de ce cercle dépend de la *planéité* de la préparation et du grossissement : à mesure que le grossissement augmente, la pénétration de l'objectif diminue et la partie centrale nette de l'image devient plus petite.

Le micrographe devra donc apporter tous ses soins à la confection des préparations qu'il se propose de photographier; il devra filtrer les liquides d'inclusion, il évitera les bulles d'air, les plissements, etc.; les coupes devront être faites aussi minces que possible, et les préparations seront passées au compresseur. On ne se contentera pas du compresseur ordinaire dont l'effet ne porte que sur un point du couvre-objet, et qui, à cause de l'élasticité de celui-ci, n'aplatit qu'une partie de la préparation, mais on placera sur ce couvre-objet une plaque de verre épais, et ayant les mêmes dimensions que lui, sur laquelle on exercera la pression convenable. Mais quelques précautions que l'on prenne, on n'obtiendra jamais une préparation rigoureusement plane; les préparations faites par évaporation sur le couvre-objet fournissent elles-mêmes des images, qui, aux forts grossissements, ne sont nettes que dans la partie centrale seulement du champ. On sera donc obligé de parcourir attentivement la préparation, et de choisir, parmi les points intéressants, ceux qui correspondent aux endroits les plus plans.

Les couvre-objets devront être très minces, car la distance entre la préparation et la lentille frontale de l'objectif est toujours plus courte au

microscope photographique qu'au microscope ordinaire.

30. Coloration des préparations. — Les objets à photographier peuvent être colorés ou non colorés. En général, les préparations végétales offrent des contours suffisamment tranchés pour être photographiées sans le secours des colorations ; il n'en est pas de même des tissus animaux. On aura souvent avantage à photographier un même objet non coloré et coloré. Telle préparation non colorée, dont l'examen au microscope ordinaire ne donnait aucun résultat intéressant, pourra fournir, si l'éclairage est convenablement modifié, un cliché offrant des détails que notre œil n'apercevait pas et que la coloration pourrait effacer. Lorsque les objets sont colorés, l'impression sur la plaque sensible, au lieu de dépendre des différences dans la réfringence des éléments, est liée aux différences dans l'absorption des rayons lumineux par ces derniers.

Les liquides colorants les plus employés par les naturalistes fournissent des colorations qui se ramènent, en définitive, au rouge et au bleu ; les couleurs jaunes et vertes ont peu d'utilité. Pendant longtemps on a considéré comme chose fort difficile la photographie d'objets microscopiques.

priques colorés en bleu ou en violet, car les clichés venaient gris et uniformes, et l'image se détachait mal du fond. Cet inconvénient provenait de ce que les micrographes n'avaient à leur disposition que des plaques ordinaires. Actuellement il est possible de photographier des préparations offrant n'importe quelle coloration en se servant de plaques orthochromatiques sensibles au jaune, à condition d'interposer un écran jaune comme nous l'avons vu.

Il ne faut pas croire toutefois qu'il soit indifférent, pour le résultat final, que la préparation soit colorée en rouge ou en bleu. Si cette coloration n'est pas déterminée par des raisons de technique histologique, on aura dans certains cas avantage à faire un choix. Un objet teint en rouge ou en brun, couleurs tout-à-fait anti-photogéniques, donnera toujours une image dure, sans détails dans les parties fortement colorées; tandis que s'il est coloré en bleu, le cliché sera plus doux, plus harmonieux, et les détails viendront mieux. La plupart des zoologistes préfèrent, pour leurs études, les colorations rouges que donnent ordinairement les liqueurs au carmin, aux colorations bleues fournies par l'hématoxyline ou d'autres substances. Notre œil voyant mieux le rouge que le bleu, les préparations tein-

tes en rouge sont toujours plus brillantes, plus transparentes, plus lisibles, moins *empâtées* que les préparations colorées en bleu. Si en photographiant ces préparations, on se propose seulement d'obtenir des contours nets, on prendra des plaques orthochromatiques ordinaires, sensibles au jaune; mais si les parties colorées offrent des détails d'organisation qu'il est essentiel d'obtenir sur la photographie, ou si l'on veut avoir un cliché modelé et les demi-teintes, comme cela arrivera lorsqu'il s'agira de reproduire des embryons, des larves, de petits animaux entiers, etc., il sera indispensable de prendre des plaques orthochromatiques sensibles au rouge, en interposant comme toujours l'écran jaune.

Enfin il est à peine besoin de faire remarquer que les objets à photographier dans la lumière monochromatique bleue ne devront jamais être teints de cette couleur.

31. Liquides d'inclusion. — Il n'y a pas lieu de modifier les liquides à inclusion en vue de la microphotographie. La plupart des objets microscopiques conservés en préparations persistantes sont inclus dans le baume qui convient parfaitement. On emploie beaucoup depuis quelques années des liquides à haut indice; naphthaline monobromée ($n = 1,65$), solution de

phosphore dans le sulfure de carbone ($n = 2,1$), réalgar ($n = 2,4$). Ces médiums seront utiles dans certains cas. Il sont bien préférables, pour l'étude des fines structures, au montage dans l'air qui ne permet pas d'utiliser en entier le pouvoir résolvant de l'objectif. En effet, le résultat est le même, avec une préparation à sec, que si l'ouverture numérique a de l'objectif était de $\frac{a+1}{2}$; ainsi un objectif de $ON = 1,30$ se comporterait comme un objectif de

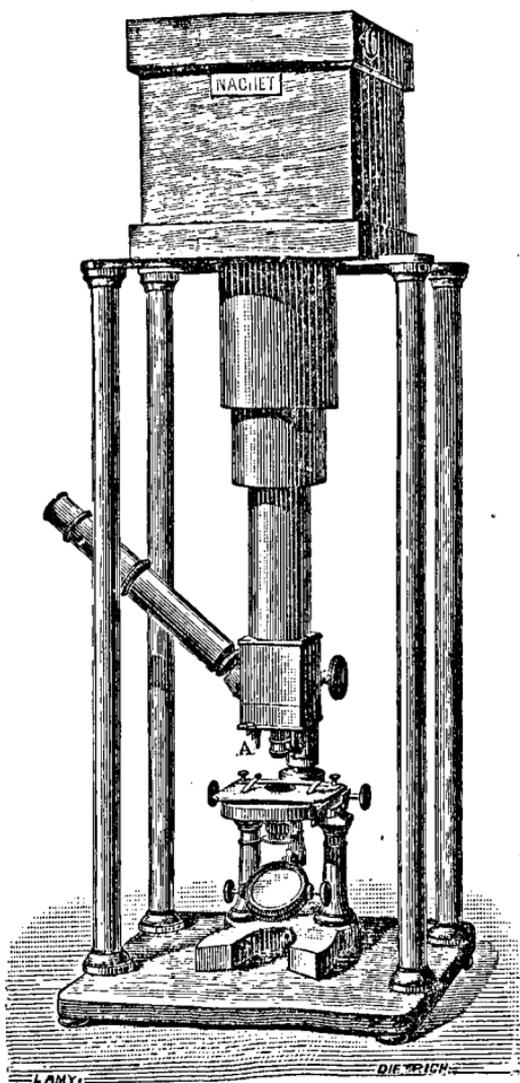
$$ON = \frac{1,30 + 1}{2} = 1,15.$$

V. MÉTHODES MICROPHOTOGRAPHIQUES SPÉCIALES

Photographie microscopique instantanée

32. — La disposition ordinaire du microscope photographique doit être modifiée pour faire les épreuves instantanées. Il est indispensable, en effet, que l'opérateur suive sur la préparation les objets en mouvement qu'il se propose de photographier en même temps qu'il maintient exactement la mise au point par les mouvements communiqués à la vis micrométrique; puis quand

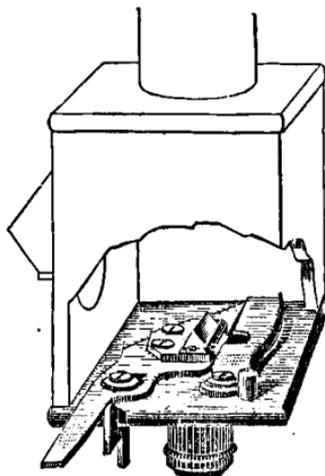
Fig. 20



ces objets se trouvent dans la position voulue, il agit sur un obturateur qui permet à l'image de se projeter pendant un temps très court sur la plaque photographique.

33. Appareil de Nachet. — Dans l'appareil construit spécialement par Nachet pour la microphotographie (*fig. 20*), le microscope est vertical et la chambre

Fig. 21



noire est adaptée au tube comme d'habitude. Un deuxième tube latéral oblique permet à l'observateur d'étudier la préparation. A cet effet, on a disposé au-dessus de l'objectif un prisme (*fig. 21*) qui dirige l'image dans ce tube latéral : ce prisme sert lui-même d'obturateur, et lors-

qu'il est en place, la plaque sensible ne reçoit aucune lumière. En même temps qu'il examine la préparation, l'opérateur a le doigt sur une détente qui peut déplacer le prisme. Quand l'objet à photographier se présente conve-

nablement et se trouve bien au point, il presse la détente qui chasse le prisme de côté et permet l'arrivée des rayons lumineux qui iront impressionner la plaque pendant un temps très court. Une disposition spéciale du tube oculaire permet le changement de la mise au point, et chaque opérateur doit régler l'appareil une fois pour toutes de manière que quand l'image est exactement au point dans l'oculaire, elle soit aussi parfaitement nette sur la plaque sensible.

L'appareil photographique de Nacet est disposé pour fonctionner sans oculaire de telle sorte que les images sont toujours assez petites. De fait, il est bien difficile, en microphotographie instantanée, d'employer des oculaires qui absorberaient trop de lumière, mais on pourrait parfaitement disposer un amplificateur au-dessus de l'objectif, en ayant soin, bien entendu, de modifier la mise au point.

Appareil de Capranica. — Cet auteur a donné récemment une description, assez embrouillée d'ailleurs, d'un appareil à microphotographie instantanée de son invention. La chambre noire est horizontale et porte en avant un tube coudé renfermant un prisme à réflexion totale. On interpose entre ce tube et le microscope un

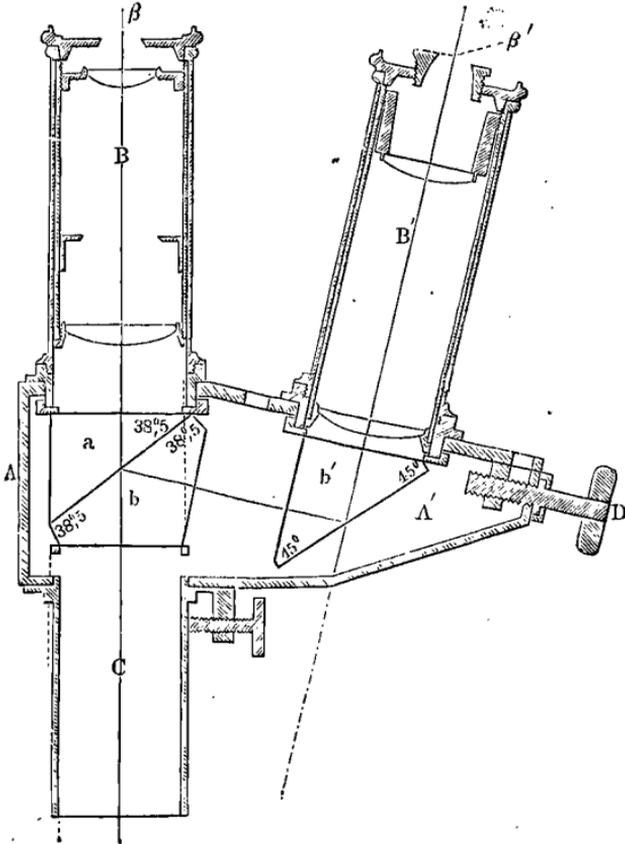
oculaire stéréoscopique d'Abbe, de telle sorte que les rayons qui doivent former l'image à photographier traversent la branche directe, tandis que l'observateur étudie la préparation par la branche latérale. La branche directe ne porte pas d'oculaire, la branche latérale est surmontée d'un tube pourvu d'une crémaillère, à l'extrémité duquel on place l'oculaire. On détermine, une fois pour toutes, et d'une manière très rigoureuse, la longueur qu'il faut donner à ce tube pour que l'image soit nette sur la plaque quand elle est nette pour l'œil de l'observateur. M. Capranica emploie un châssis spécial qui remplirait d'après lui un triple but, car il servirait à la fois comme châssis porte-glace, comme support [à verre dépoli (1)], et comme obturateur. Ce châssis renferme, entre autre, une bande de caoutchouc imperméable à la lumière qui s'enroule sur deux cylindres et qui fonctionne comme obturateur grâce à un mécanisme spécial : la description de ce châssis est d'ailleurs parfaitement incompréhensible.

34. — Chacun pourra réaliser très simplement

(1) On ne voit pas d'utilité d'un verre dépoli puisque l'observateur étudie la préparation et la met au point en l'examinant par le tube latéral.

une installation permettant, d'obtenir des photographies instantanées sans être obligé de faire

Fig. 22



l'achat d'un appareil spécial. Il suffira d'adapter au microscope un oculaire stéréoscopique d'Abbe

(fig. 22) dont on reliera la branche directe à la chambre noire. Cette branche portera un obturateur ordinaire, avec poire en caoutchouc, ou mieux à déclenchement électrique. La branche latérale sera munie d'un tube en carton noirci dans lequel sera placé l'oculaire et auquel on donnera, par tâtonnements, une longueur telle que l'image soit nette sur le verre dépoli lorsque l'observateur la voit nette dans l'oculaire.

On pourrait enfin employer une chambre noire telle que celle de Cohn que nous décrirons en étudiant les procédés pour la photographie des cavités internes, et qui permet d'observer l'image sur le verre dépoli en même temps que la plaque sensible est exposée.

Quel que soit le dispositif employé, il est évident que le microscope devra être vertical, les objets que l'on doit photographier étant en mouvement et observés en préparations extemporanées.

35. — La photographie microscopique instantanée présente d'assez sérieuses difficultés, et pour bien réussir il est nécessaire de réaliser certaines conditions, particulièrement en ce qui concerne l'éclairage qui doit être aussi intense que possible. On renoncera donc à des sources

qui donnent une lumière très brillante à la vérité, mais relativement pauvre en rayons actiniques, comme le gaz ou le pétrole et même les lampes à incandescence ou la lumière oxhydrique, pour recourir à la lumière solaire ou à l'arc voltaïque. On ne peut songer, en effet, à faire ces photographies dans la lumière jaune, qui, même avec les plaques orthochromatiques, exige une pose trop longue. On devra donc employer de préférence des objectifs apochromatiques et opérer en lumière bleue; celle que l'on obtient en interposant sur le trajet des rayons une cuve renfermant de la liqueur de Barcswill, est très convenable, et sa richesse en rayons chimiques permet d'obtenir facilement des instantanés.

A défaut d'objectif apochromatique, on pourrait, à la rigueur, obtenir des résultats suffisants avec les objectifs ordinaires à foyer chimique peu apparent. En effet, dans la microphotographie instantanée, on se propose moins de photographier des détails d'organisation, qu'on a avantage à rechercher dans des préparations persistantes, que les *formes* des objets en mouvement, les attitudes, les différentes phases des mouvements que peuvent offrir les organismes microscopiques.

Dans tous les cas, on aura soin de condenser

fortement la lumière pour obtenir un éclairage aussi intense que possible ; on réglera l'ouverture du cône lumineux de manière à ce que les objets tranchent le plus nettement possible sur le fond et que les contours soient très accusés. On rejettera également les objectifs à grande ouverture pour choisir des objectifs à ouverture plus petite, mais ayant une grande profondeur.

Epreuves stéréoscopiques

36. — La production d'images stéréoscopiques peut être réalisée en microphotographie comme dans la photographie ordinaire. Ces images n'offrent aucun intérêt scientifique ; nous ne donnerons donc que quelques indications sommaires sur la manière de les produire.

On sait que pour obtenir une photographie stéréoscopique, il faut que l'objet soit photographié sous deux angles différents. Cette condition peut être réalisée de deux manières, soit en photographiant le même objet successivement avec les deux moitiés d'un même objectif, soit en déplaçant l'objet par un mouvement de bascule de manière à lui faire prendre devant l'objectif deux positions différentes. Voici, d'après Moitessier, qui s'est beaucoup occupé de stéréoscopie micro-

scopique, la manière d'opérer avec l'une et l'autre de ces deux méthodes.

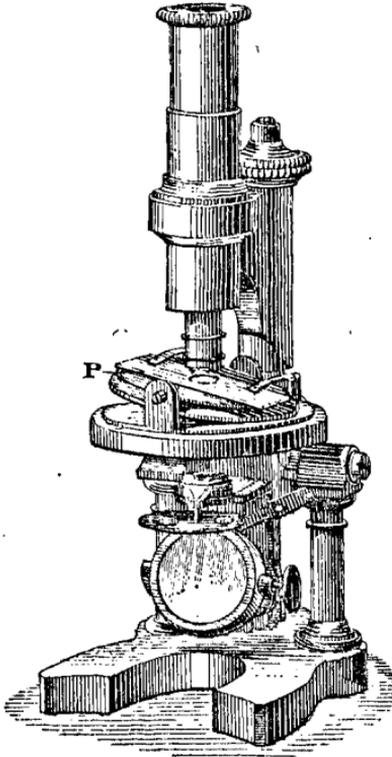
1° Pour photographier un objet successivement avec les deux moitiés d'un même objectif, il suffit le plus souvent, lorsqu'il s'agit d'un faible grossissement ce qui est le cas général, de placer contre la lentille postérieure de l'objectif un demi-diaphragme de papier noir. L'objectif étant mis en place, on fait un premier cliché, puis on dévisse l'objectif d'un demi-tour et l'on prend un deuxième cliché. Il est inutile de dire que la mise au point étant un peu changée devra être rétablie après chaque manœuvre. Pour obtenir plus de précision, Moitessier adaptait au microscope un tube dans lequel glissait à frottement doux un deuxième tube intérieur portant à son extrémité un demi-diaphragme et sur lequel on vissait l'objectif.

Cette méthode ne convient que pour la photographie d'objets opaques éclairés à la lumière réfléchie. En photographiant par ce procédé des objets transparents éclairés à la lumière transmise, les images se trouvent éclairées dans des directions souvent complètement opposées, de telle sorte que leur superposition dans le stéréoscope donne lieu à des effets que l'œil ne peut comprendre, et qui détruisent plus ou moins

complètement la sensation du relief. La méthode suivante n'offre pas cet inconvénient.

2° Au lieu d'amener le même objectif dans deux positions différentes par rapport à l'objet,

Fig. 23



il est préférable de faire occuper à l'objet deux positions différentes par rapport à l'objectif. On se sert pour cela d'un petit appareil inventé par Moitessier : la *bascule stéréoscopique*. Cet appareil qui se fixe sur la platine du microscope (*fig. 23*), comprend une plaque sur laquelle on place la préparation et qui peut recevoir,

dans les deux sens, une inclinaison de quelques degrés autour de son axe transversal.

L'inclinaison sera d'environ 10° pour des objectifs très faibles, et on la diminuera à mesure que le grossissement deviendra plus fort.

On prendra donc successivement deux clichés de la préparation, mais on aura soin d'observer les règles suivantes desquelles dépend la réussite. Il faut 1° que l'axe de rotation coïncide avec la surface de l'objet à reproduire sans quoi l'objet se déplacerait par suite du mouvement de la bascule ; 2° que la partie sur laquelle on met au point coïncide avec l'axe de rotation de la préparation, c'est-à-dire que le centre du champ paraisse immobile pendant le mouvement de bascule ; 3° que la deuxième mise au point soit faite sur la même partie de la préparation que la première.

Le plus grand inconvénient de ce procédé est que l'objet se présentant devant l'objectif d'une façon oblique, il est difficile de mettre au point une surface étendue, même avec des objectifs ayant une grande profondeur.

3. Microphotographie à la lumière polarisée

37. La microphotographie à la lumière polarisée ne présente aucune difficulté. On disposera le polariseur et l'analyseur comme d'ordinaire,

mais par suite de la perte de lumière considérable que produisent ces appareils, on sera obligé de recourir à un éclairage très intense. Il est indispensable de se servir de plaques orthochromatiques pour obtenir les valeurs relatives exactes des teintes. Il est inutile d'insister sur cette méthode qui n'offrira aucune importance tant qu'on n'aura pas trouvé un moyen commode de photographier les couleurs, car les renseignements que fournit le microscope polarisant sur la structure des corps dépendent en grande partie de la comparaison des couleurs que l'on observe et qui, actuellement, ne peuvent être obtenues en photographie que par des opérateurs très habiles.

4. Microspectrophotographie

38. Pour obtenir au microscope le spectre d'une substance dont on ne possède qu'une très petite quantité, on remplace l'oculaire ordinaire par un microspectroscope. L'appareil construit par Zeiss peut servir aussi pour la photographie et voici les indications que donne ce constructeur à ce sujet : L'appareil se compose d'un oculaire muni d'un prisme droit d'Amici qu'on emploie comme un oculaire ordinaire. Pour photographier un spectre, on commence par projeter sur

le verre dépoli, à l'aide d'un oculaire à projection, l'image nette de l'objet à photographier. On remplace ensuite les deux lentilles oculaires du microspectroscope par celles de l'oculaire à projection et l'on dispose l'appareil ainsi modifié à la place de cet oculaire. On écarte alors le prisme d'Amici hors de l'axe optique en déplaçant un pivot, et on forme au moyen de la lentille oculaire supérieure du microspectroscope une image nette de la fente de ce spectroscope sur l'écran. L'image de l'objet dont on veut obtenir le spectre se trouve également nette dans l'image de la fente dont on règle la hauteur et la largeur de manière à ce que celle de l'objet la remplace complètement. Enfin on remet en place le prisme d'Amici dans l'axe de l'instrument devant la lentille oculaire qui ne reçoit plus dès lors que la lumière ayant traversé la partie de la préparation que l'on veut photographier.

Il est indispensable de recourir à la lumière solaire. On se servira de plaques orthochromatiques ordinaires sensibles au jaune, ou même de plaques sensibles au rouge, lorsque les bandes d'absorptions du spectre à photographier seront situées en deçà de la raie D.

VI. OPÉRATIONS

39. Si les qualités des appareils ont une grande importance en microphotographie, les méthodes en ont peut-être une plus grande encore, et les débutants devront connaître et observer ponctuellement certaines règles sous peine de n'obtenir que de mauvaises épreuves. Nous avons étudié les conditions que devaient remplir les appareils : l'objectif, l'oculaire, les condensateurs, l'éclairage ; voyons maintenant comment l'opérateur devra s'y prendre pour obtenir une bonne photographie microscopique.

Les deux conditions fondamentales qu'il faut réaliser consistent : 1° à éclairer convenablement l'objet, 2° à projeter une image nette sur le verre dépoli. Les opérations subséquentes, exposition et développement de la plaque sensible, traitement du cliché, tirage des positifs, etc., sont du domaine de la photographie pure, et elles ne présentent, par conséquent, aucune difficulté.

40. On devra commencer par centrer très exactement tout l'appareil microphotographique. Cette opération sera faite une fois pour toutes, mais le centrage étant fatalement destiné à être

dérangé, il est nécessaire, sinon de le régler à chaque nouvelle séance, au moins de s'assurer s'il est toujours suffisant et de remettre en place les pièces décentrées. Lorsque l'on a réglé la direction des rayons lumineux à l'aide de la grande lentille collectrice, disposé convenablement les diverses pièces du banc optique, mis en place l'objectif, l'oculaire, le condensateur, etc., le cercle lumineux projeté sur le verre dépoli *doit se trouver au centre de celui-ci*; s'il ne s'y trouve pas, on devra rectifier la position de la pièce mal centrée. La lentille collectrice sera placée de telle sorte qu'elle projette sur la préparation une image nette de la source si l'on opère sans condensateur; dans le cas contraire, on la dispose de manière que cette image nette se forme à 20 ou 30 centimètres en avant du microscope, puis cette image sera reprise par le condensateur qu'on avancera ou qu'on reculera jusqu'à ce que l'image se forme nettement sur la préparation. Le cercle lumineux qu'on apercevra alors au centre du verre dépoli devra être *uniformément éclairé avec les bords parfaitement nets* sur tout son pourtour.

Il est inutile d'insister sur la nécessité d'un centrage parfait. Les axes du microscope et de la chambre noire restent toujours à peu près fixes,

mais il n'en est pas de même du condensateur qu'on déplace à chaque mise au point et surtout des objectifs qu'on change fréquemment. Le condensateur achromatique de Zeiss possède une vis de centrage, mais il arrivera souvent que l'appareil étant parfaitement centré pour un objectif ne le sera plus pour un autre. L'adaptateur d'objectif de Zeiss et le revolver spécial de Nachet offrent le grand avantage de permettre le centrage de chaque objectif, réglé une fois pour toutes à l'aide d'une vis.

41. On modifiera l'éclairage en rapprochant ou en éloignant la source, en déplaçant les lentilles collectrices, en interposant des diaphragmes, en faisant varier l'ouverture du condensateur, jusqu'à ce que l'image soit parfaitement nette sur le verre dépoli ; à cet égard, il n'y a aucune règle générale à donner. Certains auteurs estiment que, pour opérer dans de bonnes conditions, le rapport de l'ouverture du système condensateur à celle de l'objectif doit être comme 1 est à 3. Il est facile de s'assurer si ce résultat est acquis en enlevant l'oculaire et en regardant dans le tube du microscope si le diamètre du petit disque central vivement éclairé est bien le tiers du diamètre du cercle beaucoup moins éclairé qui représente le champ de l'objectif.

Sans vouloir critiquer cette méthode, je dois dire cependant, qu'à mon avis, on ne devra pas se fier à ces indications théoriques, et qu'il faut agir par tâtonnements pour trouver l'éclairage qui convient le mieux à telle préparation. L'image doit offrir *des détails et des contours bien nets, bien arrêtés, et se détachant en noir (ou en couleur) sur le fond brillamment éclairé*. Si les contours sont *flous*, c'est que le cône éclairant est d'une trop grande ouverture; si l'image est *terne*, et si les contours sont entourés de franges colorées, c'est que le faisceau lumineux est au contraire trop étroit.

On ne devra pas oublier, lorsqu'on opère en lumière oblique, d'interposer entre le condenseur et le porte-objet une goutte du liquide à immersion de manière à recueillir le plus de rayons possible.

42. Choix de l'objectif et de l'oculaire.
Grossissement. — La combinaison d'objectif et d'oculaire que l'on choisira ne sera évidemment pas la même suivant que l'on se proposera d'obtenir une vue d'ensemble ou une photographie de détails. S'il s'agit d'une vue d'ensemble, on aura avantage à opérer avec un objectif plus faible, un oculaire plus fort et un tirage plus grand qu'avec un objectif fort et un tirage

faible. La première combinaison donne, en effet, plus de champ, et, de plus, un objectif faible, ayant plus de profondeur, donnera une image ayant un cercle de netteté plus grand qu'un objectif plus fort. Toutefois, il ne faut pas perdre de vue qu'à partir d'une certaine limite tout agrandissement de l'image, soit par l'oculaire, soit par le tirage, fait perdre à celle-ci de sa netteté. Il faut donc chercher la meilleure combinaison qui donnera une netteté suffisante avec la grandeur de l'image et l'étendue du champ que l'on veut avoir. Je rappellerai que les oculaires à projection permettent un tirage beaucoup plus long que les oculaires ordinaires.

Il est bon de choisir une combinaison qui doit donner d'emblée le grossissement que l'on veut obtenir; autant que possible un cliché microphotographique ne doit jamais être agrandi, cette opération ne donnant ordinairement que des résultats très médiocres. On sait que pour agrandir un cliché, on doit d'abord en faire un positif que l'on reproduit ensuite en l'agrandissant, deux opérations à la suite desquelles les détails s'effacent et les demi-teintes s'affaiblissent, tandis que les contours perdent en netteté. Aussi, non seulement on n'agrandit que les différents points de l'image existante, mais encore on en-

lève à cette image quelques-unes de ses qualités. Ce résultat tient en grande partie à ce que les grains de bromure d'argent des plaques rapides qu'on trouve ordinairement dans le commerce sont relativement assez grossiers, et qu'on agrandit ce grain en même temps qu'on agrandit l'image. Il est donc indispensable, lorsqu'on veut faire des agrandissements, de choisir des plaques dont les grains soient aussi fins que possible.

43. Le grossissement ne dépend pas seulement de l'objectif, mais aussi et surtout du tirage de l'appareil et de l'oculaire employé. Le moyen le plus simple pour l'apprécier consiste à remplacer la préparation par un micromètre objectif sans modifier en rien la composition optique ni le tirage de l'appareil. On mesurera à l'aide d'un double décimètre l'image de ce micromètre sur le verre dépoli et une simple division donnera le chiffre du grossissement. Il est bon de faire une table donnant les grossissements des objectifs et des oculaires que l'on possède pour un tirage déterminé du soufflet.

44. Mise au point. — Cette opération fort délicate devra être effectuée avec le plus grand soin. Après avoir déterminé la position de l'image sur le verre dépoli, on remplace celui-ci par la

glace polie portant sur sa face antérieure des traits au diamant; l'image sera observée à l'aide d'une loupe de mise au point dont on a réglé le tirage de manière à ce que les traits se trouvent exactement à son foyer. L'image observée dans cette loupe est très claire, et on fera mouvoir la vis micrométrique jusqu'à ce qu'elle apparaisse avec toute la netteté désirable.

45. Plaques sensibles. — Toutes ces opérations étant terminées, il ne restera plus qu'à remplacer la glace polie par le châssis renfermant la plaque sensible et à exposer cette dernière. Cette plaque proviendra d'une marque reconnue bonne et on s'assurera qu'elle est sans défaut. Les plaques au gélatino-bromure du commerce suffisent aux besoins de la microphotographie. Il est incontestable que les plaques au collodion et à l'albumine donnent des clichés beaucoup plus fins que celles au gélatino-bromure, mais les avantages réels de ces plaques sont trop faibles pour compenser les ennuis et la perte de temps qui résulteraient de leur préparation. Quelques personnes préfèrent les plaques lentes pour la raison que les grains de bromure étant plus fins, le cliché est aussi plus fin, mais pratiquement cette différence est insignifiante et elle disparaît complètement au tirage du positif. Ce-

pendant si l'on se propose d'agrandir le cliché, on devra choisir, ainsi que nous l'avons vu, une plaque dont les grains seront aussi fins que possible.

Nous avons suffisamment insisté sur la nécessité d'employer des plaques orthochromatiques pour n'avoir pas à y revenir ici ; les plaques ordinaires seront réservées pour les cas, assez rares d'ailleurs, où l'on devra opérer en lumière bleue ou violette.

46. Temps de pose. — Quand le châssis négatif a été mis en place, on interpose sur le trajet des rayons lumineux, en avant du condenseur, un écran opaque tel qu'un carton noir, puis on ouvre le châssis. Cette opération doit être faite aussi doucement que possible ; mais quelque soin que l'on prenne, on produira toujours un ébranlement ; il faut donc attendre quelques instants avant d'exposer la plaque. Pour éviter de communiquer aucune trépidation à l'appareil, l'opérateur fera bien de s'asseoir et de rester assis pendant toute la durée de l'exposition. L'écran qui intercepte les rayons lumineux sera enlevé rapidement et remplacé de même, sans que l'opérateur quitte sa place. On referme ensuite le châssis.

La détermination du temps de pose est, ici comme pour la photographie ordinaire, une

chose fort délicate que l'habitude seule permet d'évaluer, les moyens théoriques ou pratiques vantés par certains auteurs pour évaluer le temps de pose nécessaire dans chaque opération donnent lieu à des mécomptes. Ici, la durée de l'exposition dépend : en ce qui concerne la lumière, de la nature de la source, de son intensité, de son éloignement, de la nature des rayons utilisés ; en ce qui concerne l'appareil, du tirage du soufflet, de l'ouverture, de la longueur focale et de la position du condensateur, du grossissement de l'objectif et de l'oculaire, de la bonne correction de l'objectif (dans les objectifs bien corrigés toutes les couleurs concourent à la formation de l'image et l'exposition doit être plus courte) ; en ce qui concerne la préparation, de son épaisseur et de sa coloration ; enfin en ce qui concerne les plaques, de leur rapidité (les plaques orthochromatiques qu'on trouve dans le commerce sont moins rapides que les plaques ordinaires). L'opérateur doit pouvoir évaluer d'après l'éclat de l'image qu'il voit sur le verre dépoli le temps de pose nécessaire, mais il ne devra compter avec l'éclat de l'image que pour une source de lumière connue et étudiée, car l'éclairage au pétrole pourra donner une image très éclatante, mais qui exigera une exposition plus longue

qu'une image plus obscure d'un objet éclairé par le soleil.

Le seul moyen pratique à conseiller est le suivant : l'objet étant mis au point, on ouvre incomplètement le volet du châssis de manière à découvrir seulement le quart de la plaque et l'on posera pendant un temps t certainement trop court; on ouvrira ensuite le châssis à moitié et on exposera la plaque pendant la même durée; on effectuera de même une troisième et une quatrième pose. Les quatre quarts de la plaque auront été ainsi impressionnés pendant des temps respectivement égaux à t , $2 t$, $3 t$ et $4 t$. Lorsque le développement sera terminé, on jugera, d'après les caractères des quatre images, quelle doit être la durée de l'exposition dans les conditions où l'on opère. Zeiss construit une sorte de *châssis-multiplicateur* à l'aide duquel on peut faire facilement ces expositions successives.

Le développement permet de remédier dans une mesure assez large aux erreurs dans les temps de pose, et surtout à l'excès de pose. Mieux vaut encore une exposition trop longue qu'une exposition trop courte.

47. Opérations photographiques. — Je n'ai pas à entrer ici dans le détail des opérations

relatives au développement et au fixage des clichés, au tirage des positifs, etc., que le lecteur doit connaître ; je veux seulement donner quelques renseignements sur la manière de traiter les clichés microphotographiques.

L'opérateur a le choix entre le développement au fer, à l'acide pyrogallique, à l'iconogène, et au paramidophénol⁽¹⁾ ; je ne parle pas de l'hydroquinone *qui est un mauvais révélateur*. Le révélateur au fer est excellent, mais il ne permet pas de remédier aux erreurs de temps de pose. Le révélateur au paramidophénol offre le grand avantage de renfermer une très petite quantité d'alcali ; voici une formule qui donne d'excellents résultats :

Solution de sulfate de sodium à $\frac{20}{100}$. . .	1 litre
Paramidophénol (base libre)	10 grammes
Lithine caustique4 "

Le révélateur à l'acide pyrogallique est incontestablement le plus commode, et celui qui présente le plus d'avantages : il permet de corriger les erreurs de pose et d'obtenir à volonté des cli-

(1) Le *diamidophénol*, étudié par MM. Lumière pendant l'impression de cet ouvrage, paraît devoir être préféré au paramidophénol.

chés plus durs ou plus doux, ce qui est très important en microphotographie. La formule suivante fournit un excellent liquide pour le développement :

A	}	Solution saturée de sulfate de sodium. . .	100 ^{cm} 3
		Acide pyrogallique	5 ^{gr}
B	}	Solution saturée de sulfate de sodium. . .	100 ^{cm} 3
		Carbonate de sodium.	12 ^{gr}
		Carbonate de potassium	8 ^{gr}

A 100 centimètres cube d'eau, ajouter 10 centimètres cubes de la solution A et une quantité variable de la solution B (de quelques gouttes à quelques centimètres cubes).

Le carbonate de potassium donne des clichés plus doux et le carbonate de sodium les donne plus durs. Suivant que l'on veut exagérer l'un de ces effets, on augmentera la proportion d'un de ces carbonates aux dépens de l'autre.

48. En général, on doit plutôt chercher à obtenir des clichés durs lorsque l'on photographie des coupes animales ou végétales, des bactéries et autres êtres microscopiques inférieurs, tandis qu'il est préférable d'avoir des clichés modelés lorsqu'il s'agit d'obtenir des épreuves d'ensemble de petits animaux, de larves, d'embryons, etc.

Pour rendre un cliché plus dur et obtenir

une grande opposition entre les noirs et les blancs, un procédé commode consiste à le baisser d'abord (au ferricyanure et à l'hyposulfite, ou mieux en le plongeant dans une solution de cyanure de potassium à $\frac{10}{100}$ à laquelle on ajoute quelques gouttes de teinture d'iode), et à le renforcer ensuite. On pourrait employer le procédé ordinaire (immersion dans une solution saturée de sublimé suivie d'un virage à l'ammoniaque), mais il vaut mieux recourir au procédé de renforcement suivant : A une solution saturée de sublimé dans l'eau froide, on ajoute petit à petit une solution concentrée d'iodure de potassium, jusqu'au moment précis où le précipité formé se redissout, puis on étend le liquide de son volume d'eau. Pour renforcer un cliché, on le plonge pendant 4 ou 5 minutes dans cette solution en agitant, puis on lave abondamment. Au sortir du bain, le cliché est blanchâtre, mais après quelques minutes de lavage, la couche prend une teinte franchement jaune due à la présence de l'iodure de mercure. Pour obtenir un cliché noir, il suffira de *développer* la plaque en la passant dans un bain de révélateur au paramidophénol (les autres développeurs ne donnent pas d'aussi bons résultats). A la sortie de ce bain, le cliché

se trouvera fortement renforcé. Ce qui fait l'avantage de ce procédé, c'est que si le résultat obtenu une première fois est insuffisant, on peut recommencer les mêmes opérations plusieurs fois de suite en traitant successivement la plaque par la solution mercurique, par l'eau, et par le paramidophénol; après chaque opération, le cliché gagne de plus en plus en densité.

On pourra ainsi obtenir, en les baissant d'abord et en les renforçant ensuite, d'excellentes épreuves avec des blancs très purs et des noirs très intenses.

49. Épreuves pour projections. — Les projections d'épreuves microphotographiques, très en honneur en Allemagne, sont peu employées en France; l'utilité scientifique de ces projections est d'ailleurs fort contestable. Les épreuves transparentes que l'on préparera dans ce but devront être très brillantes, avec les noirs bien accentués et les parties claires bien transparentes. Ces épreuves positives sur verre peuvent être faites par différents procédés : à l'albumine, au tanin, au collodio-chlorure, au gélatino-chlorure, au gélatino-bromure d'argent et enfin au charbon. Je n'ai pas à m'occuper de ces procédés purement photographiques, mais je ferai une mention spéciale du procédé au charbon qui est très sim-

ple et très commode, et qui permet d'obtenir, à l'aide de diverses teintures, des colorations de l'image qui rappellent jusqu'à un certain point les colorations histologiques. Cette méthode, qui est due à MM. Lumière, donne des épreuves qui sont plus belles que les épreuves en noir obtenues par les procédés ordinaires.

Pour les préparer, on prendra un papier au charbon dont la couche est pauvre en substance colorante et on la sensibilise dans une solution renfermant :

Eau.	650 grammes
Bichromate de potassium	25 //
Alcool à 95°.	350 //

L'immersion doit durer 5 minutes. Lorsque le papier est sec, on l'expose sous le cliché dans un châssis-pressé, puis on le reporte sur une plaque de verre douci parfaitement propre et on développe l'image. Toutes ces opérations sont faites suivant les procédés ordinaires. Lorsque le développement est terminé, la plaque est lavée à l'eau froide, puis immergée dans l'alcool pendant 10 minutes, et enfin mise à sécher. On colorera ces épreuves en les plongeant dans des solutions aqueuses suffisamment concentrées de différentes couleurs d'aniline ; les bleus, les vio-

lets, les rouges, ou les verts ordinairement employés en histologie conviennent parfaitement. En quelques secondes, le liquide a coloré la couche de gélatine, et comme la coloration est beaucoup trop intense, on la lave à l'eau ou à l'alcool jusqu'à ce que l'excès de matière colorante soit enlevé et que l'épreuve se présente avec un caractère qui rappelle la préparation microscopique dont elle est la reproduction. L'épreuve est ensuite séchée, puis vernie pour faire disparaître le grain du verre dépoli et donner à l'image plus de transparence. Le vernis consiste simplement en une solution de résine d'Ammar dans la benzine, ou mieux de baume de Canada dans le xylène.

On n'oubliera pas qu'un certain nombre de couleurs d'aniline s'altèrent très rapidement à la lumière ; on aura donc soin de choisir des couleurs parfaitement fixes.

DEUXIÈME PARTIE

APPLICATIONS DE LA PHOTOGRAPHIE A LA PHYSIOLOGIE

I. CHRONOPHOTOGRAPHIE

49. Pendant longtemps la photographie n'a pu être appliquée qu'à la reproduction d'objets immobiles, le moindre mouvement suffisant pour enlever à l'image sa netteté. A partir de l'époque où la sensibilité des plaques permit l'emploi de l'obturateur, la plaque photographique fut capable de saisir et de fixer les caractères des objets en mouvement. On conçoit donc qu'on ait eu l'idée de recourir à la photographie pour l'analyse de mouvements que notre œil ne peut saisir parce qu'ils sont trop rapides ou trop compliqués, ou dans certains cas, parce qu'ils sont trop lents. En effet la plaque sensible peut fournir, non seulement une épreuve nette d'un corps en mouvement, mais une série d'images successives de ce corps

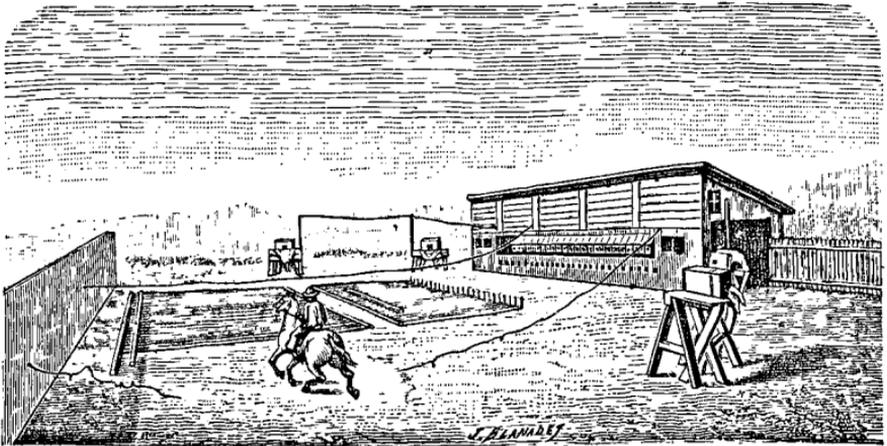
prises à des intervalles de temps exactement mesurés. Or l'analyse du mouvement ne peut être possible que si l'on fait intervenir en même temps la notion du temps. Ce résultat peut être réalisé par l'emploi d'une méthode qui permet de faire agir la lumière d'une manière intermittente, à des intervalles de temps connus, et cela d'une manière très régulière. Cette méthode est la *chronophotographie*.

La première application de la chronophotographie fut faite par M. Janssen qui s'est servi de la photographie, en 1874, pour déterminer les positions successives de Vénus aux différents instants de son passage devant le soleil. A cet effet, ce savant eut recours au *revolver astronomique* dans lequel une plaque sensible de forme circulaire recevait, à des intervalles de temps rigoureusement égaux à 70 secondes, l'image du disque de Vénus.

M. Janssen avait bien proposé d'appliquer son revolver à l'étude de la locomotion animale. Mais c'est Muybridge de San-Francisco qui réalisa le premier l'application de la chronophotographie à l'étude du mouvement des animaux. Il avait imaginé le dispositif suivant : Une piste était tracée devant un écran blanc éclairé et orienté de manière à réfléchir la lumière du soleil dans la

direction d'une série d'appareils photographiques disposés en batterie les uns à côté des autres (*fig. 24*). Cet écran portait des divisions équidistantes qui se reproduisaient sur les clichés et servaient à mesurer les distances parcourues par le

Fig. 24



sujet en expérience. Chaque appareil photographique était muni d'un obturateur électrique et les conducteurs étaient disposés sur la piste de telle sorte que le sujet en expérience rompait successivement les fils et provoquait ainsi l'ouverture des appareils à mesure qu'il avançait. Muybridge étudia d'abord la locomotion du cheval, puis celle de l'homme, et plus tard il étendit ses recherches à un grand nombre d'autres

mammifères. Les résultats qu'il a obtenus sont fort intéressants et d'autant plus remarquables qu'il se servait de plaques au collodion humide.

A l'apparition du gélatino-bromure, la question fut reprise en France par M. Marey, et grâce à la rapidité des nouvelles plaques, grâce surtout à la précision des appareils ingénieux imaginés par lui, cet habile physiologiste a pu analyser d'une manière complète les mouvements d'un grand nombre d'animaux : le vol des oiseaux et des insectes, la marche, le saut et la course des mammifères, la locomotion des poissons et de beaucoup d'animaux inférieurs. La chronophotographie a été si perfectionnée par M. Marey qu'on peut presque dire qu'elle a été créée par lui, et dans les pages qui suivent, je n'aurai pour être complet, qu'à décrire les procédés et les appareils qu'il a imaginés, en utilisant les nombreuses publications qu'il a faites sur ce sujet et particulièrement un article publié par lui dans la *Revue générale des Sciences* (1).

Il y a lieu de distinguer deux méthodes de chronophotographie, suivant qu'on opère sur *plaque fixe* ou sur *pellicule mobile*.

(1) La Chronophotographie. — *Revue Générale des Sciences pures et appliquées*. t. II.

Chronophotographie sur plaque fixe

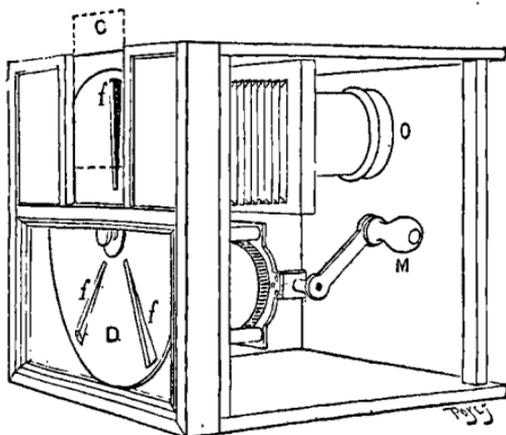
51. — L'étude des mouvements par la photographie fut réalisée tout d'abord à l'aide d'appareils fixes devant lesquels se déplaçait le mobile, et disposés de manière à recueillir les différentes positions de ce mobile. C'était le dispositif adopté par Muybridge et les images qu'il obtenait consistaient en *silhouettes* se détachant en *noir* sur fond *clair*. Les appareils perfectionnés dont on se sert actuellement donnent au contraire des images *claires* sur fond *noir* ; de plus, le matériel a été singulièrement amélioré si bien qu'on obtient, avec un appareil unique, muni d'un obturateur convenablement disposé, le même résultat qu'avec une batterie d'appareils fonctionnant tous les uns après les autres.

Supposons que l'on dispose un appareil photographique en face d'un écran noir devant lequel on fasse passer un animal ou un objet de couleur blanche et vivement éclairé par le soleil. Si, pendant ce temps, un appareil rotatif laisse passer la lumière à des intervalles égaux, il se formera à chaque admission de lumière une image sur la glace sensible ; ces images se feront en des points différents l'objet étant en mouvement. Les images ainsi obtenues fourniront les

deux notions d'espace et de temps qui caractérisent tout mouvement, puisque les images se trouvent séparées les unes des autres par un espace proportionnel au chemin que le mobile a parcouru entre deux admissions successives de la lumière.

Le dispositif employé par M. Marey est représenté *fig. 25*.

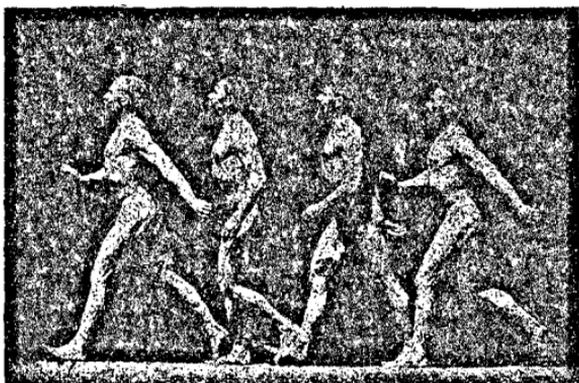
Fig. 25



senté *fig. 25*. Il suffit d'adapter à la chambre un disque fenêtré D qu'on fait tourner à l'aide d'une manivelle M ; la rotation est réglée et rendue parfaitement uniforme au moyen d'un régulateur. La plaque sensible est placée avec son châssis au foyer de l'objectif. A chaque passage d'une fenêtre *f*, la plaque recevra une impres-

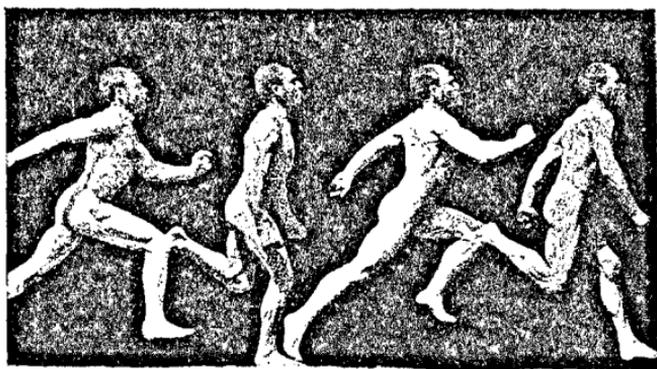
sion de l'objet éclairé, mais de cet objet seulement

Fig. 26



puisque l'objectif est braqué sur un fond noir. Il

Fig. 27



est absolument nécessaire que ce fond soit rigou-

reusement noir, sans quoi à chaque rotation du disque, la plaque recevrait une faible impression qui, répétée plusieurs fois, finirait par produire un voile général. M. Marey emploie un écran de velours noir abrité sous un hangar également tapissé de velours noir orienté de telle façon que la lumière du soleil ne puisse y pénétrer, mais qu'elle éclaire vivement l'objet à photographier.

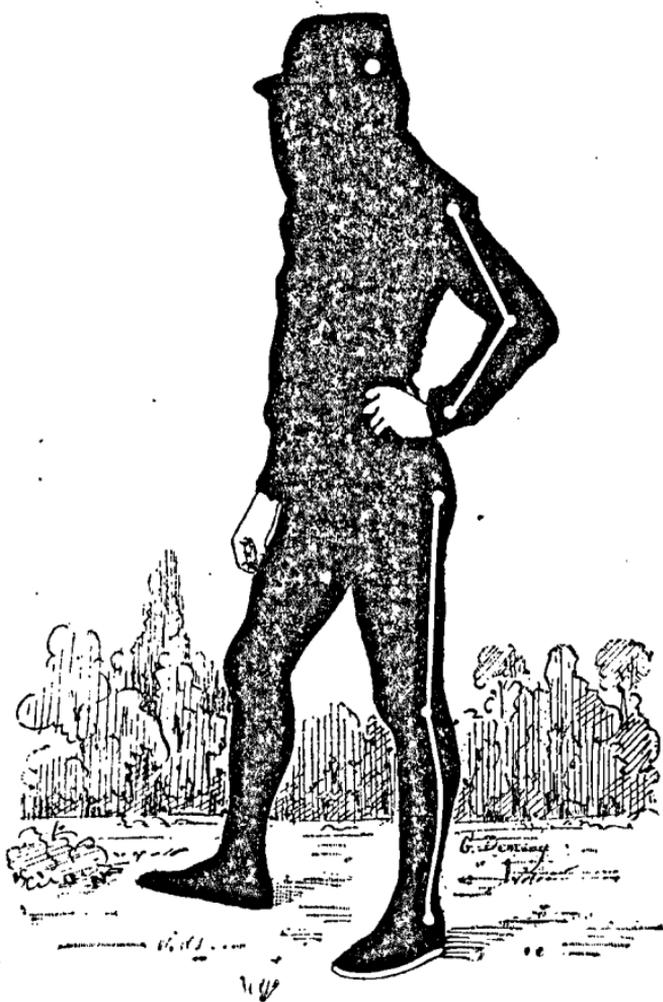
Les *fig.* 26 et 27 représentent les photographies d'un homme qui marche et d'un homme qui court se déplaçant devant l'écran noir ; les admissions se faisant 10 fois par seconde, le nombre des images est de 10 en une seconde et, la durée de l'exposition seulement de $\frac{1}{500}$ de seconde.

52. — Les images ainsi obtenues sont très nettes et permettent une analyse très complète du mouvement des sujets en expérience, mais il n'en est pas toujours ainsi, et si le mouvement du mobile n'est pas assez rapide, ou si ce mobile, par suite de sa taille, fournit une image de trop grandes dimensions, il en résultera une superposition et une confusion des images.

Il est facile de comprendre qu'un homme qui court peut-être photographié 40 fois par exemple en une seconde sans que les images se confondent, mais que, si cet homme marche lentement, les images très rapprochées les unes des

autres se superposeront : il en résultera une telle confusion que l'interprétation deviendra impossible. Pour remédier à cet inconvénient, M. Marey a eu recours à la photographie partielle, c'est-à-dire qu'il supprime certaines parties de l'objet dont il n'est pas indispensable d'avoir l'image, et ne conserve que celles dont il veut étudier le mouvement. Il suffit, pour arriver à ce résultat de rendre invisibles, en les noircissant, les parties dont il n'est pas nécessaire de former l'image, Ainsi, pour étudier la marche de l'homme, on peut supprimer tout un côté du corps en se servant d'un costume noir d'un côté et blanc de l'autre ; les épreuves seront ainsi beaucoup plus lisibles. Mais comme l'image d'un homme ainsi obtenue présente encore d'assez grandes dimensions, M. Marey revêt le marcheur d'un costume entièrement noir et portant le long de la jambe, de la cuisse et du bras d'étroites bandes de métal blanc qui indiquent la direction de la charpente osseuse, et des points brillants au niveau des articulations (*fig.* 28). Dans le cliché qu'on obtient ainsi, le nombre des images par seconde peut être considérablement augmenté et atteindre le chiffre de 60 (*fig.* 29) ; par conséquent l'analyse des mouvements est rendue beaucoup plus précise.

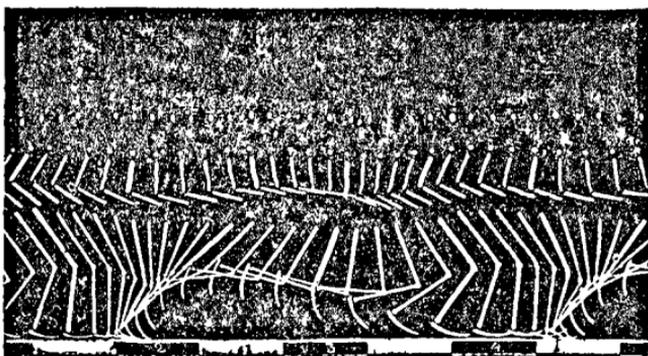
Fig. 28



Chronophotographie sur pellicule mobile

53. — La chronophotographie sur plaque fixe ne peut être réalisée que dans des conditions spéciales, devant un fond parfaitement obscur; un grand nombre de phénomènes lui échappe donc : mouvements des oiseaux, des

Fig. 29

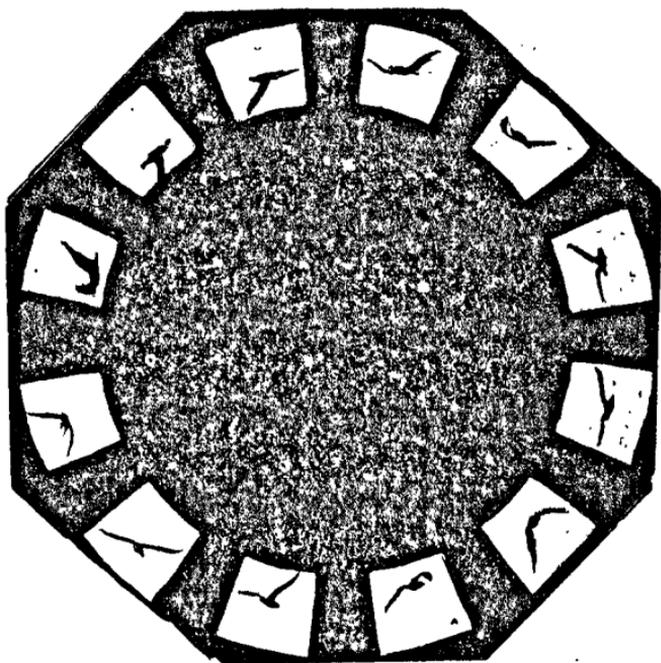


poissons, des insectes, mouvements des vagues, etc.

Pour obtenir une image des mouvements qu'il est impossible de recueillir à l'aide d'appareils fixes, par suite de la difficulté que l'on éprouve à faire déplacer le mobile devant ces appareils dans des conditions permettant de le photogra-

phier, M. Marey a d'abord employé le revolver de M. Janssen. Le fusil photographique dont il s'est servi permet de prendre 12 épreuves successives sur une plaque sensible accomplissant

Fig. 30



un mouvement de rotation en une seconde; chaque épreuve exige un temps de pose de $\frac{1}{750}$ de seconde (*fig. 30*). Le canon du fusil renferme l'objectif photographique, et, en arrière, montée

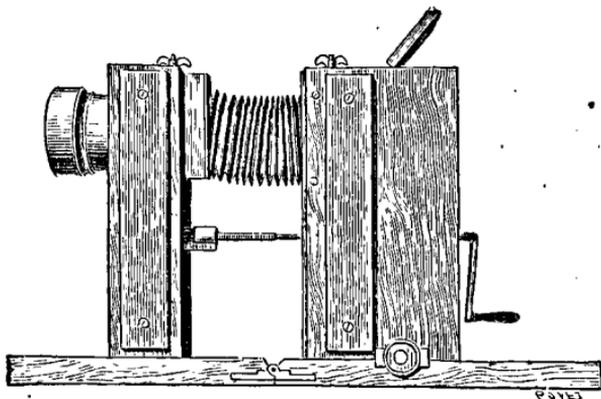
sur la crosse, se trouve une large culasse renfermant la plaque sensible, l'obturateur, et un système d'horlogerie. On épaule et on vise avec ce fusil comme avec un fusil ordinaire, puis on lâche la détente en ayant soin de suivre l'objet en mouvement jusqu'à ce que la révolution de la plaque soit terminée. Je n'entrerai pas dans la description de cet appareil qui a été à peu près abandonné par M. Marey, parce que les images qu'il fournit sont beaucoup trop petites et qu'il ne permet pas d'obtenir plus de 12 images par seconde.

M. Marey a donc cherché à réaliser un appareil à objectif unique, permettant de photographier les objets en mouvement sur pellicules sensibles mobiles, et fournissant à la seconde un nombre d'images considérable. Dans l'appareil qu'il a imaginé, une longue bande de pellicule sensible placée au foyer de l'objectif passe en s'arrêtant pour recevoir chaque image, puis reprend son mouvement pour s'arrêter de nouveau et cela avec une vitesse telle qu'on peut obtenir jusqu'à 60 images à la seconde, le temps de pose pour chaque image variant de $\frac{1}{1\ 000}$ à $\frac{1}{25\ 000}$ de seconde.

Je reproduirai textuellement la description que M. Marey a donné de son appareil.

54. Chronophotographe complet de M. Marey. — Le chronophotographe complet (*fig. 31*) renferme, avons-nous dit, tout ce qui est nécessaire pour prendre des images, soit sur une plaque fixe, soit sur une bande pelliculaire qui se déplace ; son tirage variable, et la possibilité de changer l'objectif dont on se sert permet-

Fig. 31

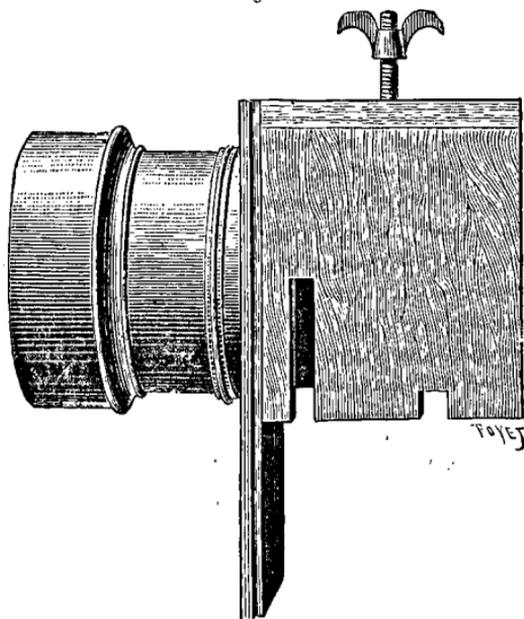


tent d'obtenir, suivant le besoin, des images réduites ou amplifiées. La fréquence et l'étendue de ces images, la durée des temps de pose et l'intensité des éclaircissements peuvent être réglées suivant le besoin.

Nous décrirons d'abord les pièces qui sont nécessaires pour la chronophotographie sur plaque fixe, c'est-à-dire pour le cas le plus simple.

a) *Pièces qui servent à la chronophotographie sur plaque fixe.* — Nous avons vu qu'un appareil photographique très simple, dans lequel la lumière arrive d'une façon intermittente, suffit

Fig. 32



pour appliquer cette méthode. Ces pièces sont faciles à reconnaître dans la *fig. 31* où l'on voit les deux corps de l'appareil réunis par un soufflet. L'arrière-corps glisse sur un rail au moyen d'un bouton à crémaillère, suivant les besoins de la mise au point. L'objectif dont on se sert doit tou-

jours être contenu dans une boîte fendue en dessous (*fig.* 32) et qui glisse dans une ouverture de l'avant-corps de l'appareil qu'elle remplit exactement. La fente située au-dessous de la boîte coupe en deux l'objectif perpendiculairement à son axe optique principal, et laisse passer les disques fenêtrés qui produiront, en tournant, des intermittences dans l'admission de la lumière.

Le soufflet s'adapte par une de ses extrémités à la boîte de l'objectif, tandis que l'autre, collée à l'arrière-corps, se trouve, par sa large ouverture, en rapport, soit avec le châssis à verre dépoli, soit avec le châssis photographique.

Les seules pièces qui méritent une description spéciale sont les disques obturateurs et l'arbre qui sert à leur transmettre le mouvement.

Les disques obturateurs tournent en sens contraire l'un de l'autre ; la rencontre des ouvertures dont ils sont percés produit des éclaircissements. Cette disposition permet d'employer des disques de petit diamètre, et par conséquent de réduire beaucoup les dimensions totales de l'appareil. Celui-ci en effet n'exécède pas le volume ordinaire d'une chambre 18×24 .

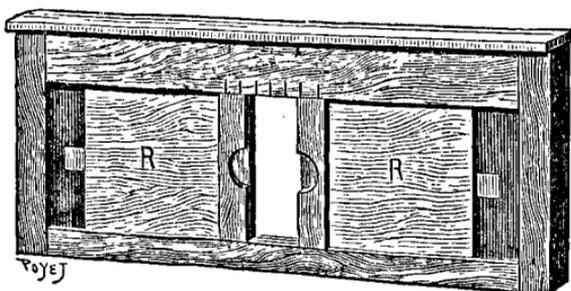
Quant à l'arbre qui fait tourner les disques, il emprunte son mouvement à des rouages action-

nés par une manivelle et qu'il n'y a pas lieu de décrire en ce moment; cet arbre se fixe d'autre part à l'axe de l'obturateur rotatif. Or, dans la mise au point, le tirage doit varier, et les deux corps de l'appareil s'éloigner plus ou moins l'un de l'autre : il faut donc que l'arbre s'accomode à ces changements de longueur; pour cela, il est formé de tubes carrés glissant à frottement l'un dans l'autre. Cette disposition se prête à toutes les applications de la chronophotographie sur plaque fixe, ainsi qu'on le verra plus loin.

b) *Pièces qui servent à la chronophotographie sur pellicule mobile.* — On a vu que, si l'objet à étudier exécute des mouvements sur place, ou que, présentant une grande surface, il se déplace avec peu de vitesse, on ne peut recourir à la chronophotographie sur plaque fixe, parce que les images se confondraient par superposition. Il faut alors recevoir ces images sur une plaque qui se déplace en présentant successivement au foyer de l'objectif les différentes parties de sa surface. Nous nous servons à cet effet de plaques souples ou pellicules taillées en longues bandes et montées sur bobines. La *bande pelliculaire* doit défiler très vite pour recevoir en un temps donné un grand nombre d'images sans que les dimensions de ces images soient trop réduites ;

elle doit s'arrêter au moment de chaque pose, sans quoi les images obtenues n'auraient aucune netteté; il faut que cette bande sensible puisse être introduite dans l'appareil et en puisse être retirée sans subir l'action de la lumière; il faut enfin, pour la bonne utilisation de la pellicule qu'il n'en passe, entre deux éclairagements consécutifs, que la quantité rigoureusement nécessaire

Fig. 33



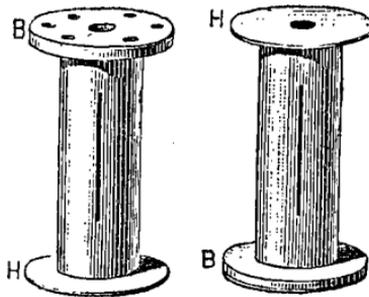
pour recevoir une image. Voici les dispositions qui réalisent ces conditions multiples.

Reprenons la description de l'appareil chronophotographique au point où nous l'avons laissé tout à l'heure. Le châssis qui porte la plaque fixe doit être enlevé, puisque ce n'est plus lui qui doit recevoir les images. A sa place on introduit une planchette percée d'une ouverture, *fenêtre d'admission* (fig. 33) dont la largeur, ré-

glable à volonté, est justement égale à celle que doit présenter chacune des images. A travers cette fenêtre, la lumière pénétrera dans la *chambre aux images* où elle rencontrera la pellicule mobile qu'un rouage d'horlogerie déroule d'un mouvement saccadé, en la faisant passer d'une bobine sur une autre.

La disposition de ces *bobines* nous occupera tout d'abord, car elles constituent l'organe essen-

Fig 34



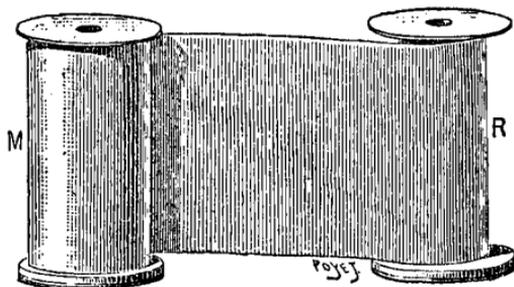
tiel qui permet de charger ou de décharger l'appareil en pleine lumière.

Les bobines (*fig. 34*) ont 9 centimètres de hauteur. Une bande de papier fort et opaque ayant 9 centimètres de largeur sur une longueur de plusieurs mètres s'enroule sur une bobine dont elle remplit plus ou moins la gorge. Or, en même temps que cette bande de papier, on enroule

aussi la bande de pellicule sensible qui devra recevoir les images. Voici comment on procède pour cet enroulement :

La bande de papier opaque étant, par exemple, d'un mètre plus longue que celle de la pellicule, on enroule sur le noyau de la bobine 0^m,50 de papier seul ; puis, on applique sur le papier la

Fig. 35



bande pelliculaire, la couche sensible en dehors, et on les enroule toutes deux sur la bobine en les serrant fortement. Quand on arrive à la fin de la bande pelliculaire, on fixe cette extrémité contre la bande opaque au moyen d'un morceau de papier gommé à la façon des timbres-poste ; puis on achève l'enroulement des 0^m,50 de papier qui reste encore ; enfin on maintient le tout avec un lien de caoutchouc. Cette opération se fait, bien entendu, dans le laboratoire photographique et à la lumière rouge.

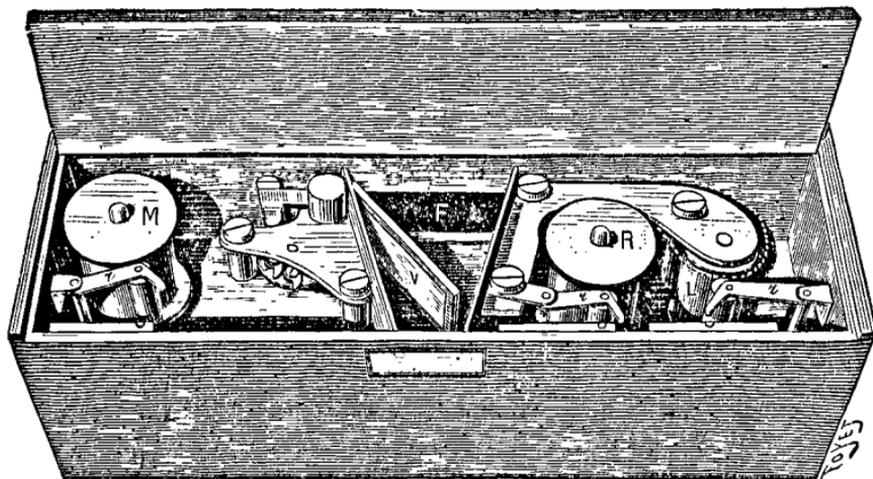
Pour montrer qu'une bobine est chargée, on glisse sous la bande de caoutchouc un petit morceau de papier blanc qui sert de signe; ce papier tombe de lui-même au moment de l'emploi, et ne se trouve plus, par conséquent, sur les bobines qui ont été impressionnées.

Voilà donc notre surface sensible bien protégée contre l'action de la lumière; il s'agit de l'introduire dans l'appareil.

Prenons une bobine chargée M (*fig.* 35) ou *bobine-magasin*, déroulons les premiers tours du papier qui la recouvre et enroulons cette extrémité sur une seconde bobine R, en sens inverse de l'enroulement de M, de sorte qu'en passant d'une bobine sur l'autre, la bande de papier affecte la forme d'un S. Ouvrons alors la chambre aux images (*fig.* 36), nous y trouvons deux broches verticales dont l'une, à gauche, reçoit la bobine-magasin tandis que celle de droite reçoit la bobine réceptrice R. Deux rouleaux compresseurs exercent une pression élastique sur les bobines pour assurer la régularité de l'enroulement ou du déroulement de la bande. Quant à la bande elle-même, on l'engage dans une fente verticale (suivant la ligne ponctuée) où elle subira l'action de certains organes que nous allons décrire : le *laminoir*, le *fixateur* et le *ressort élastique*.

Laminoir. — Il est formé d'un cylindre moteur, L (*fig. 36*) en bois durci recouvert de caoutchouc et sur lequel se réfléchissent les bandes de papier et de pellicule dans leur trajet d'une bobine sur l'autre. C'est l'organe moteur de la pellicule. Pour le faire fonctionner, on appuie sur une dé-

Fig. 36



tente qui abat un rouleau compresseur élastique analogue à ceux qui pressent sur les bobines, mais d'une plus grande force. Tant que le compresseur n'est pas abattu et ne serre pas la pellicule, le laminoir tourne librement en glissant derrière la bande qui le recouvre; dès que le compresseur agit, la bande est entraînée.

Cette disposition a pour but de mettre tout d'abord les rouages en marche avant de commencer l'expérience et de les amener graduellement à leur vitesse uniforme ; à partir de ce moment, l'opérateur est prêt à saisir les images dès que l'objet en mouvement se présentera dans des conditions favorables.

La bobine réceptrice R est placée, avons-nous dit, sur une broche verticale. Celle-ci tourne sur elle-même et devra entraîner cette bobine aussitôt que fonctionnera le laminoir ; de cette façon la pellicule s'enroulera à mesure qu'elle aura reçu les images. Mais tant que le laminoir ne fonctionne pas, la bobine R ne doit pas tourner, car le moment n'est pas venu d'enrouler la pellicule. La broche tournera donc seule, en produisant toutefois un frottement qui tend à entraîner la bobine, mais ne l'entraînera effectivement qu'au moment où le laminoir entrera en fonction. Ce résultat est obtenu au moyen d'un cliquet : cet organe maintient la bobine immobile jusqu'au moment où s'abattra le compresseur du laminoir.

Une autre condition s'impose encore dans le mouvement de la bobine R : il faut que cette bobine enroule la bande à mesure que le laminoir la lui livre, sans être en retard ni en avance. Or,

l'accroissement continu du diamètre de la bobine, à mesure qu'elle reçoit un plus grand nombre de tours de bande, eût produit des irrégularités dans l'enroulement.

L'uniformité de l'enroulement est naturellement obtenue par cette condition, déjà signalée, que la broche qui tend à entraîner la bobine tourne à frottement dans son intérieur. Il s'ensuit que la bande n'est jamais tirée avec assez de force pour surmonter la résistance du laminoir.

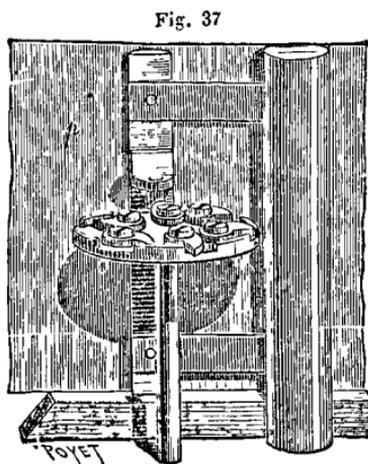
Nous voici déjà en mesure de produire les actions suivantes : la pellicule et son support de papier étant mis en place, nous pouvons imprimer aux rouages de l'appareil une rotation rapide. Les disques éclaireurs font, par exemple, 10 tours par seconde et le laminoir en fait autant. A un moment donné, on presse sur un bouton qui fait saillie sur le couvercle de la boîte aux images ; le compresseur du laminoir s'abat, et, du même coup, la bobine réceptrice devient libre. Aussitôt le papier est entraîné et la bande tout entière passe d'une bobine sur l'autre dans l'espace d'une ou deux secondes.

Fixateur. — Si l'on opérât avec la disposition ci-dessus décrite, on recevrait des images sur une surface en mouvement, et aucune de ces images

ne serait nette. Il faut qu'au moment de l'éclaircissement, la bande pelliculaire cesse de se mouvoir.

Or, on ne pouvait pas songer à arrêter les rouages animés de la grande vitesse dont nous venons de parler, mais il était possible d'arrêter la pellicule toute seule. Voici la disposition que nous avons employée pour cela :

Au moment où la bande pelliculaire, sortant de la bobine M, s'engage dans l'étroit espace où elle défile au foyer de l'objectif pour recevoir des ima-



ges, cette bande passe devant un organe nommé le *fixateur*. Celui-ci est formé d'un demi-cylindre d'acier C (*fig. 37*) maintenu verticalement par deux lames de ressort qui le pressent doucement contre la face postérieure de la pellicule *p* qui se trouve ainsi légèrement étreinte entre cet organe et la platine du rouage.

Cette légère pression n'entrave pas la marche de la pellicule, mais celle-ci s'arrêtera soudain si le fixateur est fortement poussé contre la platine. Cet effet est obtenu par une cause dont l'action se produit pendant un temps très court, et précisément à l'instant de l'admission de la lumière dans l'instrument. On aura donc une parfaite fixité de la pellicule au moment de chaque pose.

Voici comment est construit le fixateur : C'est une portion de cylindre d'acier évidé dans son centre pour loger un godet cylindrique sur lequel passera une came au moment de l'éclairement. Or, la pression de cette came contre le cylindre fait plier celui-ci à sa partie moyenne, évidée et flexible, mais produit par ses extrémités une forte étreinte de la bande pelliculaire contre la platine de l'appareil.

On peut graduer cette pression et considérer comme bonne celle qui permet de tirer avec un effort de 2 à 3 kilogrammes sur une bande de papier serrée dans le fixateur, sans que cette bande glisse.

La construction des comes présente aussi quelques particularités. Chaque came est d'acier ; elle est taillée en forme de virgule, et serrée par une vis qui la traverse. La came est mobile et peut tantôt se cacher à l'intérieur du disque qui la porte,

tantôt saillir à l'extérieur de ce disque, de manière à frotter sur le galet et à faire serrer la bande par le fixateur.

Lame élastique. — La bande pelliculaire, énergiquement entraînée par le *laminoir*, et, d'autre part, arrêtée en amont par le *fixateur*, devrait nécessairement se rompre ou glisser dans le laminoir. Pour éviter ces accidents, on recourt à une disposition qui a pour effet de faire varier la longueur du parcours de la bande entre le laminoir et le fixateur. Cela s'obtient au moyen d'une lame de ressort sur laquelle la pellicule se réfléchit dans son trajet. Ainsi au moment de la fixation de la bande, le laminoir continue son action et entraîne la pellicule qui cède en faisant plier la lame élastique; puis, quand la fixation est terminée, la détente de la lame tire soudainement la pellicule qui se remet à marcher d'un mouvement uniforme.

Sans entrer dans les détails du rouage qui conduit les pièces que nous venons de décrire, disons que, par construction, le laminoir, la came du fixateur et des disques obturateurs tournent avec la même vitesse; qu'on établit la coïncidence des éclaircissements avec les fixations de la pellicule, de sorte que ces différents actes soient coordonnés d'une manière automatique.

Nombre, dimensions et intervalles des images. — C'est une manivelle qui actionne le rouage. Un tour de cette manivelle produit cinq tours du disque obturateur et du laminoir, or, comme on peut aisément faire à la main deux tours de la manivelle par seconde, on obtient ainsi dix images.

Cette marche de l'appareil donne des images de grande dimension, dont chacune correspond au périmètre entier du cylindre laminoir, c'est-à-dire à 9 centimètres; or, comme la hauteur de la bande est aussi de 9 centimètres, chaque image a pour dimension 9 centimètres en carré. Mais on peut, dans bien des cas, se contenter d'un champ moins étendu: on obtient alors deux, trois ou six images pour un tour de laminoir, ce qui en porte le nombre à vingt, trente ou soixante par seconde. Il suffit pour cela de changer le nombre des dents de la came du fixateur, et de changer simultanément le nombre des fenêtres des disques obturateurs. Avec deux dents à la came et deux éclaircissements, on a une image à chaque demi-tour du laminoir la longueur en est donc de $\frac{4,5}{100}$. Trois arrêts et trois éclaircissements par tour du laminoir; donnent des images de $\frac{3}{100}$, six arrêts et six éclaircissements réduisent les images à $\frac{1,5}{100}$.

Avec un peu d'habitude, on arrive à régler fort bien la marche de la manivelle, ce qui donne à chaque seconde, un nombre d'images sensiblement constant. Mais comme cette approximation ne suffirait pas pour les mesures précises que comporte une expérience, si l'on veut connaître rigoureusement le nombre des images par secondes, on contrôle le nombre des tours du disque par les procédés ordinaires de la chronophotographie.

Quant à la régularité de la marche de l'appareil, elle est assurée par la masse des disques rotatifs qui, tournant avec une grande vitesse, forment un excellent régulateur.

Lorsqu'on veut prendre une série d'images sur une bande pelliculaire, on fait d'abord la mise au point sur le verre dépoli situé dans la boîte aux images, et qui, tournant comme un volet sur des gonds, vient se placer au lieu même où passera la pellicule sensible. Puis, après avoir détourné le verre dépoli, on charge l'appareil en y engageant les deux bobines; ainsi qu'on l'a dit tout à l'heure. On ferme alors la boîte aux images et l'on met la manivelle en marche. Quand le rouage a pris la vitesse voulue, si l'objet en expérience se montre dans des conditions favorables, on presse sur le bouton

qui met le laminoir en action ; aussitôt la pellicule passe en recevant les images. Les plus longues pellicules que le commerce fournisse actuellement et qui ont un peu plus de 4 mètres de long, n'emploient pour passer que $4'' \frac{2}{3}$. La bobine réceptrice est ensuite retirée de la boîte et conservée jusqu'au moment où elle devra être développée.

Quelques personnes ont cru que, dans la construction assez compliquée à laquelle nous avons eu recours pour obtenir des arrêts de la pellicule, nous nous étions donné une peine inutile et l'on a dit qu'avec des éclaircissements très courts, la translation de la pellicule sensible était négligeable.

Il serait facile de prouver par le calcul que, pendant la durée de l'éclaircissement, la pellicule progresse d'une quantité suffisante pour enlever aux images la netteté qui en fait toute la valeur. Il est plus simple et plus convaincant peut-être de montrer par une expérience que, sans les arrêts, on n'obtient pas de bonnes images. Pour cela, réglons l'appareil de manière à avoir deux images par tour de laminoir, c'est-à-dire retrécissons la fenêtre d'admission aux dimensions voulues, et produisons deux coïncidences dans les fenêtres du disque obturateur ; mais, au lieu

de régler le fixateur pour deux arrêts par tour, ne mettons qu'une seule came en relief. Il arrivera nécessairement que de deux images successives, l'une se fera sur la pellicule arrêtée, l'autre sur la pellicule en mouvement. Or, après développement de ces images, on constatera, au premier coup d'œil, que celles qui sont produites pendant les arrêts ont seules des contours parfaitement nets.

55. Il existe encore d'autres procédés permettant d'obtenir des photographies en série. On peut, par exemple, disposer en couronne un certain nombre d'objectifs de même foyer en avant d'une plaque sensible, et démasquer successivement tous ces objectifs au moyen d'un disque fenêtré. A l'état de repos, l'ouverture doit se trouver entre deux objectifs de telle sorte que la lumière ne puisse pas pénétrer dans l'appareil. Cette disposition a été utilisée par M. Marey pour photographier les mouvements exécutés sur place par un homme ou un animal. M. Londe a construit un instrument analogue qu'il appelle *photo-électrique*. Un électro-aimant commande un déclanchement spécial combiné de manière que, tant que le courant est ouvert, l'objectif reste démasqué; quand on le coupe, la lumière est interceptée, et ainsi de suite pour

tous les objectifs. On peut donc régler à volonté le temps de pose de chaque objectif et l'intervalle entre chaque pose. Pour obtenir des épreuves à intervalles réglés d'avance, on se sert d'un régulateur Foucault qui actionne le courant au moment voulu, ou d'un métronome électrique. Cet appareil ne permet pas d'obtenir comme ceux de M. Marey, des images à de très courts intervalles, mais il peut néanmoins rendre quelques services.

Un appareil construit par M. le général Sebert dans le but spécial d'étudier le mouvement des projectiles, des torpilles, etc., pourrait aussi être utilisé pour des recherches physiologiques. Il consiste en six chambres noires indépendantes disposées suivant les sommets d'un hexagone régulier. Les obturateurs sont réglés pour un temps de pose de $\frac{1}{200}$ de seconde.

Auschütz s'est servi d'un procédé différent qui rappelle celui de Muybridge. Je ne puis entrer dans la description de tous ces appareils sans sortir du cadre de ce livre.

56. Les épreuves positives obtenues par la chronophotographie seront disposées les unes à côté des autres de manière à former des séries verticales ou horizontales. En embrassant d'un seul coup d'œil ces photographies successives,

le physiologiste reconstituera par un travail de l'esprit le mouvement dont il a les principales phases sous les yeux. Mais le meilleur moyen de rendre le mouvement sensible sera de le reproduire synthétiquement au moyen du *zootrope*. Tout le monde connaît le principe de cet instrument qui sert même de jouet aux enfants et dans lequel on dispose les images représentant les phases successives d'un mouvement sur un disque animé d'un mouvement de rotation ; en regardant ces images à travers une petite fente on a l'illusion du mouvement. On a construit différents modèles de zootropes auxquels on a donné les noms de praxinoscope, phénakistiscope, etc., dont nous n'avons pas à nous occuper ici.

Applications de la chronophotographie

57. — On conçoit que les applications de la chronophotographie soient fort nombreuses. Le lecteur trouvera dans les ouvrages de M. Marey la relation détaillée des recherches faites par ce savant pendant ces quinze dernières années. M. Marey s'est surtout occupé de l'étude des différents modes de locomotion chez les animaux.

En ce qui concerne la locomotion terrestre, M. Marey a étudié dans tous leurs détails les mouvements de l'homme qui marche, court, saute, etc. ; il a étendu ses observations à un grand nombre de quadrupèdes. Ces recherches permettent de faire des comparaisons offrant le plus haut intérêt, et elles montrent comment se comportent, dans la marche, les différents segments des membres homologues chez les divers animaux dont les membres n'offrent pas la même constitution anatomique.

L'étude de la locomotion aquatique est particulièrement intéressante en raison de la variété qu'on observe dans les modes de progression réalisés chez les animaux qui vivent dans l'eau. Pour obtenir les images, M. Marey braque l'objectif sur un aquarium transparent derrière lequel un réflecteur de toile blanche convenablement incliné reçoit la lumière solaire et forme ainsi un fond lumineux sur lequel les animaux se détachent en silhouettes. Les images sont recueillies sur pellicule mobile. C'est de cette manière qu'ont pu être analysés les différents modes de locomotion aquatique parmi lesquels M. Marey distingue : la locomotion par réaction lorsqu'un jet de liquide est projeté par l'animal (poules, méduses, lamellibranches) ; la loco-

motion par choc alternatif d'une palette flexible (nageoire caudale des poissons); la locomotion par l'effet d'une onde qui se propage le long du corps de l'animal (anguilles, serpents); la locomotion au moyen d'organes qui trouvent une résistance inégale dans les deux phases de leur mouvement (comatules, crustacés, etc.).

La locomotion aérienne a été étudiée chez les Oiseaux et chez les Insectes. Pour se renseigner suffisamment sur la nature du mouvement des ailes d'un oiseau, il est nécessaire de le photographier sous différents aspects, d'en haut et de côté, tantôt s'approchant, tantôt s'éloignant de l'appareil photographique. A cause de la rapidité des mouvements, les temps de pose doivent être très courts et les images très nombreuses.

Mais c'est surtout lorsqu'il s'agit d'étudier le mouvement des ailes des insectes que ces poses doivent être très courtes. Un pigeon ne donne pas plus de 8 coups d'aile par seconde, tandis que la mouche en donne 330. Au lieu de $\frac{1}{1000}$ de seconde, la durée de l'exposition doit être réduite à $\frac{1}{20000}$ et même à $\frac{1}{40000}$ de seconde. Pour obtenir ce résultat, il faut réduire à des fentes très étroites les ouvertures du disque;

mais comme avec des poses aussi courtes on n'obtiendrait pas d'image si l'on ne recourait à un éclairage très intense, il est indispensable de placer l'insecte, tenu à l'aide d'une pince, dans une lumière très vive que l'on obtiendra par exemple en concentrant à l'aide d'une lentille biconvexe les rayons du soleil. La silhouette de l'insecte se détache ainsi en noir sur fond lumineux.

Une application intéressante de la chronophotographie est la photographie de la parole. M. Demeny a pu obtenir des séries de photographies de personnes pendant qu'elles prononçaient certaines paroles ; ces épreuves permettent de se rendre compte des mouvements de la langue et des lèvres, et de la forme que prend l'ouverture buccale pendant l'émission des différents sons dont l'ensemble constitue la voix humaine. Ces photographies ont permis de faire certaines expériences fort intéressantes. En plaçant dans un zootrope ces photographies, on voit le sujet s'animer et agiter les lèvres ; des sourds-muets, habitués à lire la parole sur les lèvres, ont pu lire immédiatement la phrase photographiée.

Chronophotographie appliquée à la micrographie

58. M. Marey a tenté d'appliquer la chronophotographie à l'étude des mouvements des animaux vus au microscope. La *fig.* 38 montre dans ses principaux détails la pièce spéciale qu'il adapte au chronophotographe pour l'analyse des mouvements microscopiques et dont il donne la description suivante.

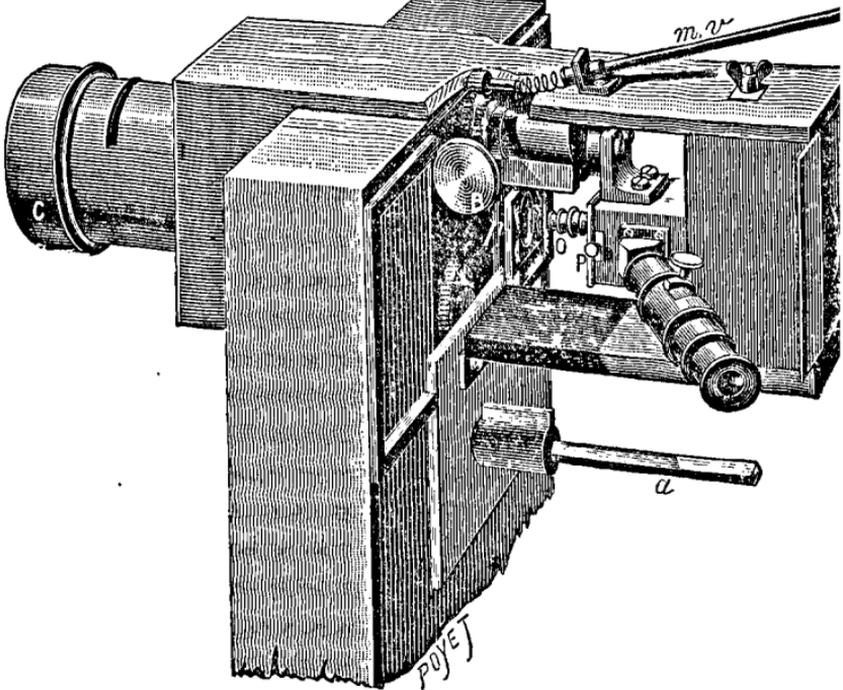
Une caisse de bois ouverte à sa partie centrale, s'adapte à glissière sur l'avant-corps de l'appareil à la façon des boîtes à objectifs déjà décrites. Cette caisse porte, en avant, un objectif C qui ne sert qu'à condenser la lumière envoyée par un héliostat. Le foyer de ce condensateur vient se former sur la platine *p* à l'endroit même où sera placée la préparation. Pour la mise au point, on règle la position de la platine porte-objet, d'abord au moyen d'un bouton B qui commande une crémaillère, puis avec une longue tige *mv* qui commande la vis micrométrique.

L'objet microscopique O est braqué sur la préparation ; en arrière de cet objectif, les rayons qui portent l'image traversent une boîte cubique de métal, puis se continuent à travers

la caisse de bois dans le soufflet qui s'y adapte, et arrivent enfin sur la glace dépolie de la chambre aux images.

Sur le côté de la caisse métallique est obliquement implanté un tube de microscope avec

Fig. 38



son oculaire. La disposition que nous avons déjà décrite dans le chapitre relatif à la micro-

photographie instantanée permet d'envoyer à volonté l'image, soit sur le verre dépoli, soit sur le microscope : elle consiste, comme on sait, dans l'emploi d'un prisme à réflexion totale que l'on met en mouvement au moyen du bouton P. En pressant sur le bouton on avance le prisme et l'on rejette l'image de la préparation dans le microscope ; en tirant sur le bouton, on éloigne le prisme et l'image va se former directement sur le verre dépoli ou sur la plaque sensible.

Les expériences de M. Marey ne sont encore qu'à leur début, mais les résultats qu'il a déjà obtenus doivent encourager les micrographes à poursuivre une voie qui promet de brillants résultats. L'application de la chronophotographie à la microscopie permettra de résoudre une quantité de problèmes fort importants, tels que ceux qui sont relatifs aux mouvements des animaux microscopiques, à l'étude des cils vibratiles, à la physiologie des différents éléments, etc.

J'ai eu l'occasion de citer plus haut un appareil de M. Capranica pour la microphotographie instantanée. Le même auteur a indiqué une disposition permettant d'obtenir des photographies successives d'objets microscopiques en

mouvement. La description que l'auteur donne de son appareil n'est pas accompagnée de dessins et elle est trop obscure pour qu'il soit possible de s'en faire une idée. Toutefois il ressort de cette description que pour obtenir une image sur la plaque sensible, l'opérateur doit déclencher l'obturateur en pressant sur une poire en caoutchouc. Ce procédé primitif ne permet donc pas de réaliser plus de deux impressions en une seconde, ce qui est évidemment insuffisant pour l'analyse d'un mouvement, surtout quand il s'agit du mouvement d'objets microscopiques.

II. APPAREILS ENREGISTREURS PHOTOGRAPHIQUES

59. — Czermack eut le premier l'idée d'appliquer la photographie aux appareils enregistreurs employés en physiologie, et il fit à ce sujet une communication à l'Académie des Sciences de Vienne en 1860. Depuis cette époque, la question a été particulièrement étudiée par le D^r Stein qui imagina une série de dispositifs permettant de remplacer les tracés obtenus sur le papier noir du cylindre enregistreur par des tracés recueillis sur plaques ou sur pellicules sensibles.

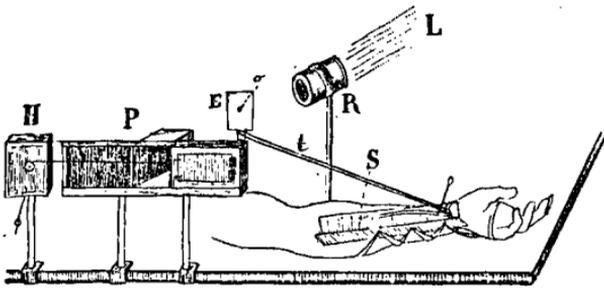
Le principe de la méthode est fort simple. Il suffit de remplacer, à l'extrémité du stylet enregistreur, la plume destinée à inscrire le tracé, par un mince écran de mica noirci ou de carton percé d'un orifice très fin. Si l'on projette sur cet écran un faisceau lumineux, l'orifice donnera passage à un pinceau étroit qui ira impressionner une plaque sensible. Cette plaque étant animée d'un mouvement de translation uniforme, on conçoit que tant que l'écran restera immobile, la plaque fournira l'image d'un trait continu, mais que la plus petite oscillation se traduira par une ligne sinucuse qu'on lira et qu'on interprétera comme un tracé ordinaire.

L'écran percé d'un orifice peut s'adapter tout aussi facilement à un tambour enregistreur de Marey, ou être disposé de manière à flotter sur la surface libre du liquide d'un manomètre. Au lieu d'employer une plaque ordinaire, on pourra la remplacer par une pellicule enroulée sur bobine, et qui se déroulera régulièrement grâce à un mouvement d'horlogerie ou à un ressort compensé.

La *fig. 39* montre la disposition adoptée par Stein pour photographier les mouvements du poulx. Un sphygmographe de Marey, S, est disposé comme d'habitude sur le bras du sujet,

et la plume qui termine le stylet t est remplacée par un écran E percé d'un orifice très petit o . A une certaine distance de cet écran, on dispose d'un côté une source lumineuse assez intense, lampe électrique, oxhydrique ou au magnésium L , dont les rayons sont projetés sur l'orifice o à l'aide d'un condensateur R monté sur un pied articulé. De l'autre côté se trouve un appareil à photogra

Fig. 39

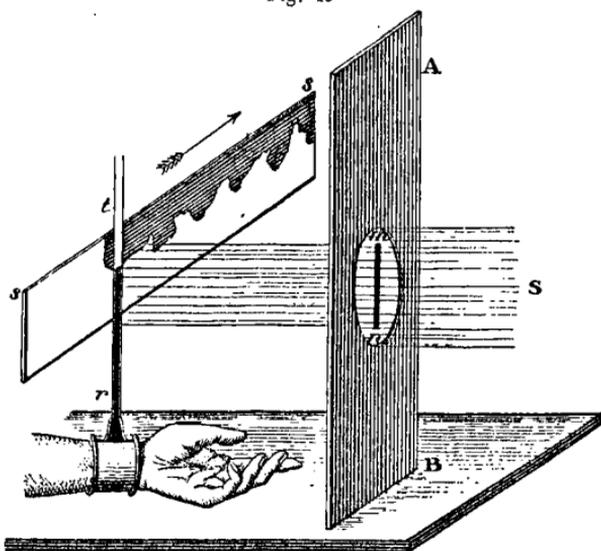


phie P auquel est annexé un appareil d'horlogerie H qui communique à la plaque sensible un mouvement de translation dans un plan vertical perpendiculaire au faisceau lumineux qui traverse l'orifice o . L'appareil photographique porte un objectif qui ne se voit pas sur la figure. On met au point comme d'habitude sur un verre dépoli, puis on remplace ce verre par la plaque que l'on met en mouvement. Il est à peine besoin de faire remarquer que si l'on approche

l'appareil de l'écran, le tracé obtenu sera plus fin, mais l'amplitude des oscillations plus faible que si on l'éloigne de cet écran.

Ce dispositif peut être facilement appliqué à la plupart des appareils, et convenablement modi-

Fig. 40



fié il permettra d'inscrire plusieurs tracés sur une même pellicule comme on le fait sur le cylindre enregistreur.

Le Dr Winternitz a obtenu des photographies du pouls en opérant d'une manière différente. Son appareil se compose (*fig. 40*) d'un tube thermo-

métrique étroit t dont une extrémité élargie en forme de réservoir r est fermée par une mince membrane de caoutchouc. Le tube est rempli aux $\frac{2}{3}$ d'une solution rouge sombre. L'appareil est fixé sur le bras du sujet par son extrémité élargie de manière à ce que les mouvements du pouls communiquent à la colonne liquide des oscillations correspondant à ces mouvements.

Les rayons lumineux provenant d'une source S sont renvoyés sur un écran AB percé d'une fente verticale allongée mn de telle sorte que le faisceau qu'elle admet tombe sur le tube, et se trouve divisé en deux parties par la surface du liquide. Si nous supposons qu'une surface sensible ss se déplace derrière ce tube suivant la direction de la flèche, il est clair que la partie supérieure du faisceau, qui n'est pas arrêtée par le liquide antiphotogénique rouge, impressionnera seule la surface sensible, et que les oscillations de la colonne liquide s'inscriront ainsi directement. Ces oscillations peuvent être d'une grande amplitude et dépendent des dimensions relatives du réservoir inférieur et de la lumière du tube.

On emploiera également un dispositif analogue pour obtenir la courbe photographique de la pression artérielle. Il suffira de disposer, entre la

surface sensible et le manomètre auquel se trouve relié le vaisseau sanguin, un écran muni d'une fente verticale étroite, et l'on opérera comme dans le cas précédent.

On pourra enfin obtenir d'une manière très précise l'enregistrement photographique des phénomènes physiologiques en adaptant, soit sur le tambour, soit sur le stylet de l'appareil, un miroir très léger et linéaire placé soit verticalement, soit horizontalement. Un faisceau lumineux intense est projeté sur le miroir, et l'on reçoit les rayons réfléchis sur une fente orientée perpendiculairement à la direction de ce miroir. La fente ne laisse ainsi passer qu'un pinceau très étroit dont les oscillations correspondront à celles du miroir, et qui sera reçu sur une surface sensible se déplaçant d'un mouvement uniforme, à une certaine distance de la fente. Ce dispositif est appliqué depuis longtemps en météorologie à différents appareils enregistreurs, mais je ne sache pas qu'il ait été déjà appliqué en physiologie.

Il est évident que, suivant le but qu'il poursuit, les dispositions pourront être modifiées par l'expérimentateur : il y a dans cette voie toute une série d'essais intéressants à tenter. On peut même s'étonner que les physiologistes n'aient pas

fait dans cette direction des recherches plus nombreuses. L'enregistrement photographique présente, en effet, sur l'enregistrement par le cylindre noirci de grands avantages. La photographie fournira des tracés de mouvements dont l'amplitude est trop faible pour qu'il soit possible de les enregistrer par les procédés ordinaires ; ces tracés seront plus précis et plus fidèles car on aura supprimé une cause d'erreur : le frottement du stylet sur le papier noirci du cylindre ; enfin les amplifications des oscillations pourront être encore augmentées par la photographie.

III. PHOTOGRAPHIE DES CAVITÉS PROFONDES DE L'ORGANISME

60. — La photographie des cavités internes de l'organisme intéresse tout particulièrement les médecins auxquels elle peut fournir certains éléments précieux de diagnostic et un moyen précis de suivre la marche d'une lésion. Mais cette méthode de recherche ne devra pas non plus être négligée par les physiologistes qui pourront parfois en tirer d'utiles renseignements. Ainsi, pour ne citer qu'un exemple, l'étude à l'aide de la photographie des positions

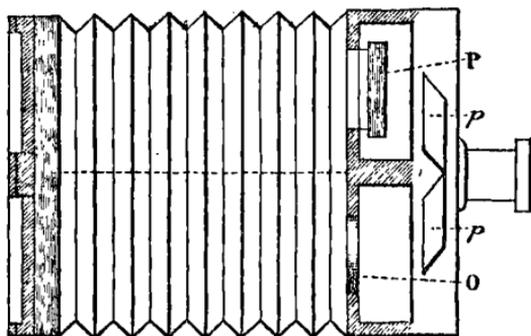
que prennent pendant la phonation les cordes vocales et les différentes parties du larynx, aurait le plus grand intérêt.

La photographie des cavités internes présente ordinairement des difficultés considérables qui tiennent d'abord à la nécessité où l'opérateur se trouve d'éclairer vivement ces cavités à l'aide de miroirs placés de manière à permettre les opérations photographiques, et ensuite à certaines dispositions propres à chaque organe : leur situation profonde (estomac, vessie) ; les mouvements dont ils sont animés (œil, larynx) ; la formation de reflets lumineux (œil), etc, qui gênent considérablement l'opérateur. Ces difficultés expliquent pourquoi les recherches faites dans cette direction sont peu nombreuses et les résultats obtenus jusqu'à maintenant assez peu brillants. Toute cette branche de la photographie scientifique est encore à l'étude.

Pour obtenir de bonnes photographies de ces organes, il est avantageux dans certains cas, indispensable dans d'autres, que l'opérateur voie constamment l'objet à photographier afin de pouvoir saisir le moment opportun pour exposer la plaque. On a imaginé des dispositions, qui diffèrent suivant l'organe à photographier, pour réaliser cette condition. Mais on pourra appli-

quer à presque tous les cas la chambre photographique de Cohn, qui permet de doubler les images, de telle sorte qu'un même objet four-

Fig. 41



nisse deux images également nettes sur le verre dépoli. Cette chambre (*fig. 41*) est divisée par une cloison verticale en deux compartiments, droit et gauche, et le dédoublement est

Fig. 42



obtenu, soit à l'aide de deux prismes rhomboïdaux p, p , placés immédiatement en arrière de l'objectif comme l'indique la figure, soit à l'aide de quatre prismes à réflexion totale (*fig. 42*). L'un de ces compartiments présente

en avant une fenêtre O qui reste toujours ouverte, et il porte en arrière un verre dépoli sur lequel se forme l'image. Dans l'autre compartiment, cette fenêtre est fermée par un obturateur P qu'actionne une poire en caoutchouc, et c'est à ce compartiment qu'on applique le châssis négatif renfermant la plaque sensible. L'opérateur met au point en observant l'image sur la glace dépolie, et il peut continuer à l'observer pendant la pose.

Cette chambre avait été proposée pour la photographie du fond de l'œil par Cohn qui, du reste, n'a pas réussi à obtenir des épreuves de l'œil humain vivant, mais on pourra l'appliquer à la photographie de tous les organes profonds.

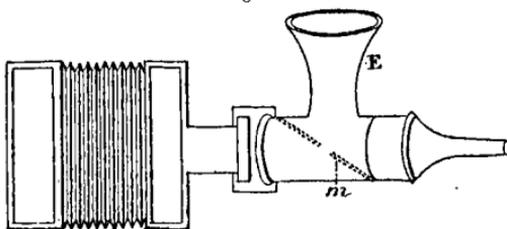
Quels que soient les organes qu'on se proposera de photographier, on aura soin de prendre des plaques orthochromatiques, et plus spécialement des plaques sensibles au rouge, ces organes offrant toujours une coloration voisine du rouge. Il faut aussi que l'éclairage soit intense et que la source soit très riche en rayons chimiques.

Photographie de l'oreille

61. — La photographie du conduit auditif externe et de la membrane du tympan ne présente aucune difficulté. On se servira d'un spécu-

lum de Brunton qu'on adaptera à un appareil photographique ordinaire (*fig. 43*) ou mieux à la chambre de Cohn. On sait que ce spéculum est muni d'un tube latéral évasé *E* destiné à recevoir les rayons éclairants. Ces rayons sont renvoyés vers le fond de l'oreille par un miroir *m*,

Fig. 43



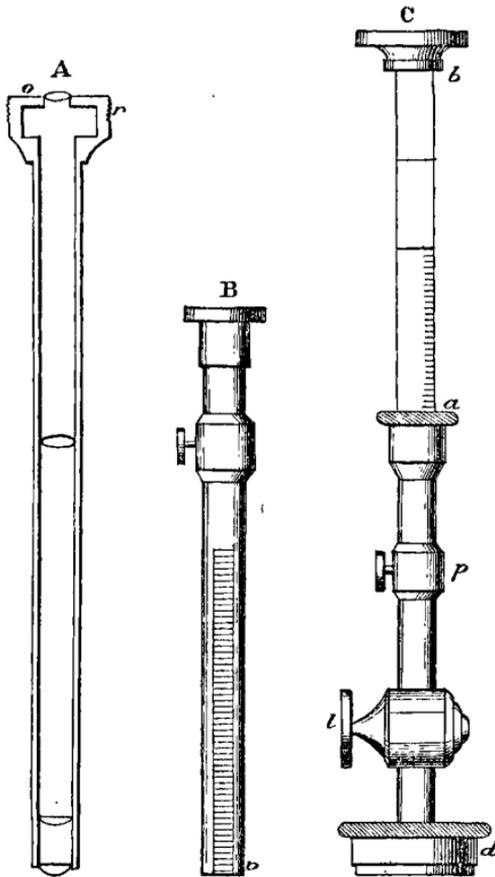
incliné à 45° , percé d'une ouverture centrale pour permettre l'observation ; c'est par cette ouverture que passeront les rayons qui iront impressionner la plaque sensible. On utilisera pour la photographie la lumière du soleil ou d'une source artificielle quelconque.

Photographie de la vessie

62. — La situation profonde de la vessie, qui crée une difficulté considérable pour l'examen direct, rend plus difficile encore la photographie de cet organe. Stein a indiqué autrefois un dis-

positif qui permettrait de photographier l'inté-

Fig. 41



rieur de la vessie. C'était un endoscope de Desormeaux, à éclairage au magnésium, auquel il adap-

tait un appareil photographique ordinaire. Ce système absolument insuffisant, ne paraît pas avoir été jamais appliqué. L'endoscope de Desormeaux est remplacé maintenant par des instruments beaucoup plus parfaits, les *cystoscopes* ou les *mégascopes*, dont le champ est relativement très grand. Certains de ces instruments sont munis à leur extrémité d'une lampe à incandescence qui éclaire directement la surface examinée ; les autres exigent l'emploi du bandeau frontal portant un réflecteur ou un photophore. Les instruments du premier type conviennent seuls pour la photographie.

Des résultats assez satisfaisants ont été obtenus récemment par Küntner qui s'est servi d'un cystoscope de Nitze ayant $5^{\text{mm}} \frac{1}{4}$ de diamètre (*fig. 44*). Dans l'examen ordinaire l'image réelle de la région à observer, formée par un système de lentilles et de miroirs, est étudiée à l'aide d'un oculaire. Pour fixer par la photographie cette image réelle, Küntner enlève l'oculaire, puis il fait glisser dans le cystoscope un tube creux B muni d'une graduation et terminé par un petit disque de verre dépoli *v*. On observe l'image sur ce verre dépoli et on lit sur la graduation le chiffre qui indique très exactement la distance à laquelle se trouve cette image nette. Cette distance notée, on en-

lève ce tube et l'on visse sur l'armature *r* du cystoscope une chambre photographique d'une forme particulière C. Elle est formée d'un tube ayant 55^{mm} de longueur et 5^{mm} de diamètre. En arrière de la douille *d* qui sert à le fixer au cystoscope, ce tube porte en *l* un bouton terminé par un volet qui obture hermétiquement la lumière du tube. Dans ce tube glisse un mandrin *ab* portant des points de repère et une graduation, à l'extrémité interne duquel on a préalablement collé une petite pellicule sensible. On enfonce le mandrin à une profondeur telle que la pellicule se trouve exactement dans le plan où se forme l'image nette (ce qui est facile à réaliser, grâce à la graduation qu'il porte, puisque l'opérateur sait jusqu'à quelle profondeur il doit l'enfoncer). On le fixe dans cette position à l'aide d'une vis de pression *p*. Les choses étant ainsi disposées, il ne reste plus qu'à exposer la plaque en soulevant le bouton *l*.

Le mandrin a un diamètre de 4^{mm} $\frac{3}{4}$, par conséquent l'épreuve obtenue est fort petite et devra être agrandie ultérieurement.

Ce dispositif peut être appliqué au *rectoscope* et au *gastroscope* de Nitze et de Leiter et permettra de photographier la face interne du rectum et de l'estomac. Les épreuves obtenues seront

beaucoup plus grandes que les épreuves cystoscopiques.

On a fait tout récemment des tentatives en vue d'obtenir des photographies de la vessie en introduisant directement dans l'intérieur de cet organe un petit appareil photographique.

Photographie du fond de l'œil

66. — Les ophtalmologistes ont fait de nombreuses recherches pour arriver à fixer par la photographie les images ophtalmoscopiques, et ils se sont heurtés à de grandes difficultés. Ces difficultés proviennent de deux causes : d'abord l'impossibilité d'employer un éclairage assez intense pour permettre des photographies rapides du fond de l'œil, et par conséquent la nécessité de recourir à des poses très longues, et ensuite la formation, sur la cornée, d'un reflet produit par la source lumineuse, qui couvre une plus ou moins grande partie de l'épreuve.

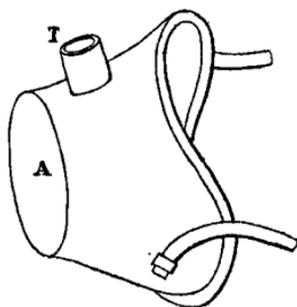
Avant de chercher à photographier la rétine de l'homme, les oculistes ont cherché à photographier le fond de l'œil d'animaux chloroformés. Les résultats ont d'ailleurs été très imparfaits, et je n'en parlerai pas. Les premiers clichés de l'œil humain vivant ont été obtenus

par MM. Jackman et Webster en 1886. Leurs épreuves sont très imparfaites, autant qu'on peut en juger par les dessins qu'ils en donnent; toutefois le dispositif employé par eux est ingénieux et il mérite d'être connu. Ces auteurs ont cherché à remplacer par un appareil photographique l'œil que l'observateur place derrière l'ouverture centrale de l'ophtalmoscope dans les observations ordinaires. Ils ont fait construire dans ce but une petite chambre noire ayant 3 centimètres seulement d'épaisseur, et qui ne pesait que 70 grammes; cette chambre pouvait se fixer sur une pièce de bois qu'on adaptait au moyen d'un bandeau élastique sur la tête de la personne dont on examinait l'œil. Le miroir ophtalmoscopique incliné à 45° était placé devant l'objectif de la chambre noire de manière que l'ouverture se trouvait exactement en face du centre de l'objectif. La source lumineuse était mise sur le côté, et un peu en arrière, de l'œil à photographier. MM. Jackman et Webster se servaient d'un objectif microscopique de Ross de 2 pouces, et d'un éclairage à l'albo-carbon qui exigeait une pose de 2 minutes et demie. Une des plus grandes difficultés qu'ils aient eu à surmonter consistait à obtenir une immobilité parfaite pendant toute la durée de l'exposition. Les

épreuves obtenues par ces auteurs montrent quelques vaisseaux du fond de l'œil, mais la plupart des détails sont masqués par une grande tache blanche qui est l'image du reflet cornéen.

66. — Je laisse de côté une série d'essais plus ou moins infructueux tentés par divers auteurs, pour décrire le dispositif imaginé en 1891 par Gerloff qui, en somme, obtint le premier de

Fig. 45



bonnes photographies du fond de l'œil humain. Pour supprimer le reflet cornéen, ou tout au moins pour arriver à l'atténuer considérablement, il eut l'idée de recouvrir l'œil à photographeur d'une chambre à eau (*fig. 45*) s'appli-

quant exactement sur le pourtour de l'orbite, et dont la face antérieure A est formée par une plaque de verre à faces bien parallèles. L'appareil est maintenu par des bandelettes et on le remplit d'eau par une tubulure T. Le reflet se trouve ainsi fortement diminué, et il est possible d'apercevoir directement une grande partie du fond de l'œil; à la vérité, l'image est rendue un peu plus petite, mais on peut remédier à cet

inconvenient en l'agrandissant ultérieurement ou en rapprochant l'objectif.

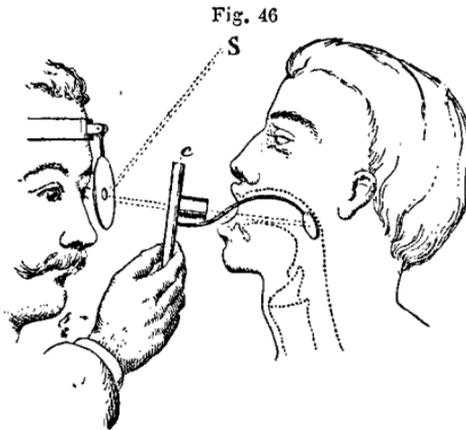
M. Gerloff place devant l'objectif d'une chambre à photographie ordinaire un réflecteur laryngoscopique (dont les dimensions sont plus grandes que l'ophtalmoscope ordinaire), qui renvoie les rayons de la source lumineuse vers l'œil du sujet. Pour éviter un reflet sur la face antérieure de la chambre à eau, la tête doit être placée légèrement de profil. L'œil à photographier regarde une bougie placée au loin : on met au point et on déplace la bougie jusqu'à ce que la pupille apparaisse à l'endroit désiré sur le verre dépoli. En se servant pour l'éclairage d'une lampe à zircon, le temps de pose indiqué par M. Gerloff est de 30 secondes, mais il faut remarquer qu'il opérerait avec un objectif peu rapide.

La photographie qui accompagne le mémoire de M. Gerloff est réellement très bonne. La méthode qu'il a imaginée est commode, et il y a tout lieu de croire qu'en employant un objectif très rapide et un éclairage mieux approprié, on obtiendrait d'aussi bons résultats avec des poses beaucoup plus courtes. Il y aurait aussi avantage à se servir de la chambre à doublement de Cohn. La chambre à eau est parfait-

tement supportée par l'œil, surtout si l'on a soin de le cocaïniser au préalable (1).

Photographie du larynx

68. — Les premières photographies du larynx ont été obtenues par Czermack qui eut recours à



l'autolaryngoscopie. Sa méthode opératoire fut perfectionnée par Stein, mais nous ne décrivons

(1) Pendant la correction des dernières épreuves de ce livre, je lis dans *la Nature* du 3 juin 1893 la description d'un dispositif imaginé par M. Guilloz pour photographier le fond de l'œil à l'éclair magnésien. Les épreuves obtenues par M. Guilloz sont meilleures que celles de M. Gerloff. Le lecteur trouvera le travail complet de M. Guilloz dans les *Archives d'ophtalmologie*, 1893.

pas les dispositifs imaginés par ces deux savants, car l'autolaryngoscopie exige de la part du sujet de telles qualités que ce procédé ne peut pas devenir pratique. Pour obtenir des épreuves réellement utiles et scientifiques, il faut que l'opérateur tienne lui-même le miroir laryngoscopique et le dispose d'une manière convenable au fond de la bouche du sujet.

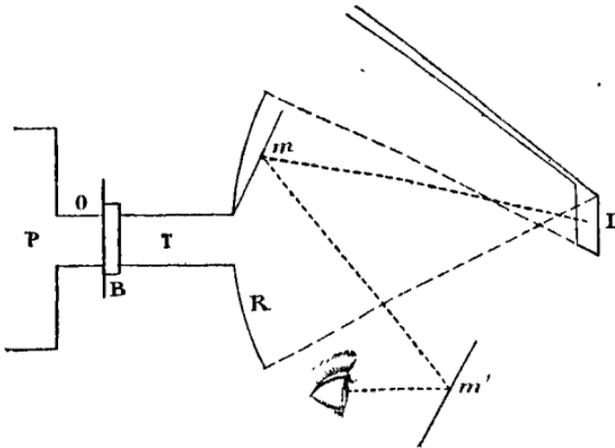
Une méthode assez simple a été proposée par French et consiste à adapter une petite chambre noire au laryngoscope (*fig. 46*); cette chambre *c*, est fixée sur la tige à une distance calculée d'avance, et telle que les rayons réfléchis sur le miroir forment une image nette sur la plaque sensible. L'opérateur porte un miroir frontal à l'aide duquel il renvoie les rayons d'une source lumineuse au fond de la bouche du sujet. Il tient la petite chambre à la main, le doigt placé sur un bouton qui doit déclancher un obturateur, et il pose le laryngoscope comme dans une observation ordinaire. Quand il voit l'image du larynx dans le miroir, il déclanche l'obturateur et la plaque est impressionnée.

66. Behnke et Stein se sont servis de dispositifs un peu différents, mais dans lesquels la chambre est toujours portée par la tige du laryngoscope. Tous ces procédés ont le grand in-

convénient de fournir de très petites épreuves.

Le docteur Wagner a tout récemment décrit un dispositif très ingénieux qui permet d'obtenir des photographies ayant les dimensions de l'image qu'on voit dans le laryngoscope, et qui est bien préférable aux procédés anciens (*fig. 47*) L'appareil est une chambre photographique

Fig 47



ordinaire P, dont l'objectif O, muni d'un obturateur B, porte un tube T de même diamètre que lui et placé exactement dans son prolongement. Ce tube, qui a 10 centimètres de longueur, environ, est soigneusement noirci sur sa face interne, et c'est à son extrémité qu'on fixe un réflecteur laryngoscopique ordinaire R, mobile

autour de ses deux axes vertical et horizontal. La présence de ce tube a pour effet d'empêcher les rayons lumineux que réfléchira le miroir de traverser l'objectif et d'impressionner la plaque.

Le laryngoscope est posé et maintenu en place par l'opérateur qui peut voir lui-même l'image laryngoscopique et choisir le moment convenable pour déclancher l'obturateur, grâce au jeu de deux miroirs plans disposés de la manière suivante : Le réflecteur R porte un petit miroir rectangulaire *m*, faisant avec lui un angle aigu, et fixé sur le bord de son orifice central. Ce premier miroir est orienté de manière à réfléchir l'image laryngoscopique vers un deuxième miroir placé à la même hauteur que lui à côté du sujet et dans lequel l'opérateur peut voir constamment l'image laryngoscopique. Cette image est bien un peu affaiblie puisqu'elle subit trois réflexions avant d'arriver à l'œil de l'opérateur, mais cela ne présente aucun inconvénient. La source lumineuse dont se sert M. Wagner est une lampe au magnésium qui permet d'obtenir facilement de bonnes photographies instantanées. Il est inutile de diaphragmer l'objectif, l'orifice central du réflecteur faisant l'office de diaphragme. Le tirage de la chambre est réglé de telle sorte que

les rayons réfléchis par le miroir laryngien forment une image nette sur la plaque sensible.

Le sujet est assis sur un siège qui peut s'élever et s'abaisser; la tête, placée exactement en face de l'appareil, est fixée à l'aide d'un appui-tête. La source lumineuse se trouve à sa droite et le réflecteur est disposé de manière à éclairer fortement le fond de la gorge. Le petit miroir plan que porte le réflecteur, et le deuxième miroir plan qui a été placé à gauche du sujet, font entre eux des angles tels que l'image laryngienne soit vue par l'opérateur dans ce dernier. Il est facile de disposer ces pièces une fois pour toutes pour n'avoir pas à y revenir à chaque opération. L'opérateur tient d'une main la poire qui actionne l'obturateur et de l'autre le laryngoscope qu'il met en place; il observe l'image réfléchie dans le miroir placé devant lui, et il déclanche l'obturateur au moment voulu.

INDEX BIBLIOGRAPHIQUE

(LES OUVRAGES LES PLUS IMPORTANTS SONT SEULS INDIQUÉS)

I

MICROPHOTOGRAPHIE

- BEHRENS, KOSSEL und SCHIEFFERDECKER. — *Das Mikroskop*, 1890.
- BONSFIELD. — *A guide to the Science of Photomicrography*. London, 1887.
- CAPRANICA. — *Sur quelques procédés de microphotographie*. *Zeit. f. wissenschaft. Mikroskopie*, VI, 1889.
- DIPPEL. — *Das Mikroskop*. Braunschweig, 1883.
- EDER. — *Ausführliches Handbuch der Photographie*. Halle. (En publication).
- FABRE. — *Traité Encyclopédique de Photographie*. Paris, 1890.
- HAUER. — *Grundsüge der Mikrophotographie*. Leipzig, 1876.
- HEURCK (VAN). — *Le microscope*. Anvers, 1891.
- KÖHLER — Les applications de la Photographie 13*

- JENNINGS. — *Photomicrography*. New-York, 1886.
- JESERICH. — *Die Mikrophotographie*. Berlin, 1888.
- MARKTANNER. — TURNERETSCHER. — *Die Mikrophotographie als Hilfsmittel der nat. Forschung*. Halle, 1890. (Renferme un index bibliographique très étendu des ouvrages relatifs à la microphotographie).
- MOITESSIER. — *La photographie appliquée aux recherches micrographiques*. Paris, 1868.
- NEUHAUSS. — *Lehrbuch der Mikrophotographie*. Braunschweig, 1890.
- PRINGLE. — *Practical photomicrography*. New-York, 1890.
- STEIN. — *Das Licht*. Halle, 1882-1890.
- STERNBERG. — *Photomicrophotographs and how to make them*. Boston, 1883.
- VIALLANES. — *La photographie appliquée aux études d'anatomie*. Paris, 1886.
- ZEISS. — *Special Catalogue über Apparate für Mikrophotographie*. Iena, 1888.
- A consulter en outre un grand nombre de mémoires publiés dans les journaux suivants :
- American Monthly Microscopical Journal.*
Bulletin de l'Association belge de Microscopie.
Bulletin de l'Association belge de Photographie.
Journal de Micrographie.
Journal of Royal Microscopical Society.
The microscope.
Proceedings American Society Microscopik.
Zeitschrift für wissenschaftliche Mikroskopie.

II

APPLICATIONS DE LA PHOTOGRAPHIE
A LA PHYSIOLOGIE

- BEREGSZASY. — *Ueber Photographie des menschlichen Kehlkopfs*. Photogr. Correspondenz, 1884.
- COHN. — *Die photographische Rhomboeder-Camera*. Berliner Klin. Wochenschrift, 1889.
- DEMENY. — *La photographie de la parole*. Comptes Rendus de l'Académie des Sciences. Paris, 1891.
- FRENCH. — *Photography of larynx*. Arch. of laryngology, 1883.
- GERLOFF. — *Ueber die Photographie des Augenhintergrundes*. Klin. Monatsbl. f. Augenheilkunde.
- JACKMANN et WEBSTER. — *Photographie de la rétine de l'œil humain vivant*. Bull. Ass. Belge de Photographie, 1886.
- KÜNTNER. — *Ueber Photographie innerer Körperhöhle*. Deutsche medicin. Wochensch., 1891.
- MAREY. — *La méthode graphique et le développement de la méthode graphique par la photographie*. Paris, 1885.
- *La chronophotographie*. Revue générale des Sciences, 1891.
- *Plusieurs mémoires publiés dans les Comptes Rendus de l'Académie des Sciences, la Nature, etc.*
- WAGNER. — *Die photographische Aufnahme des Kehlkopfs und der Mundhöhle*. Berliner Klin. Wochensch., 1890.

TABLE DES MATIÈRES

	Pages
Avant-propos	5

PREMIÈRE PARTIE

MICROPHOTOGRAPHIE

Appareils

Microscope	14
Chambre noire.	17

Objectifs et oculaires

Objectifs	31
Pouvoir séparateur ou résolvant	31
Pouvoir grossissant	38
" pénétrant	40
" définissant	42
Objectifs apochromatiques	45
Oculaires.	47

Eclairage

	Pages
Ouverture du cône lumineux	53
Eclairage monochromatique	60
Procédés pour obtenir une lumière monochromatique	61
Utilité de la lumière monochromatique.	65
Sources lumineuses	73
Installation de la source lumineuse. Banc optique	83
Eclairage des objets opaques	90

Préparations

Qualités que doivent avoir les préparations à photographier	94
Coloration des préparations	97
Liquides d'inclusion.	99

Méthodes microphotographiques spéciales

Photographie microscopique instantanée	100
Epreuves stéréoscopiques	108
Microphotographie à la lumière polarisée	111
Microspectrophotographie.	112

Opérations

Choix de l'objectif et de l'oculaire. Grossissement	111
Mise au point	119
Plaques sensibles.	120
Temps de pose.	121
Opérations photographiques	123
Epreuves pour projections	128

DEUXIÈME PARTIE

APPLICATIONS DE LA PHOTOGRAPHIE
A LA PHYSIOLOGIE*Chronophotographie*

	Pages
Chronophotographie sur plaque fixe.	135
" " pellicules mobiles	142
Chronophotographe complet de M. Marey.	144
Applications de la chronophotographie.	163
Chronophotographie appliquée à la micrographie	

Appareils enregistreurs

Applications de la photographie aux appareils enregistreurs	170
--	-----

*Photographie des cavités profondes
de l'organisme*

Photographie de l'oreille.	179
" de la vessie.	180
" du fond de l'œil.	184
" du larynx	188

ST-AMAND (CHER). IMPRIMERIE DESTENAY, BUSSIÈRE FRÈRES

TRAITÉ DE MÉDECINE

Publié sous la direction de MM. CHARCOT et BOUCHARD, membres de l'Institut et professeurs à la Faculté de médecine de Paris, et BRISSAUD, professeur agrégé, par MM. BABINSKI, BALLEL, BRAULT, CHANTEMESSE, CHARRIN, CHAUFFARD, COURTOIS-SUFFIT, GILBERT, GUINON, LE GENDRE, MARFAN, MARIE, MATHIEU, NETTER, OËTINGER, ANDRÉ PETIT, RICHARDIÈRE, ROGER, RUAULT, THIBERGE, L.-H. THOINOT, FERNAND VIDAL. 6 vol. in-8. avec figures (4 vol. publiés au 1^{er} juin 1893). Prix de ces 4 vol. 82 fr.

L'éloge de cet important ouvrage n'est plus à faire et son succès s'affirme chaque jour. Chacune des monographies que renferme cet ouvrage résumé d'une façon remarquable l'état de la science, et met au courant de ses derniers progrès. Après la description de chaque maladie, on y trouvera exposé, avec les détails souvent minutieux qu'il comporte, le traitement avec toutes les indications. Comme le fait très justement remarquer la *Gazette hebdomadaire* de médecine et de chirurgie cette publication rendra les services les plus signalés parce qu'elle est rédigée par des cliniciens déjà expérimentés, en mesure, par conséquent, de bien discerner ce qu'il faut retenir des traditions du passé, et ce qu'il convient d'y modifier en raison des découvertes contemporaines.

TRAITÉ DE CHIRURGIE

Publié sous la direction de MM. SIMON DUPLAY, professeur de clinique chirurgicale à la Faculté de médecine de Paris, et PAUL RECLUS, professeur agrégé, par MM. BERGER, BROCA, DELBET, DELENS, GÉRARD-MARCHANT, FORGUE, HARTMANN, HEYDENREICH, JALAGUIER, KIRMISSON, LAGRANGE, LEJARS, MICHAUX, NÉLATON, PEYROT, PONCET, POTHIER, QUÉNU, RICARD, SEGOND, TUFFIER, WALTHER. 8 forts volumes in-8, avec nombreuses figures 150 fr.

Commencé en 1889 et terminé en 1892, cet ouvrage donne plus qu'aucun autre l'état de la chirurgie contemporaine.

TRAITÉ DE GYNÉCOLOGIE CLINIQUE ET OPÉRATOIRE

Par S. POZZI, professeur agrégé à la Faculté de médecine de Paris, chirurgien de l'hôpital Lourcine-Pascal. 2^e édition. 1 vol. in-8, relié toile avec 500 figures dans le texte. 30 fr.

C'est un traité de gynécologie tel qu'il n'en existe pas de semblable dans la littérature médicale française. Si nous étions jusqu'ici tributaires de l'étranger, dont nous traduisions les publications, on peut dire que l'apparition du livre de M. Pozzi a changé la face des choses. Grâce à lui ce sont nos œuvres qu'on traduit aujourd'hui puisque le traité de gynécologie a déjà été traduit en 4 langues qui sont par ordre chronologique l'allemand, l'anglais, l'espagnol et l'italien.

(*Gazette des hôpitaux*).

LIBRAIRIE G. MASSON, 120, BOULEVARD ST-GERMAIN, PARIS

Leçons de thérapeutique, par le Dr Georges HAYEM, professeur à la Faculté de médecine de Paris.

Les 4 premiers volumes des leçons de thérapeutique comprennent l'ensemble des *Médications* et sont ainsi divisés :

Première série. — Médications. — Médication désinfectante. — Médication sthénique. — Médication antipyrétique. — Médication antiphlogistique.

Deuxième série. — De l'action médicamenteuse. — Médication antihydropique. — Médication hémostatique. — Médication reconstituante. — Médication de l'anémie. — Médication du diabète sucré. — Médication de l'obésité. — Médication de la douleur.

Troisième série. — Médication de la douleur (suite). — Médication hypnotique. — Médication stupéfiante. — Médication antispasmodique. — Médication excitatrice de la sensibilité. — Médication hypercinétique. — Médication de la kinésirataxie cardiaque. — Médication de l'asystolie. — Médication de l'ataxie et de la neurasthénie cardiaque.

Quatrième série. — Médication antidyspeptique. — Médication antidyspnéique. — Médication de la toux. — Médication expectorante. — Médication de l'albuminurie. — Médication de l'urémie. — Médication antisudorale.

Chacun des 3 premiers volumes . . . 8 fr. le tome IV. 12 fr.

Anatomie du cerveau de l'homme, morphologie des hémisphères cérébraux ou cerveau proprement dit, texte et figures par E. BRISSAUD, agrégé, médecin de l'hôpital Saint-Antoine. Cet ouvrage comprend un atlas grand in-4° de 43 planches gravées sur cuivre, représentant 270 réparations, grandeur naturelle, avec explication en regard de chacune, et un volume in-8° de 580 pages, avec plus de 200 figures schématiques dans le texte. L'atlas et le texte sont reliés en toile anglaise. Prix des deux volumes. 80 fr.

Traité de thérapeutique chirurgicale, par Em. FORGUE, professeur d'opérations et appareils à la Faculté de médecine de Montpellier et P. RECLUS, professeur agrégé à la Faculté de médecine de Paris. 2 volumes grand in-8 avec 368 figures. 32 fr.

Recherches sur les centres nerveux, alcoolisme, folie des héréditaires dégénérés, paralysie générale, médecine légale, par le Dr V. MAGNAN, médecin de l'Asile clinique (Sainte-Anne), membre de l'Académie de Médecine, deuxième série, avec 6 planches hors texte, 1 graphique en chromolithographie et 27 figures dans le texte. Prix du volume. 12 fr.

Leçons cliniques sur les maladies des enfants, faites à l'hôpital général de Montpellier (1889-1892), par le Dr Léopold BAUMEL, professeur à la Faculté de médecine, chargé du cours de clinique des maladies des enfants : membre du Conseil central d'hygiène et de salubrité du département de l'Hérault. 1 volume in-8° avec 7 figures dans le texte. 6 fr.

Manuel technique de massage, par le Dr J. BROUSSES, médecin-major de 2^{me} classe, répétiteur de pathologie chirurgicale à l'école du Service de santé militaire, lauréat de l'Académie de médecine. 1 volume petit in-18 avec figures dans le texte. 1 fr. 50

Guide pratique des maladies mentales, *Séméiologie, Pronostic, Indications*, par le docteur Paul SOLLIER, ancien interne des hôpitaux et des hospices de Bicêtre et de la Salpêtrière, chef de clinique adjoint à la Faculté de Médecine de Paris. 1 volume in-18, cartonné raisin diamant 5 fr.

TABLEAU DES PUBLICATIONS PÉRIODIQUES

PÉRIODICITÉ		Paris.	Dép.	Etr.
<i>Mensuel.</i>	Annales agronomiques	18 »	18 »	21 »
—	— de Chimie et de Physique.	30 »	34 »	63 »
—	— de Dermatologie et de Syphiligraphie	30 »	32 »	32 »
—	— de l'Institut Pasteur	18 »	20 »	20 »
—	— des Maladies de l'Oreille et du Larynx	12 »	14 »	15 »
Tous les 2 mois.	— Médico-Psychologiques	20 »	23 »	25 »
<i>Mensuel.</i>	— des Sciences naturelles (Zoologie—Botanique).	30 »	32 »	32 »
—	— l'Autropologie	25 »	27 »	28 »
Tous les 2 mois.	Archives de l'Antropologie criminelle.	20 »	20 »	23 »
—	— de Médecine expérimentale	24 »	25 »	26 »
<i>Trimestriel.</i>	— de Physiologie normale et pathologique.	24 »	25 »	26 »
<i>Semesriel.</i>	— du Muséum d'Histoire naturelle	40 »	40 »	40 »
<i>Hebdomadaire.</i>	Bulletin hebdomadaire de statistique municipale	6 »	9 »	9 »
—	Gazette hebdomadaire de Médecine et de Chirurgie	24 »	24 »	24 »
2 fois par semaine.	Journal de l'Agriculture	20 »	20 »	22 »
2 fois par mois.	— de Pharmacie et de Chimie.	15 »	15 »	17 »
—	Revue Neurologique.	20 »	20 »	22 »
<i>Hebdomadaire.</i>	Le Mercredi médical.	6 »	6 »	6 »
—	La "Nature" de Gaston Tissandier	20 »	25 »	26 »
<i>Mensuel.</i>	Revue d'Hygiène et de Police sanitaire	20 »	22 »	23 »
—	— générale d'Ophthalmologie	20 »	22 »	22 50
<i>Trimestriel.</i>	— des Sciences médicales	30 »	33 »	34 »
Tous les 2 mois	— d'Orthopédie	12 »	14 »	15 »
<i>Trimestriel.</i>	— de l'Aéronautique.	8 »	8 »	10 »
SOCIÉTÉS SAVANTES				
<i>Hebdomadaire.</i>	Bulletin de l'Académie de Médecine	15 »	18 »	20 »
2 fois par mois.	— de la Société Chimique	25 »	26 »	27 »
<i>Mensuel.</i>	— de la Société de Chirurgie	18 »	20 »	22 »
2 fois par mois.	— de la Société Médicale des hôpitaux	12 »	12 »	15 »
<i>Trimestriel.</i>	— de la Soc. d'Anthropologie.	10 »	12 »	13 »
<i>Hebdomadaire.</i>	— de la Société de Biologie.	15 »	15 »	17 »
<i>Mensuel.</i>	— de la Société de Dermatologie.	12 »	12 »	14 »
—	— de l'Union des Femmes de France.	3 50	3 50	4

DICTIONNAIRE
DES ARTS & MANUFACTURES
ET DE L'AGRICULTURE

FORMANT UN TRAITÉ COMPLET DE TECHNOLOGIE

Par Ch. LABOULAYE

Avec la collaboration de Savants, d'Industriels et de Publicistes

SEPTIÈME ÉDITION, PUBLIÉE EN 5 VOLUMES

REVUE ET COMPLÉTÉE A LA SUITE DE L'EXPOSITION DE 1889

Imprimée sur deux colonnes avec plus de 5,000 figures
dans le texte. Prix des 5 volumes : brochés. 120 fr.
reliés. 145 fr.

Le Dictionnaire des Arts et Manufactures est devenu, par son grand et légitime succès, un ouvrage classique parmi les ingénieurs et tous ceux qui s'intéressent aux progrès de l'industrie.

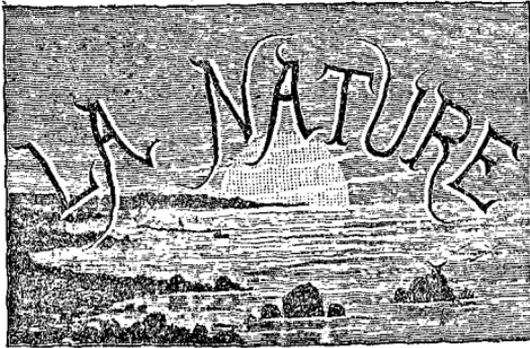
C'est un ouvrage de recherches et d'études que l'on consulte, non seulement pour y trouver des renseignements sur sa propre industrie, mais souvent aussi sur les procédés des industries connexes, et sur les questions générales qui intéressent toute entreprise industrielle. L'Exposition de 1889 a fourni une abondante récolte d'indications précieuses, mises à profit par les collaborateurs de M. Ch. Laboulaye qui continuent son œuvre. Parmi les sujets remaniés ou traités à nouveau dans leur entier, nous citerons : l'électricité (installation d'éclairage, projets de machine, transport de la force, etc.), le verre, le sucre, les constructions métalliques, l'éclairage, la métallurgie, les canaux, le matériel des chemins de fer, les instruments d'agriculture, la statistique graphique, la statistique industrielle et agricole, les institutions de prévoyance (caisses de retraites, assurances, sociétés coopératives, réglementation du travail, syndicats professionnels, etc.). La nouvelle édition du *Dictionnaire des Arts et Manufactures* est tenue au courant des progrès, et nous avons lu avec grand intérêt, parmi les articles nouveaux, ceux qui se rapportent à la statistique et aux institutions de prévoyance. Cette nouvelle édition aura le succès de ses devancières.

(Extrait de *La Nature*.)

~~~~~

**LIBRAIRIE G. MANSON, 130, BOULEVARD SAINT-GERMAIN, A PARIS**

VINGT-ET-UNIÈME ANNÉE



40 VOLUMES PARUS

REVUE DES SCIENCES  
ET DE LEURS APPLICATIONS AUX ARTS ET A L'INDUSTRIE

*Journal hebdomadaire illustré*

RÉDACTEUR EN CHEF: **GASTON TISSANDIER**

*La Nature*, fondée en 1873 par M. Gaston Tissandier, est le plus considérable des journaux de vulgarisation scientifique, par son nombre d'abonnés, par la valeur de sa rédaction, par la sûreté de ses informations.

Des collaborations éminentes lui permettent de tenir de la façon la plus précise ses lecteurs au courant de toutes les découvertes, de tous les travaux importants, de toutes les observations curieuses, sa grande notoriété, sa vaste circulation non seulement en France, mais à l'étranger, lui donnent, pour parler de tous les événements qui touchent à la science, avec rapidité et avec autorité, des moyens d'information dont elle sait faire profiter largement le public.

D'une indépendance absolue, *La Nature* peut sans craindre d'être accusée de complaisance ou de mercantilisme, faire une large part à la science pratique, même dans ses plus modestes applications.

Elle a, la première, inauguré ces *Récréations scientifiques*, qui ont si souvent amusé en même temps qu'instruit les lecteurs de tous les âges.

Elle a su faire à l'illustration une place chaque jour plus grande, en s'imposant depuis longtemps la règle de ne donner jamais que des figures originelles exécutées par nos meilleurs artistes.

Grâce à la *Boîte aux lettres* publiée chaque semaine dans *La Nature*, tous les lecteurs, en quelque sorte, deviennent les collaborateurs du directeur, notamment pour ces innombrables recettes dont on est si friand, pour les renseignements usuels, qu'on ne sait, surtout hors de Paris, comment se procurer.

*La Nature* n'est pas seulement un Journal; il suffit de feuilleter la collection, pour voir que son rôle n'est pas si éphémère; c'est aussi un répertoire précieux qui, après avoir passé sur le bureau du savant, sur la table du salon, ou dans la salle d'études, prend dans la bibliothèque une place d'honneur pour être relu ou consulté, pour être feuilleté même au point de vue artistique. C'est une véritable Encyclopédie, qui comprend aujourd'hui 40 volumes.

|             |   |                |                |                  |
|-------------|---|----------------|----------------|------------------|
| ABONNEMENTS | { | Paris :        | Un an, 20 fr.; | Six mois, 10 fr. |
|             |   | Départements : | — 25 fr.;      | — 12 fr. 50      |

CHAQUE ANNÉE FORME DEUX VOLUMES

On s'abonne à la Librairie G. Masson, 120, boul. St-Germain, Paris.

LIBRAIRIE GAUTHIER-VILLARS ET FILS  
Envoi franco contre mandat-poste ou valeur sur Paris

# COURS DE PHYSIQUE

DE  
L'ÉCOLE POLYTECHNIQUE

PAR M. J. JAMIN

QUATRIÈME ÉDITION

AUGMENTÉE ET ENTIÈREMENT REFONDUE,

PAR

M. BOUTY,

Professeur à la Faculté des Sciences de Paris.

Quatre Tomes in-8, de plus de 4000 pages, avec 1587 figures et  
14 planches sur acier, dont 2 en couleur; 1885-1891. (OUVRAGE  
COMPLÉX) . . . . . 72 fr.

On vend séparément :

TOME I. — 9 fr.

- (\*) 1<sup>er</sup> fascicule. — *Instruments de mesure. Hydrostatique*; avec 150 fig.  
et 1 planche . . . . . 5 fr.  
2<sup>e</sup> fascicule. — *Physique moléculaire*; avec 93 figures . . . . . 4 fr.

TOME II. — CHALEUR. — 15 fr.

- (\*) 1<sup>er</sup> fascicule. — *Thermométrie. Dilatations*; avec 98 fig. . . . . 5 fr.  
(\*) 2<sup>e</sup> fascicule. — *Calorimétrie*; avec 48 fig. et 2 planches . . . . . 5 fr.  
3<sup>e</sup> fascicule. — *Thermodynamique. Propagation de la chaleur*;  
avec 47 figures . . . . . 5 fr.

TOME III. — ACOUSTIQUE; OPTIQUE. — 22 fr.

- 1<sup>er</sup> fascicule. — *Acoustique*; avec 123 figures. . . . . 4 fr.  
(\*) 2<sup>e</sup> fascicule. — *Optique géométrique*; avec 139 figures et 3 plan-  
ches. . . . . 4 fr.  
3<sup>e</sup> fascicule. — *Étude des radiations lumineuses, chimiques et*  
*calorifiques; Optique physique*; avec 249 fig. et 5 planches, dont  
2 planches de spectres en couleur . . . . . 14 fr.

(\*) Les matières du programme d'admission à l'École Polytechnique sont comprises dans  
les parties suivantes de l'Ouvrage : Tome I, 1<sup>er</sup> fascicule; Tome II, 1<sup>er</sup> et 2<sup>e</sup> fascicules;  
Tome III, 2<sup>e</sup> fascicule.

**LIBRAIRIE GAUTHIER-VILLARS ET FILS**

**TOME IV (1<sup>re</sup> Partie). — ÉLECTRICITÉ STATIQUE ET DYNAMIQUE. — 13 fr.**

1<sup>er</sup> fascicule. — *Gravitation universelle. Électricité statique; avec 155 fig. et 1 planche* . . . . . 7 fr.

2<sup>o</sup> fascicule. — *La pile. Phénomènes électrothermiques et électrochimiques; avec 161 fig. et 1 planche* . . . . . 6 fr.

**TOME IV. — (2<sup>e</sup> Partie). — MAGNÉTISME; APPLICATIONS. — 13 fr.]**

3<sup>o</sup> fascicule. — *Les aimants. Magnétisme. Electromagnétisme. Induction; avec 240 figures* . . . . . 8 fr.

4<sup>o</sup> fascicule. — *Météorologie électrique; applications de l'électricité. Théories générales; avec 84 fig. et 1 pl.* . . . . . 5 fr.

**TABLES GÉNÉRALES.**

*Tables générales, par ordre de matières et par noms d'auteurs, des quatre volumes du Cours de Physique. In-8; 1891 . . . . . 60 c.*

*Tous les trois ans, un supplément, destiné à exposer les progrès accomplis pendant cette période, viendra compléter ce grand Traité et le maintenir au courant des derniers travaux.*

Pour ne pas trop grossir un ouvrage déjà bien volumineux, il a fallu dans cette nouvelle édition en soumettre tous les détails à une révision sévère, supprimer ce qui avait quelque peu vieilli, sacrifier la description d'appareils ou d'expériences qui, tout en ayant fait époque, ont été rendus inutiles par des travaux plus parfaits; en un mot, poursuivre dans ses dernières conséquences la transformation entreprise non sans quelque timidité dans l'édition précédente. Au reste, pour tenir un livre au courant d'une Science dont le développement est d'une rapidité si surprenante, et dans laquelle un seul résultat nouveau peut modifier jusqu'aux idées même qui servent de base à l'enseignement, il ne suffit pas d'ajouter des faits à d'autres faits: c'est l'ordre, l'enchaînement, la contexture même de l'ouvrage qu'il faut renouveler. On se ferait donc une idée inexacte de cette quatrième édition du *Cours de Physique de l'École Polytechnique* en se bornant à constater que ces quatre Volumes se sont accrus de près de 500 pages et de 150 figures, soit de un septième environ: les modifications touchent, pour ainsi dire, à chaque page et c'est en réalité au moins le tiers du texte qui a été écrit à nouveau d'une manière complète.

**Duhem.** — Chargé de Cours à la Faculté des Sciences de Lille. *Leçons sur l'Électricité et le Magnétisme.* 3 vol. gr. in-8, avec 215 figures: Tome I, 1891; 16 fr.— Tome II, 1892; 14 fr.— Tome III, 1892; 15 fr.

**Mascart (E.)** Membre de l'Institut. *Traité d'Optique.* Trois beaux volumes grand in-8, se vendant séparément:

**TOME I:** *Systèmes optiques. Interférences. Vibrations. Diffraction. Polarisation. Double réfraction.* Avec 199 figures et 2 planches; 1889. 20 fr.

**TOME II ET ATLAS:** *Propriétés des cristaux. Polarisation rotatoire. Réflexion vitrée. Réflexion métallique. Réflexion cristalline. Polarisation chromatique.* Avec 113 figures et Atlas cartonné; 1891. Prix pour les souscripteurs. . . . . 24 fr.

Le texte est complet; mais l'Atlas du Tome II ne sera envoyé qu'ultérieurement aux souscripteurs, en raison des soins et du temps nécessités par la gravure.

**TOME III:** *Polarisation par diffraction. Propagation de la lumière. Photométrie. Réfractions astronomiques.* Un très fort volume avec 83 figures; 1893 . . . . . 20 fr.

## LIBRAIRIE GAUTHIER-VILLARS ET FILS

Envoi franco contre mandat-poste ou valeur sur Paris

**BAILLAUD (B.)**, Doyen de la Faculté des Sciences de Toulouse, Directeur de l'Observatoire. — **Cours d'astronomie à l'usage des étudiants des Facultés des Sciences**, 2 volumes grand in-8, se vendant séparément.

**I<sup>re</sup> PARTIE** : *Quelques théories applicables à l'étude des sciences expérimentales. — Probabilités : erreurs des observations. — Instruments d'Optique. — Instruments d'Astronomie. — Calculs numériques, interpolations, avec 58 figures*, 1893. . . . . 8 fr.

**II<sup>me</sup> PARTIE** : *Astronomie. Astronomie sphérique. Étude du système solaire Détermination des éléments géographiques. (Sous presse)*.

**BARILLOT (Ernest)**, membre de la Société chimique de Paris. — **Manuel de l'analyse des vins. Dosage des éléments naturels. Recherche analytique des falsifications**. Petit in-8, avec nombreuses figures et Tables; 1889. . . . . 3 fr. 50

**CHAPPUIS (J.)**, Agrégé, Docteur ès-sciences, Professeur de Physique générale à l'École Centrale, et **BERGET (A.)**, Docteur ès-sciences, attaché au laboratoire des Recherches physiques de la Sorbonne. — **Leçons de Physique générale. Cours professé à l'École Centrale des Arts et Manufactures et complété suivant le programme de la Licence ès-sciences physiques**. 3 volumes grand in-8 se vendant séparément :  
**TOME I** : *Instruments de mesure. Chaleur*. Avec 175 figures; 1891. 13 fr.  
**TOME II** : *Electricité et Magnétisme*. Avec 305 figures; 1891. . 13 fr.  
**TOME III** : *Acoustique. Optique; Electro-optique*. Avec 193 figures; 1892. . . . . 10 fr.

**ENDRÈS (E.)**, Inspecteur général honoraire des Ponts et Chaussées. — **Manuel du Conducteur des Ponts et Chaussées**. Ouvrage indispensable aux Conducteurs et Employés secondaires des Ponts et Chaussées et des Compagnies de Chemin de fer, aux Gardes-mines, aux Gardes et Sous-Officiers de l'Artillerie et du Génie, aux Agents-voyers et aux Candidats à ces emplois. Honoré d'une souscription des Ministères du Commerce et des Travaux publics, et recommandé pour le service vicinal par le Ministre de l'Intérieur, 7<sup>e</sup> édition modifiée conformément au décret du 9 juin 1888. 3 volumes in-8. . . 27 fr.

On vend séparément :

**TOME I** : *Partie théorique*, avec 407 fig.; et **tome II** : *Partie pratique*, avec fig., 2 vol. in-8; 1884. . . . . 18 fr.

**TOME III** : *Partie technique*. In-8, avec 241 fig., 1888. . . 9 fr.

Ce dernier Volume est consacré à l'exposition des doctrines spéciales qui se rattachent à l'Art de l'Ingénieur en général et au service des Ponts et Chaussées en particulier.

**GRAY (John)**, Associé de l'École Royale des Mines, de l'Institut des Ingénieurs électriciens, etc. — **Les machines électriques à influence. Exposé complet de leur histoire et de leur théorie**, suivi d'Instructions pratiques sur la manière de les construire. Traduit de l'anglais et annoté par **GEORGES PELLISSIER**, Rédacteur à la *Lumière électrique*. In-8 avec 124 fig.; 1892. . . . . 5 fr.

**JANET (Paul)**, Docteur en Sciences physiques, chargé de cours à la Faculté des Sciences de Grenoble. — **Premiers principes d'Electricité industrielle. Piles. Accumulateurs. Dynamos. Transformateurs**. In-8 avec 173 figures, 1893. . . . . 6 fr.

**LACOUTURE (Charles).** — Répertoire chromatique. *Solution raisonnée et pratique des problèmes les plus usuels dans l'étude et l'emploi des couleurs.* 29 TABLEAUX EN CHROMO représentant 952 teintes différentes et définies, groupées en plus de 600 gammes typiques. In-4, contenant un texte de xi-144 pages, vrai traité de la science pratique des couleurs, accompagné de nombreux diagrammes, et suivi d'un atlas de 29 tableaux en chromo qui offrent à la fois l'illustration du texte et de nouvelles ressources pour les applications; 1890. (*Ouvrage honoré de la MÉDAILLE D'OR de la Société industrielle du Nord de la France, 18 janvier 1891.*)

Broché. . . . . 25 fr. | Cartonné. . . . . 30 fr.

**LÉVY (Maurice).** Ingénieur en chef des Ponts et Chaussées, Membre de l'Institut, Professeur au Collège de France et à l'École Centrale des Arts et Manufactures. — **La Statique graphique et ses applications aux constructions.** 2<sup>e</sup> édition. 4 vol. grand in-8, avec 4 Atlas de même format. (*Ouvrage honoré d'une souscription du ministère des Travaux publics.*)

I<sup>re</sup> PARTIE : *Principes et applications de la Statique graphique pure.*  
Gr. in-8 de xxviii-549 p. avec fig. et un Atlas de 26 pl; 1886 22 fr

II<sup>e</sup> PARTIE. — *Flexion plane. Lignes d'influence. Poutres droites.*  
Gr. in-8 de xiv-345 p. avec fig. et un Atlas de 6 pl; 1886 15 fr.

III<sup>e</sup> PARTIE. — *Arcs métalliques. Ponts suspendus rigides. Coupoles et corps de révolution.* Gr. in-8 de ix-418 pages avec figures et un Atlas de 6 planches; 1887 . . . . . 17 fr.

IV<sup>e</sup> Partie. — *Ouvrages en maçonnerie. Systèmes réticulaires à lignes surabondantes. Index alphabétique des quatre Parties.* Grand in-8 de x-350 p., avec fig. et un Atlas de 4 planches: 1888, 15 fr.

**MIQUEL.** — Manuel pratique d'Analyse bactériologique des eaux. In-18 jésus, avec figures; 1891. . . . . 2 fr. 75 c.

**SAUVAGE (P.).** Professeur de Mathématiques au Lycée de Montpellier. — **Les lieux géométriques en géométrie élémentaire.** In-8, avec 47 figures, 1893 . . . . . 3 fr.

**THOMSON (Sir William) [Lord Kelvin], L.L.D., F.R.S., F.R.S.E., etc.,** Professeur de Philosophie naturelle à l'Université de Glasgow, et Membre du Collège Saint-Pierre, à Cambridge. — **Conférences scientifiques et allocutions. Constitution de la matière.** Ouvrage traduit et annoté sur la 2<sup>e</sup> édition, par P. LUGOI, Agrégé des Sciences Physiques, professeur; avec des *Extraits de Mémoires récents de Sir W. Thomson et quelques Notes* par M. BRILLOUIN, Maître de Conférences à l'École Normale. In-8, avec 76 figures, 1893. . . . . 7 fr. 50

**WITZ (Aimé),** Docteur ès-sciences, Ingénieur des Arts et Manufactures, Professeur aux Facultés catholiques de Lille. — **Cours de manipulations de Physique, préparatoire à la Licence (ÉCOLE PRATIQUE DE PHYSIQUE).** Un beau volume in-8, avec 166 figures; 1883. 12 fr.

**WITZ (Aimé).** — **Exercices de Physique et applications, préparatoires à la Licence (ÉCOLE PRATIQUE DE PHYSIQUE).** In-8, avec 114 figures; 1889. . . . . 12 fr.

**WITZ (Aimé).** — **Problèmes et calculs pratiques d'électricité. (L'ÉCOLE PRATIQUE DE PHYSIQUE).** In-8, avec 51 figures; 1893. 7 fr. 50

# BIBLIOTHÈQUE PHOTOGRAPHIQUE

La Bibliothèque photographique se compose d'environ 150 volumes et embrasse l'ensemble de la Photographie considérée au point de vue de la science, de l'art et des applications pratiques.

A côté d'ouvrages d'une certaine étendue, comme le *traité* de M. Davanne, le *Traité encyclopédique* de M. Fabre, le *Dictionnaire de Chimie Photographique* de M. Fourtier, etc., elle comprend une série de monographies nécessaires à celui qui veut étudier à fond un procédé et apprendre les tours de main indispensables pour le mettre en pratique. Elle s'adresse donc aussi bien à l'amateur qu'au professionnel, au savant qu'au praticien.

## EXTRAIT DU CATALOGUE.

**Davanne.** — *La Photographie. Traité théorique et pratique.* 2 beaux volumes grand in-8, avec 234 figures et 4 planches spécimens. 32 fr.

On vend séparément :

I<sup>re</sup> PARTIE : Notions élémentaires. — Historique. — Épreuves négatives. — Principes communs à tous les procédés négatifs. — Épreuves sur albumine, sur collodion, sur gélatinobromure d'argent, sur pellicules, sur papier. Avec 2 planches et 120 figures ; 1886 . . . 16 fr.

II<sup>e</sup> PARTIE : Épreuves positives : aux sels d'argent, de platine, de fer, de chrome. — Épreuves par impressions photomécaniques. — Divers : Les couleurs en Photographie. Épreuves stéréoscopiques. Projections, agrandissements, micrographie. Réductions, épreuves microscopiques. Notions élémentaires de Chimie ; vocabulaire. Avec 2 planches et 114 figures ; 1888 . . . . . 16 fr.

**Donnadieu (A. L.)** Docteur ès sciences. *Traité de Photographie stéréoscopique. Théorie et pratique.* — Grand in-8 avec figures et atlas de 20 planches stéréoscopiques en photocollographie ; 1892. . . 9 fr.

**Fabre (C.)** Docteur ès sciences. — *Traité encyclopédique de Photographie.* 4 beaux volumes, gr. in-8, avec plus de 700 figures et 2 planches ; 1889-1891. . . . . 48 fr. »

Chaque volume se vend séparément 14 fr.

Tous les trois ans, un Supplément, destiné à exposer les progrès accomplis pendant cette période, viendra compléter ce Traité et le maintenir au courant des dernières découvertes.

**Premier Supplément triennal (A).** Un beau volume grand in-8 de 400 pages, avec 176 figures ; 1892. . . . . 14 fr.

- Forest (Max).** — *Ce qu'on peut faire avec des plaques voilées.* In-18 Jésus; 1893. . . . . 1 fr.
- Fourtier (H.).** — *Dictionnaire pratique de Chimie photographique,* contenant une *Etude méthodique des divers corps usités en Photographie,* précédé de *Notions usuelles de Chimie* et suivi d'une Description détaillée des *Manipulations photographiques.* Grand in-8, avec figures; 1892 . . . . . 8 fr. »»
- *Les Positifs sur verre. Théorie et pratique. Les positifs pour projections. Stéréoscopes et vitraux. Méthodes opératoires. Coloriage et montage.* Grand in-8, avec figures; 1892 . . . . . 4 fr. 50
- *Les tableaux de projections mouvementés. Étude des tableaux mouvementés, leur confection par les méthodes photographiques. Montage des mécanismes.* In-18 Jésus, avec figures; 1893 . . . . . 2 fr. 25
- Fourtier (H.), Bourgeois et Bucquet.** — *Le formulaire classeur du Photo-club de Paris.* Collection de formules sur fiches, renfermées dans un élégant cartonnage et classées en trois Parties: *Phototypes, Photocopies et Photocalques. Notes et renseignements divers,* divisées chacune en plusieurs Sections.  
Première série; 1892. . . . . 4 fr.
- Jardin (Georges).** — *Recettes et conseils inédits à l'amateur photographe.* In-18 Jésus; 1893. . . . . 1 fr. 25
- Londe (A),** Chef du service photographique à la Salpêtrière. — *La Photographie instantanée.* 2<sup>e</sup> édition. In-18 Jésus, avec belles figures; 1890 . . . . . 2 fr. 75
- *Traité pratique du développement.* Étude raisonnée des divers révélateurs et de leur mode d'emploi. 2<sup>e</sup> édition. In-18 Jésus, avec figures et 4 doubles planches en photocollographie; 1892 . . . . . 2 fr. 75
- *La photographie médicale. Applications aux sciences, médicales et physiologiques.* Grand in-8, avec 80 figures et 19 planches; 1893 9 fr.
- Mercier (P.),** Chimiste, Lauréat de l'École supérieure de Pharmacie de Paris. — *Virages et fixages. Traité historique, théorique et pratique.* 2 vol. in-18 Jésus; 1892 . . . . . 5 fr.

On vend séparément :

- I<sup>re</sup> Partie : *Notice historique. Virages aux sels d'or.* . . . . . 2 fr. 75
- II<sup>e</sup> Partie : *Virages aux divers métaux. Fixages.* . . . . . 2 fr. 75

**Trutat (E.),** Docteur ès-sciences, Directeur du Musée d'Histoire naturelle de Toulouse. — *Traité pratique des agrandissements photographiques.* 2 vol. in-18 Jésus, avec 405 figures; 1891.

- I<sup>re</sup> PARTIE : *Obtention des petits clichés; avec 52 figures.* . . . . . 2 fr. 75
- II<sup>e</sup> PARTIE : *Agrandissements; avec 53 figures.* . . . . . 2 fr. 75

— *Impressions photographiques aux encres grasses. Traité pratique de photocollographie à l'usage des amateurs.* In-18 Jésus, avec nombreuses figures et 1 planche en photocollographie; 1892 . . . . . 2 fr. 75

**Vidal (Léon).** — *Traité de Photolithographie. Photolithographie directe et par voie de transfert. Photozincographie. Photocollographie. Autographie. Photographie sur bois et sur métal à graver, Tours de main et formules diverses.* In-18 Jésus, avec 25 figures, 3 planches et spécimens de papiers autographiques; 1893. . . . . 6 fr. 50

**Vieuille.** — *Nouveau guide pratique du photographe amateur.* 3<sup>e</sup> édit. refondue et beaucoup augmentée. In-18 Jésus avec fig. 1892. 2 fr. 75

LIBRAIRIE GAUTHIER-VILLARS ET FILS

Quai des Grands-Augustins, 55.

Envoi franco contre mandat-poste ou valeur sur Paris

---

# LEÇONS DE CHIMIE

(à l'usage des *Élèves de Mathématiques spéciales*)

PAR

**Henri GAUTIER**

Ancien élève de l'École Polytechnique,  
Professeur de l'École Monge et au collège Sainte-Barbe,  
Professeur agrégé à l'École de Pharmacie ;

ET

**Georges CHARPY**

Ancien Élève  
de l'École Polytechnique, professeur à l'École Monge.

---

Un beau volume grand in-8, avec 83 figures ; 1892. . . 9 fr.

---

Ces *Leçons de Chimie* présentent ceci de particulier qu'elles ne sont pas la reproduction des Ouvrages similaires parus dans ces dernières années. Les théories générales de la Chimie sont beaucoup plus développées que dans la plupart des Livres employés dans l'enseignement ; elles sont mises au courant des idées actuelles, notamment en ce qui concerne la théorie des équilibres chimiques. Toutes ces théories, qui montrent la continuité qui existe entre les phénomènes chimiques, physiques et même mécaniques, sont exposées sous une forme facilement accessible. La question des nombres proportionnels, qui est trop souvent négligée dans les Ouvrages destinés aux candidats aux Ecoles du Gouvernement, est traitée avec tous les développements désirables. Dans tout le cours du Volume, on remarque aussi une grande préoccupation de l'exactitude, les faits cités sont tirés des mémoires originaux ou ont été soumis à une nouvelle vérification. Les procédés de l'industrie chimique sont décrits sous la forme qu'ils possèdent actuellement. L'ouvrage ne comprend que l'étude des métalloïdes, c'est-à-dire les matières exigées pour l'admission aux Ecoles Polytechnique et Centrale.

En résumé, le Livre de MM. Gautier et Charpy est destiné, croyons-nous, à devenir rapidement classique.

# TRAITEMENT DE LA TUBERCULOSE PULMONAIRE

DE LA PLEURÉSIE D'ORIGINE TUBERCULEUSE  
ET DES BRONCHITES AIGUES ET CHRONIQUES  
par le

## GAIACOL IODOFORMÉ SÉRAFON

Et le Gaïacol-Eucalyptol iodoformé Sérafon

En solutions pour injections hypodermiques  
et en capsules pour l'usage interne

PRÉPARATION ET VENTE EN GROS : Société Française de Produits Pharmaceutiques, 9 et 11, rue de la Perle, Paris.

### ALIMENTATION

DES

### MALADES

PAR LES

### POUDRES

DE

*Viande*

### ADRIAN

La **POUDRE de BIFTECK ADRIAN** (garantie pure viande de bœuf français) est aussi inodore et insipide qu'il est possible de l'obtenir en lui conservant les principes nutritifs de la viande. C'est exactement de la chair musculaire privée de son eau, gardant sous un volume très réduit et sous un poids quatre fois moindre, toutes ses propriétés nutritives, et chose importante, n'ayant rien perdu des principes nécessaires à l'assimilation de l'aliment.

*Se vend en flacons de 250, 500 gr.  
et 1 kil.*

La **POUDRE DE VIANDE ADRIAN**, d'un prix moins élevé que la poudre de bifeck, ce qui en permet l'emploi aux malades peu fortunés est garantie pure viande de bœuf d'Amérique.

*bottes de 250, 500 gr. et 1 kil.*

LA

## QUASSINE ADRIAN

essentiellement différente de toutes celles du commerce, est la SEULE dont les effets réguliers aient été constatés. Elle excite l'APPÉTIT, développe les FORCES, combat efficacement les DYSPÉPSIES ATONIQUES, les COLIQUES HÉPATIQUES et NÉPHRÉTIQUES. (Bulletin général de thérapeutique, 15 novembre 1882).

Dragées contenant 25 milligrammes de Quassine amorphe.

Granules — 2 — Quassine cristallisée

## ANÉMIE

Dans les cas de CHLOROSE et d'ANÉMIE rebelles aux moyens thérapeutiques ordinaires les préparations à base

## CHLOROSE

## D'HÉMOGLOBINE SOLUBLE

DE V. DESCHIENS

Épuisement

ont donné les résultats les plus satisfaisants. Elles ne constipent pas, ne noircissent pas les dents et n'occasionnent jamais de maux d'estomac comme la plupart des autres ferrugineux.

Se vend sous la forme de

*Affaiblissement  
général*

**SIROP, VIN, DRAGÉES  
ET ÉLIXIR**

préparés par ADRIAN et Cie, 9 rue de la Perle, Paris.

## CAPSULES DE TERPINOL ADRIAN

Le TERPINOL a les propriétés de l'essence de Térébenthine dont il dérive, mais il est plus facilement absorbé et surtout *très bien toléré*, ce qui le rend préférable.

Il n'offre pas, comme l'essence de Térébenthine, l'inconvénient grave de provoquer chez les malades des nausées, souvent même des vomissements.

Le TERPINOL est un diurétique et un puissant modificateur des sécrétions catarrhales (bronches, reins, vessie).

Le TERPINOL ADRIAN s'emploie en capsules de 20 centigrammes (3 à 6 par jour).

## TRAITEMENT de la SYPHILIS par les PILULES DARDENNE

**[POLY-IODURÉES SOLUBLES]**

SOLUBLES dans tous les liquides servant de boisson (Eau, lait, café, vin, bière, etc.) elles peuvent être prises en pilules ou transformées par les malades, en solutions ou en sirops, au moment d'en faire usage.

**Premier type (type faible)**

(Syphilis ordinaire 2<sup>e</sup> et 3<sup>e</sup> année)

2 pilules par jour correspondent à une cuillerée à soupe de  
*Sirop de Gibert*

**Quatrième type (type fort)**

(accidents tertiaires, viscéraux et cutanés)

8 pilules par jour correspondent à un centig. bi-iodure de mercure et à 4 grammes iodure de potassium.

Vente en Gros : Société Française de Produits Pharmaceutiques,  
9 et 11 rue de la Perle, PARIS.





# ENCYCLOPÉDIE SCIENTIFIQUE DES AIDE-MÉMOIRE

DIRIGÉE PAR M. LÉAUTÉ, MEMBRE DE L'INSTITUT

Collection de 300 volumes petit in-8 (30 à 40 volumes publiés par an)

CHAQUE VOLUME SE VEND SÉPARÉMENT : BROCHÉ, 2 FR 50; CARTONNÉ, 3 FR.

## Ouvrages parus

### Section de l'Ingénieur

- R.-V. PICOU.— Distribution de l'électricité. Installations isolées.  
A. GOULLY.— Transmission de la force par air comprimé ou raréfié.  
DUQUESNAY.— Résistance des matériaux.  
DWELSHAUVERS-DERY.— Étude expérimentale calorimétrique de la machine à vapeur.  
A. MADAMET.— Tiroirs et distributeurs de vapeur.  
MAGNIER DE LA SOURCE.— Analyse des vins.  
ALHEILIG.— Recette, conservation et travail des bois.  
R.-V. PICOU.— La distribution de l'électricité. Usines centrales.  
AIMÉ WITZ.— Thermodynamique à l'usage des Ingénieurs.  
LINDET.— La bière.  
TH. SCHLÖSSING fils.— Notions de chimie agricole.  
SAUVAGE.— Divers types de moteurs à vapeur.  
LE CHATELIER.— Le Grison.  
MADAMET.— Détente variable de la vapeur. Dispositifs qui la produisent.  
DUDEBOUT.— Appareils d'essai des moteurs à vapeur.  
CRONEAU.— Canon, torpilles et cuirasse.  
H. GAUTIER.— Essais d'or et d'argent.  
LECOMTE.— Les textiles végétaux.  
ALHEILIG.— Corderie. Cordages en chanvre et en fils métalliques.  
DE LAUNAY.— Formation des gîtes métallifères.  
BERTIN.— État actuel de la marine de guerre.  
FERDINAND JEAN.— L'industrie des peaux et des cuirs.  
BERTHELOT.— Traités pratiques de calorimétrie chimique.  
DE VIARIS.— L'art de chiffrer et déchiffrer les dépêches secrètes.  
LANGLOIS.— Le lait.  
MADAMET.— Epures de régulation.  
GUILLAUME.— Unités et étalons.  
WIDMANN.— Principes de la machine à vapeur.

### Section du Biologiste

- FAISANS.— Maladies des organes respiratoires. Méthodes d'exploration. Signes physiques.  
MAGNAN et SÉRIEUX.— Le délire chronique à évolution systématique.  
AUVARD.— Gynécologie.— Séméiologie génitale.  
G. WEISS.— Technique d'électrophysiologie.  
BAZY.— Maladies des voies urinaires.— Urètre. Vessie.  
WURTZ.— Technique bactériologique.  
TROUSSEAU.— Ophthalmologie. Hygiène de l'œil.  
FÉRÉ.— Epilepsie.  
LAVERAN.— Paludisme.  
POLIN et LABIT.— Examen des aliments suspects.  
BERGONIÉ.— Physique du physiologiste et de l'étudiant en médecine. Action moléculaires, Acoustique, Électricité.  
AUVARD.— Menstruation et fécondation.  
MÉGNIN.— Les acariens parasites.  
DEMELIN.— Anatomie obstétricale.  
CUÉNOT.— Les moyens de défense dans la série animale.  
A. OLIVIER.— La pratique de l'accouchement normal.  
BERGÉ.— Guide de l'étudiant à l'hôpital.  
CHARRIN.— Les poisons de l'organisme, Poisons de l'urine.  
ROGER.— Physiologie normale et pathologique du foie.  
BROcq et JACQUET.— Précis élémentaire de dermatologie. Pathologie générale cutanée.  
HANOT.— De l'endocardite aiguë.  
WEILL-MANTOU.— Guide du médecin d'assurances sur la vie.  
DE BRUN.— Maladies des pays chauds.— Maladies climatoériques et infectieuses.  
BROCA.— Le traitement des ostéoarthrites tuberculeuses des membres chez l'enfant.  
DU CAZAL et CATRIN.— Médecine légale militaire.

# ENCYCLOPÉDIE SCIENTIFIQUE DES AIDE-MÉMOIRE

*Ouvrages parus et en cours de publication*

## Section de l'Ingénieur

- MINEL (P.). — Électricité industrielle.  
LAVERGNE (Gérard). — Turbines.  
HÉBERT. — Boissons falsifiées.  
BLOCH. — Appareils producteurs d'eau sous pression.  
WALLON. — Objectifs photographiques.  
SINIGAGLIA. — Accidents de chaudières.  
GUENEZ. — Décoration au feu de moufle.  
VERMAND. — Moteurs à gaz et à pétrole.  
DE LAUNAY. — Statistique générale de la production métallifère.  
H. LAURENT. — Théorie des jeux de hasard.  
NAUDIN. — Fabrication des vernis.  
DWELSHAUVERS-DEBY. — Étude expérimentale dynamique de la machine à vapeur.  
CRONEAU. — Construction du navire.  
CASPARI. — Chronomètres de marine.  
ALHEILIG. — Construction et résistance des machines à vapeur.  
P. MINEL. — Électricité appliquée à la marine.  
II. LÉAUTÉ et A. BÉRARD. — Transmissions par câbles métalliques.  
ERNEST MEYER. — L'utilité publique et la propriété privée.  
P. MINEL. — Régularisation des moteurs des machines électriques.  
PRUDHOMME. — Teinture et impression.  
DE MARCHENA. — Machines frigorifiques à air.  
GUYE (PH.-A.). — Matières colorantes.  
HOSPITALIER (E.). — Les compteurs d'électricité.  
EMILE BOIRE. — La sucrerie.  
MOISSAN et OUVRARD. — Le nickel, sa production et ses applications.  
ROUCHÉ. — La perspective.  
LE VERRIER. — La fonderie.  
SEYRIG. — Statique graphique.  
C<sup>1</sup> BASSOT et C<sup>1</sup> DEFFORGES. — Géodésie.  
DELAFOND. — Recherche des gîtes de houille.  
DE LA BAUME PLUVINEL. — La théorie des procédés photographiques.  
J. RESAL. — Emploi des métaux et du bois dans les constructions.  
GARNIER et GODARD. — Montage et conduite des machines à vapeur.

## Section du Biologiste

- LAPERSONNE (DE). — Maladies des paupières.  
KREHLER. — Application de la Photographie aux Sciences naturelles.  
DE BRUN. — Maladies des pays chauds. — Maladies de l'appareil digestif, des lymphatiques et de la peau.  
BEAUREGARD. — Le microscope et ses applications.  
CUENOT. — L'influence du milieu sur les animaux.  
G. ROCHÉ. — Les grandes pêches maritimes modernes de la France.  
J. CHATIN. — Anatomie comparée.  
MERKLEN. — Maladies du cœur.  
CORNEVIN. — Production du lait.  
LETULLE. — L'inflammation.  
OLLIER. — Les résections.  
BUDIN. — Thérapeutique obstétricale.  
BAZY. — Troubles fonctionnels des voies urinaires.  
FAISANS. — Diagnostic précoce de la tuberculose.  
DASTRE. — La Digestion.  
AIMÉ GIRARD. — La betterave à sucre.  
NAPIAS. — Hygiène industrielle et professionnelle.  
GOMBAULT. — Pathologie du bulbe rachidien.  
LEGROUX. — Pathologie générale infantile.  
MARCHANT-GÉRARD. — Chirurgie du système nerveux : Cerveau.  
BERTHAULT. — Les prairies naturelles et temporaires.  
BRAULT. — Myocarde et artères.  
GAMALEIA. — Vaccination préventive.  
ARLOING. — Maladies charbonneuses.  
NOCARD. — Les Tuberculoses animales et la Tuberculose humaine.  
EDM. PERRIER. — Le Système de l'évolution.  
MATHIAS DUVAL. — La Fécondation.  
BRISAUD. — L'Hémisphère cérébral.  
RECLUS. — Affections des organes génitaux de l'homme.  
HÉNOQUE. — Spectroscopie biologique.  
DEHÉRAIN. — Les céréales.  
LANNELONGUE. — La Tuberculose chirurgicale.  
STRAUS. — Les bactéries.  
A.-J. MARTIN. — Hygiène de l'habitation privée.  
BRUN. — Examen et exploration de l'œil.