

sels ferreux qui n'agissent pas sur le même corps n'ayant pas subi l'influence de la lumière. Si donc nous trempions dans un bain réducteur de ce genre la feuille de papier ayant subi l'action de la lumière, l'action réductrice s'exerce seulement sur la partie qui a été soumise à l'action de la lumière et qui, déjà faiblement colorée, prend une coloration plus intense; c'est là ce qui constitue le *développement*.

Le papier est alors divisé en deux parties : une colorée, celle qui a été soumise à l'action de la lumière; une blanche, celle qui était masquée par l'écran opaque : cette différence subsiste tant que cette feuille est dans l'obscurité, mais elle disparaîtrait si elle était soumise à l'action de la lumière qui agirait sur la substance sensible non encore attaquée. Il faut donc *fixer* l'épreuve obtenue, et pour cela il suffit d'enlever la substance sensible : on y arrive en trempant cette feuille dans un liquide susceptible de dissoudre le sel d'argent : la substance le plus généralement employée est une dissolution d'hyposulfite de sodium; on lave ensuite à grande eau. Après séchage, il ne reste plus dans le papier aucune substance susceptible de se modifier sous l'influence de la lumière, et la feuille de papier peut être exposée au jour et même à l'action du soleil sans que la différence de coloration obtenue subisse aucune modification.

Nous pouvons maintenant indiquer la marche générale des opérations nécessaires pour obtenir une image photographique.

Supposons que, à l'aide d'une lentille, nous obtenions l'image réelle d'un objet sur une feuille de papier imbibée d'une substance sensible et placée dans l'obscurité; cette condition est nécessaire, car sans cela la lumière diffuse agirait, et la feuille sensible serait impressionnée sur toute son étendue : on réalise cette condition à l'aide d'un appareil spécial, la *chambre noire*, que nous décrirons ultérieurement. L'image réelle de l'objet présente, comme celui-ci, des parties éclairées, des parties dans l'ombre et des parties dans la demi-teinte. Le papier sera impressionné au maximum dans les parties en pleine lumière, l'action sera moins vive dans les demi-teintes, elle sera nulle pour les parties situées dans l'ombre : après un temps variable suivant les conditions de l'opération, on arrête l'action de la lumière en obturant la lentille à l'aide d'un écran opaque. La feuille de papier impressionnée est alors soumise, à l'abri de la lumière, aux opérations du développement et du fixage; en réalité, il n'est pas nécessaire d'opérer dans l'obscurité et il suffit de tamiser la lumière qui sert à l'éclairage par un verre rouge, les radiations rouges ne produisant pas d'action chimique, comme nous l'avons dit (516). Après le fixage, le papier peut être soumis à l'action de la lumière : il présente la reproduction de l'image réelle qui y avait été faite, mais avec un renversement total des intensités lumineuses, puisque les parties éclairées de l'image ont donné des teintes foncées, et les parties sombres

de l'image ont donné des teintes claires : on a alors ce qu'on appelle une *épreuve négative*.

Au lieu de faire ces opérations avec du papier, on se sert plus souvent d'une lame de verre sur laquelle on a étendu une couche de collodion contenant la substance sensible : l'effet est naturellement le même, puisque c'est seulement cette substance qui, dans tous les cas, subit des modifications. L'épreuve négative ainsi obtenue est souvent appelée un *cliché* ou un *négatif*.

L'épreuve négative, quelle qu'elle soit, permet d'obtenir une autre image qui soit la reproduction de l'image réelle primitive avec la véritable répartition des ombres et des lumières; on aura alors une véritable reproduction de l'objet même. A cet effet, on place l'épreuve négative directement sur une feuille de papier sensibilisé, reposant sur un écran opaque : cet ensemble est alors soumis à l'action de la lumière. Les radiations, pour arriver à la feuille sensible, ont à traverser l'épreuve négative : elles sont arrêtées par les parties obscures de celle-ci et passent au contraire à travers les parties claires : la feuille sensible est impressionnée et se colore sous ces dernières, elle reste inattaquée et incolore par conséquent sous les parties obscures, de telle sorte qu'il se produira sur cette feuille la contre-partie de l'épreuve négative, c'est-à-dire qu'on aura la reproduction de l'image réelle primitivement obtenue, avec la même répartition des ombres et des lumières. Après un certain temps, on cesse l'action de la lumière, et la feuille impressionnée est soumise à des opérations analogues à celles qu'a subies l'épreuve négative. L'image est alors fixée.

Cette opération, ce tirage du positif, n'a modifié en rien le négatif, de telle sorte que celui-ci peut servir à obtenir successivement autant de positifs qu'on le veut.

Tel est l'ensemble général des opérations qui permettent d'obtenir la reproduction d'un objet par l'action de la lumière. De nombreux procédés permettent d'arriver à des résultats favorables, ils diffèrent par des points plus ou moins importants; mais, dans tous les cas, les principes appliqués restent les mêmes.

548. — Nous savons qu'une lentille convergente peut donner des images réelles de toute grandeur; on pourra donc obtenir sur la plaque sensible des images de même grandeur que l'objet, disposition fréquemment adoptée lorsqu'on veut reproduire un dessin, un autographe, etc., et en donner l'idée la plus exacte possible; l'image peut être plus petite que l'objet, c'est le cas le plus général, portraits, monuments, paysages; enfin l'image peut être plus grande que l'objet, elle peut être considérablement amplifiée, ce qui permet d'obtenir la reproduction photographique d'objets microscopiques pour pouvoir en étudier les détails.

En décrivant la chambre noire, nous indiquerons rapidement les

conditions qu'il convient de réaliser pour obtenir ces différents effets.

La durée de pose, c'est-à-dire le temps pendant lequel la lumière doit agir sur la plaque sensible, est très variable avec la substance active employée. Dans les conditions ordinaires, elle est de quelques secondes en général, mais elle peut être très réduite, n'être que d'une fraction de seconde; on dispose actuellement de procédés permettant d'obtenir une image nette en $\frac{1}{2000}$ de seconde.

La possibilité d'obtenir des images dans un temps très court supprime la nécessité de la pose, c'est-à-dire la nécessité de maintenir immobile pendant un certain temps l'objet dont on veut obtenir l'image photographique : on conçoit que, d'une manière générale, si l'objet se déplace, il en sera de même de son image sur la plaque sensible, de telle sorte qu'on ne pourra en avoir de reproduction; mais, malgré ce mouvement, si l'action se produit pendant un temps *excessivement* court, le déplacement de l'image sera trop petit pour être appréciable, et on obtiendra une image nette. On peut donc prendre la photographie des corps en mouvement à la condition d'avoir un système qui ne démasque la lentille produisant l'image réelle que pendant un temps très court : les épreuves ainsi obtenues sont dites *instantanées*.

On peut également, mais d'une manière moins commode, obtenir des instantanés par un autre procédé : le corps se déplace dans l'obscurité, et au moment où il passe devant la lentille, on produit un éclaircissement de courte durée, l'action chimique sur la plaque ne se manifeste que pendant ce temps. On obtient un éclaircissement très court par l'étincelle électrique et surtout par la combustion de poudres diverses.

549. — La photographie a rendu à toutes les sciences des services sur lesquels il n'est pas nécessaire d'insister; mais nous croyons devoir nous arrêter quelque peu sur les applications qui en ont été faites dans les sciences biologiques.

Nous signalerons sans insister l'utilité de la photographie en anthropologie pour fixer les types des races diverses, d'une manière rigoureusement exacte, en évitant l'intervention du dessinateur qui, pour une cause ou une autre, ne rend pas toujours sans modifications les objets qu'il voit; les portraits composites¹ résultant de la superposition sur une même plaque et au même endroit des portraits de plusieurs personnes, ce qui permet de mettre en évidence les caractères communs aux personnes observées, etc. En botanique, en zoologie, en anatomie, par la même raison que précédemment, la photographie permet d'obtenir la reproduction exacte de plantes, d'animaux, d'organes, à l'état normal ou à l'état de monstruosité; la photographie microscopique rend des services

1. Fr. Galton.

également à ces diverses sciences. Mais ce sont là des remarques qu'il n'est pas utile de développer.

La physiologie a tiré, depuis quelques années, un merveilleux parti de la photographie; grâce aux épreuves instantanées, il a été possible d'étudier des animaux, des hommes en mouvement et de se rendre compte des déplacements successifs ou simultanés de leurs différents organes, déplacements qui sont trop rapides pour qu'il soit possible de les analyser. Les recherches de M. Marey dans cet ordre d'idées sont d'un haut intérêt.

550. — M. Marey a, en outre, appliqué les procédés de photographie instantanée à un nouveau mode d'étude de corps en mouvement dans lequel on obtient la loi du mouvement (XXII) à proprement parler, c'est-à-dire les déplacements dans leur rapport avec le temps. Il a désigné cette méthode sous le nom de *chronophotographie*. Nous ne pouvons l'étudier en détail et nous nous bornerons à en indiquer le principe.

Supposons qu'il s'agisse d'analyser à ce point de vue la marche de l'homme, en se rendant compte du déplacement tant du tronc que des membres. L'homme en observation se déplace parallèlement à un écran aussi noir et aussi peu éclairé que possible : cet écran est tapissé de velours noir et un toit qui avance en appentis empêche ou diminue l'éclaircissement de cet écran; l'homme se déplace à quelque distance de l'écran. Une chambre noire est dirigée vers l'écran; celui-ci ne produit qu'une action nulle ou négligeable et la lumière qu'il envoie ne suffit pas pour impressionner la plaque sensible placée dans la chambre noire : l'homme au contraire, plus éclairé, produit une impression.

La lentille qui sert à produire l'image réelle sur la plaque sensible est masquée en général par un disque qui présente seulement une étroite fente dirigée suivant un rayon : ce disque est mobile autour d'un axe de rotation parallèle à l'axe de la lentille, mais situé en dehors de celle-ci; lorsque le disque tourne, la lumière extérieure ne peut pénétrer jusqu'à la plaque sensible que pendant le temps pendant lequel la fente se déplace devant la lentille; pendant tout le reste de la rotation, aucune action ne peut avoir lieu, car la lumière ne traverse pas le disque opaque. Le mouvement de rotation étant très rapide, la lumière n'agit que pendant un temps très court et par suite on peut obtenir des photographies instantanées.

Si l'objet placé devant la lentille était immobile, il se produirait une série d'impressions successives au même endroit; mais si l'objet se déplace, il en est de même de son image sur la plaque, et à chaque passage de la fente l'impression se fait en des points différents et l'on a autant d'images différentes qu'il y a de passages de la fente devant la lentille. S'il s'agit par exemple d'une balle lancée avec une certaine vitesse, on aura sur la plaque sensible une série de taches séparées qui correspon-

dent à des positions successives de la balle; en faisant passer une ligne continue par les centres de ces taches, on a l'image de la trajectoire parcourue par le mobile. De plus, comme le mouvement du disque est uniforme et que, par conséquent, la fente découvre la lentille à des intervalles de temps égaux, les distances des taches successives font connaître les espaces parcourus dans des temps égaux; on a donc ainsi la relation qui existe entre les espaces parcourus et les temps employés à les parcourir, c'est-à-dire la loi du mouvement.

La question se présente d'une façon entièrement analogue dans le cas d'un homme qui se déplace devant l'appareil, et on obtient sur la plaque sensible une série d'images correspondant à des positions successives; seulement à cause des dimensions de l'homme et de la faible vitesse dont il est animé, les images se superposent en grande partie, et il est difficile de suivre le mouvement d'un point déterminé: M. Marey a levé cette difficulté en revêtant l'homme d'habillements noirs, de manière à ne donner aucune impression appréciable, et en fixant seulement un petit disque blanc aux articulations dont on veut étudier le mouvement; les taches qui en résultent sont alors distinctes; on peut même avoir une idée plus nette du mouvement d'ensemble en fixant sur le vêtement noir des rubans blancs dessinant l'axe des membres.

La même difficulté se présente pour l'étude du vol des oiseaux, mais c'est par un autre artifice que M. Marey empêche la superposition des images successives. Pour éviter cet inconvénient, il communique un mouvement rapide à la plaque sensible, de telle sorte que ce n'est pas au même endroit de cette plaque que se produisent les images successives, ces images sont alors séparées complètement.

Les solutions dont nous venons d'indiquer le principe présentent de grandes difficultés dans leur réalisation pratique: les moyens employés pour les vaincre ne sont pas du domaine de la physique et nous ne les décrirons pas.

Nous dirons seulement pour donner une idée de la sensibilité de la méthode que M. Marey est arrivé à obtenir d'un objet ou d'un être vivant en mouvement jusqu'à 400 images par seconde.

551. — La reproduction d'une image photographique dont on possède le négatif, comme nous l'avons dit, peut être répétée indéfiniment; mais les opérations sont relativement longues et coûteuses. De plus, il est rare que les épreuves obtenues soient réellement indélébiles, et, généralement, elles se détériorent plus ou moins rapidement sous l'influence de la lumière diffuse. Depuis quelques années, la production des positifs a été grandement améliorée, ou, pour être plus exact, a été remplacée par des méthodes entièrement différentes: on utilise, en effet, l'épreuve négative, obtenue dans des conditions variables suivant le système employé, à donner une planche qui, étant encreée par les procédés ordi-

naires, peut être tirée, soit comme une lithographie, soit comme une gravure en taille-douce; on peut même obtenir des clichés susceptibles de se tirer en même temps que le texte. Nous ne saurions entrer dans l'indication détaillée des méthodes employées pour réaliser ces conditions (photographie au charbon, photoglyptie, phototypie, photolithographie, photogravure, etc.), et nous nous bornerons à dire que le tirage est plus rapide, se fait à meilleur marché et que, de plus, les images étant produites par des encres de lithographie ou d'imprimerie sont absolument indélébiles.

Jusqu'à présent on n'a pu obtenir pratiquement la reproduction des couleurs des objets: certaines recherches curieuses ont été faites dans ce sens et nous en parlerons dans un autre chapitre; mais elles ne semblent pas susceptibles de fournir une solution industrielle du problème.

CHAPITRE III

L'OEIL ET LA VISION

552. **L'œil et la vision.** — La vision, fonction de la vie de relation, qui a l'œil pour organe, nous fait percevoir la sensation lumineuse avec les qualités diverses que nous avons signalées. L'étude de cette fonction est, pour une part, du domaine de la physiologie; mais, d'autre part, les conditions dans lesquelles entre en jeu la rétine, membrane sensible dont la mise en activité est nécessaire pour produire la sensation lumineuse normale, sont d'ordre entièrement physique; et, d'autre part encore, la connaissance du mode de fonctionnement de l'œil est indispensable pour l'étude des appareils divers désignés sous le nom d'*instruments d'optique*. L'étude physique de l'œil doit donc figurer dans un cours de physique médicale; mais nous serons obligé d'emprunter à la physiologie et à l'anatomie quelques données que nous réduirons d'ailleurs à celles qui sont indispensables. Nous ne nous occuperons que de la vision chez l'homme, quoique la plupart des résultats puissent s'appliquer aux animaux supérieurs.

En général, l'homme voit et regarde à l'aide de ses deux yeux, et ce fait entraîne des conséquences dont nous développerons quelques-unes; mais laissant d'abord de côté la vision binoculaire, nous nous occuperons seulement de ce qui se passe pour un œil, nous traiterons seulement les questions relatives à la vision monoculaire.

553. **Anatomie sommaire de l'œil.** — L'œil est un organe globuleux, situé dans la cavité orbitaire où il est maintenu en place par ses muscles,