

spectre de la flamme correspondent, tous deux, à deux groupes du spectre donné par la chlorophane avec le phosphoroscope.

Revenons encore sur la presque identité des spectres de phosphorescence de l'apatite, qui est un fluophosphate de chaux avec des traces de terres rares, et de la scheelite, tungstate de chaux contenant également des traces de didyme, et pour laquelle on sait que le tungstate de didyme est isomorphe au tungstate de chaux. Dans ces manifestations de phosphorescence, le phosphore ou le tungstène ne paraissent pas jouer un rôle moléculaire de l'ordre du rôle que jouent dans la phosphorescence des sels d'uranium les métalloïdes ou les sels formant des doubles combinaisons.

Les éléments communs à l'apatite et à la scheelite, la chaux et les terres rares, semblent donc seuls en cause.

On est alors conduit à se demander si les similitudes que nous venons de constater ne sont pas l'effet de mouvements semblables communiqués à certains électrons contenus dans l'atome de calcium associé à divers éléments, mouvements auxquels donnerait lieu la dissociation partielle de ces composés, soit qu'il s'agisse d'une action entre l'oxyde de calcium et certaines terres rares sous l'influence de diverses excitations lumineuses, calorifiques ou cathodiques, soit qu'il s'agisse de la dissociation d'un composé calcique sous l'action d'une température élevée.

PHOTOGRAPHIE. — *Épreuves réversibles. Photographies intégrales.*

Note de M. G. LIPPMAUN.

1. La plus parfaite des épreuves photographiques actuelles ne montre que l'un des aspects de la réalité ; elle se réduit à une image unique fixée dans un plan, comme le serait un dessin ou une peinture tracée à la main. La vue directe de la réalité offre, on le sait, infiniment plus de variété. On voit les objets dans l'espace, en vraie grandeur et en relief, et non dans un plan. De plus, leur aspect change avec les positions de l'observateur ; les différents plans de la vue se déplacent alors les uns par rapport aux autres ; la perspective se modifie ; les parties cachées ne restent pas les mêmes ; enfin, si le spectateur regarde le monde extérieur par une fenêtre, il est maître de voir les diverses parties d'un paysage venir s'encadrer successivement entre les bords de l'ouverture, si bien que dans ce cas ce sont des objets différents qui lui apparaissent successivement.

Peut-on demander à la Photographie de nous rendre toute cette variété

qu'offre la vue directe des objets? Est-il possible de constituer une épreuve photographique de telle façon qu'elle nous représente le monde extérieur s'encadrant, en apparence, entre les bords de l'épreuve, comme si ces bords étaient ceux d'une fenêtre ouverte sur la réalité? Il semble que oui; on peut demander à la Photographie infiniment plus qu'à la main de l'homme. Je vais essayer d'indiquer ici une solution du problème.

2. Supposons un film comme ceux qu'on emploie couramment, formé d'une pellicule transparente de celluloid ou de collodion enduite sur l'une de ses faces d'une émulsion sensible à la lumière. Avant de coucher l'émulsion sur la pellicule, supposons que celle-ci ait été pressée à chaud dans une sorte de machine à gaufrier, de manière à faire naître sur chacune de ses faces un grand nombre de petites saillies en forme de segments sphériques. Chacune des saillies dont est couverte la face antérieure de la pellicule, celle qui restera nue, est destinée à faire office de lentille convergente. Chacune des saillies de la face postérieure est enduite d'émulsion sensible, et elle est destinée à recevoir l'image formée par une des petites lentilles de la face antérieure.

La figure 1 montre une coupe grossie du film ainsi constitué. Pour que chaque image soit au point, il faut que les segments correspondants aient même centre de courbure et que le rapport du rayon d'avant au rayon

Fig. 1.



d'arrière soit égal à $n - 1$, n étant l'indice de réfraction du celluloid pour les rayons photographiquement les plus actifs. Le système formé par l'une quelconque des petites lentilles d'avant et par la portion de couche sensible qui est placée en regard constitue une petite chambre noire sphérique, pareille à un œil : la lentille en est la cornée transparente; la couche sensible remplace la rétine. Il n'y a pas de cristallin; cet organe n'est pas ici nécessaire, car, en vertu de son petit diamètre, la minuscule chambre noire peut rester sensiblement au point sur tout objet quelque peu éloigné. Il est utile qu'une couche de pigment noir isole optiquement chaque élément de son voisin. Si l'on donne pour abrégé le nom de *cellule* à chaque chambre noire élémentaire, on voit que la pellicule tout entière est un tissu de ces cellules juxtaposées. Si chaque cellule est un œil simple, leur ensemble rappelle l'œil composé des Insectes.

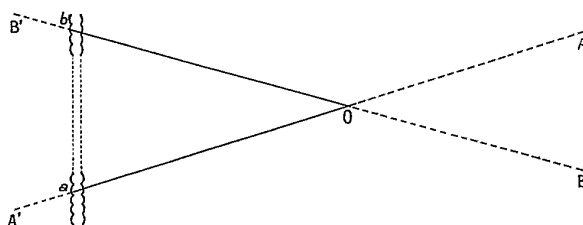
3. La première propriété d'un pareil système est de donner des images photographiques sans qu'on l'ait introduit dans une chambre noire. Il suffit de le présenter en pleine lumière devant les objets à représenter. L'emploi d'une chambre noire est inutile, parce que chaque cellule du film est elle-même une chambre noire. Il faut, bien entendu, conserver la pellicule dans une boîte étanche à la lumière, n'ouvrir celle-ci que pendant le temps nécessaire à la pose, la pellicule demeurant immobile pendant ce temps; ensuite refermer la boîte, enfin aller développer et fixer dans l'obscurité.

Le résultat de ces opérations est une série de petites images microscopiques fixées chacune sur la rétine d'une des cellules.

Observées du côté de la couche sensible, ces images ne pourraient être distinguées à l'œil nu, et donneraient l'impression d'une couche grise uniforme. Par contre, supposons l'œil placé du côté antérieur, et l'épreuve éclairée par transparence en lumière diffuse, comme celle que fournirait un papier blanc appliqué contre la pellicule. L'œil verra alors, à la place du système des petites images, *une seule image résultante projetée dans l'espace, en vraie grandeur.*

En effet, considérons (*fig. 2*) un point a quelconque de l'une des petites images photographiques. Les rayons sortent de la cellule parallèlement entre eux puisque le

Fig. 2.



point a est, par construction, au foyer de la lentille réfringente. L'œil placé en O les perçoit donc comme si le point a était rejeté à l'infini dans la direction Oa .

D'autre part, la direction du faisceau émergent qui a pour origine le point a est précisément celle du faisceau incident qui, pendant la pose, était venu se concentrer en a . Ce faisceau incident provenait d'un point A du paysage. L'œil perçoit donc l'image photographique du point A comme projetée dans l'espace dans la direction de la droite qui joint le centre optique de l'œil au point A , ou plus exactement dans le prolongement de cette direction. Il en est de même d'un second point quelconque B du paysage et de son image photographique b : celle-ci est rejetée à l'infini suivant le prolongement de la droite OB . Les directions étant conservées, les angles et la grandeur apparente le sont également.

On peut donner à cette démonstration une forme un peu différente. On sait que toute chambre noire dans laquelle on a remis en place le cliché qu'elle a donné est un appareil *réversible*. C'est-à-dire que, si l'on éclaire un point a quelconque du cliché, image nette d'un point extérieur A , les rayons émergents iront converger en A . Cette proposition s'applique à tous les points a, b, c, \dots , images nettes de points extérieurs A, B, C, \dots . Il s'ensuit que les images réelles ainsi formées occupent dans l'espace, par rapport au système des chambres noires et par rapport les uns aux autres, les mêmes positions que les points matériels qui ont primitivement servi de modèle. Leur système constitue donc un objet virtuel à trois dimensions, qui est optiquement équivalent, pour l'œil d'un observateur, au système même des points matériels qu'on se propose de reproduire. L'œil les apercevra, à condition d'accommoder, sous l'aspect qui convient au point où il se trouve placé.

Cet aspect change avec les positions de l'œil. Comme, de plus, les deux yeux occupent des positions différentes, ils aperçoivent des perspectives correspondantes : les conditions de la perception du relief par la vision binoculaire se trouvent remplies, sans l'emploi d'un stéréoscope. En résumé, la pellicule constituée comme il a été dit plus haut permet de prendre des vues sans chambre noire et montre ensuite les objets photographiés en vraie grandeur et en relief, sans appareil stéréoscopique. De plus, leur aspect change avec la position du spectateur, comme si celui-ci se trouvait en présence de la réalité.

4. Si l'on observe le film simplement développé en négatif après la pose, l'image est un négatif, les points brillants paraissant noirs. De plus, l'image est géométriquement renversée, le haut en bas, la droite à gauche : car chaque point a est vu sur le prolongement de la droite OA . Il est donc nécessaire d'opérer un redressement.

Ce redressement peut s'obtenir de deux manières. D'abord on peut conduire les opérations photographiques de manière à obtenir non un négatif mais un positif; on produit le redressement géométrique en faisant tourner le film dans un plan de 180° .

Une meilleure méthode consisterait à copier l'épreuve développée en négatif sur un second film placé en regard du premier à une distance arbitraire de quelques centimètres. Le contact n'est pas nécessaire comme il le serait pour une copie au châssis-presse, car chaque cellule du second film voit, en quelque sorte, l'image négative et renversée, et la redresse par un second renversement. L'avantage de cette seconde méthode est de multiplier à volonté le nombre des copies positives.

5. Chaque image perçue dans l'espace par l'œil de l'observateur est donc une résultante, due à la sommation d'éléments empruntés chacun à l'une des petites images imprimées au fond des *cellules*. L'image perçue est continue, si les cellules sont suffisamment rapprochées. En effet, si l'ouverture de la pupille était infiniment petite, chacun des éléments serait un point et se réduirait sur la rétine de l'observateur à des points séparés; ils paraîtraient néanmoins se toucher, à condition que les cellules soient assez petites et assez voisines pour qu'on ne puisse les distinguer. Mais l'ouverture de la pupille est finie, chaque élément a donc une grandeur finie, et ils se raccordent en réalité, à condition seulement que la distance linéaire entre deux cellules soit moindre que l'ouverture pupillaire.

A chaque instant l'image observée est limitée par les bords de l'épreuve, comme la vue des objets extérieurs le serait par les bords d'une lucarne à travers laquelle on regarderait. En déplaçant la tête, on voit d'autres objets s'encadrer entre les mêmes bords, et par un mouvement suffisant on fait, s'il s'agit d'un paysage, le tour de l'horizon. Il pourrait paraître invraisemblable *a priori* qu'une seule et même épreuve photographique puisse nous montrer une succession de vues différentes. Mais ce résultat s'explique simplement : lorsqu'on est en face de l'épreuve, l'image résultante qui apparaît projetée dans l'espace est la sommation d'éléments dont chacun est emprunté à la partie médiane de l'une des petites images cellulaires qui occupent toute l'étendue de l'épreuve. Lorsqu'on regarde celle-ci obliquement, la sommation se fait aux dépens d'éléments empruntés respectivement aux parties latérales des images cellulaires. Si celles-ci ont une ouverture de 120° , par exemple, on pourra balayer 120° du paysage. La perception est ainsi variée, parce que chaque cellule porte, imprimée dans son fond, une vue panoramique du monde extérieur. *Tota in minimis existit natura* (1).

On augmenterait encore l'angle balayé, on le porterait à 360° , en employant une pellicule convexe, cylindrique par exemple, au lieu d'une pellicule plane. Avec une pellicule bombée comme le serait une portion de sphère ou d'ellipsoïde, on embrasserait le ciel et la terre en même temps que tout l'horizon et la ressemblance du système avec certains yeux d'insectes deviendrait plus complète.

Lorsque le sens de la marche de la lumière est changé dans une chambre noire, les rayons reprennent à la sortie le même chemin qu'à l'entrée. Il en

(1) MALPIGHI.

résulte que les déformations de l'image dues aux imperfections de l'objectif sont sans effet; elles sont éliminées grâce au renversement et l'objectif, malgré ses défauts, fonctionne comme s'il était parfait.

6. Il reste donc à remplir une seule condition : la netteté de l'image au fond de chaque cellule. En d'autres termes, le rapport de ses deux rayons de courbure doit être égal à $n - 1$. Facile à énoncer, cette condition unique est assurément très difficile à réaliser avec une précision suffisante, étant données les faibles profondeurs de chaque cellule. On ne peut espérer vaincre cette difficulté technique que par l'emploi d'une machine à mouler de haute précision.

Le collodion, le celluloid ne sont pas d'ailleurs les seules substances réfringentes qu'on puisse songer à employer. Le verre permet d'obtenir également des sphérules qui forment lentilles, et qu'on sait fabriquer en nombre illimité : mais il reste à les cribler avec précision, et à les coller sur une membrane de collodion fournissant un supplément d'épaisseur exactement déterminé.

Les verres du commerce ont un indice qui peut dépasser 1,9 (maison Schott d'Iéna), mais qui actuellement n'atteint pas 2. Si l'on parvenait à faire $n = 2$, la difficulté technique indiquée plus haut et qui est d'ordre géométrique ne se présenterait plus. On peut en effet démontrer que, si une sphère réfringente a un indice égal à 2, les rayons parallèles qu'elle reçoit convergent sur sa surface postérieure. Une pareille sphère, garnie sur la moitié de sa surface d'une couche sensible, constitue la plus simple des chambres noires, toujours au point pour l'infini quel que soit son diamètre. Les molybdates et tungstates de plomb ont des indices supérieurs à 2; en les mélangeant à des silicates on peut espérer augmenter l'indice du mélange; mais on n'a pas réussi jusqu'à présent à empêcher ce mélange de cristalliser. Toutefois ce sont là des difficultés d'ordre technique qui peuvent n'être pas insurmontables.

MÉTÉOROLOGIE. — *Sur les engins grêlifuges*. Note de M. J. VIOLLE.

J'ai poursuivi en 1907 les expériences que j'ai entreprises depuis deux années sur les engins grêlifuges, à la demande de M. le Ministre de l'Agriculture (1).

(1) J'ai été aidé dans ces recherches avec autant de zèle que d'intelligence par M. Maurice Bailly, répétiteur à l'École nationale d'Agriculture de Grignon.