

**Zeitschrift:** Revue Militaire Suisse  
**Herausgeber:** Association de la Revue Militaire Suisse  
**Band:** 86 (1941)  
**Heft:** 2

**Artikel:** Les rayons infra-rouges et leurs applications [fin]  
**Autor:** Bolle, Pierre  
**DOI:** <https://doi.org/10.5169/seals-342036>

#### **Nutzungsbedingungen**

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. [Mehr erfahren](#)

#### **Conditions d'utilisation**

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. [En savoir plus](#)

#### **Terms of use**

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. [Find out more](#)

**Download PDF:** 11.01.2026

**ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>**

## Les rayons infra-rouges et leurs applications

*(Suite et fin)*

---

### 2. *Emission par luminescence.*

Disons pour terminer quelques mots des radiations dont la source n'est pas purement calorifique.

Nous savons que le rayonnement calorifique ne produit pas d'émission de radiations visibles en dessous de 100°. En revanche, il existe de nombreuses sources de lumière visible qui ont une température relativement basse ; ce sont les sources froides donnant de la lumière froide.

Nous en trouvons des exemples dans la nature. Qui n'a pas rencontré, au cours de promenades nocturnes d'été, un ver luisant sur le bord du chemin. Les médecins et biologistes connaissent certains microbes lumineux. Chacun a vu également des objets couverts par un vernis spécial, à base de sulfures alcalins ou alcalino-terreux, qui ont la propriété de rendre phosphorescents les objets qu'il recouvre, à la condition de les irradier préalablement par la lumière violette, ultraviolette ou, plus simplement, à la lumière solaire. De nombreuses substances bombardées dans le vide par les rayons cathodiques émettent également une lumière froide. Nous connaissons enfin les écrans utilisés par les médecins spécialistes de la radioscopie et qui deviennent lumineux dès qu'ils reçoivent un rayonnement de rayons X. Ces écrans sont recouverts de platino-cyanure de barium.

L'énergie radiante apparaissant par luminescence provient de la transformation d'énergie chimique, mécanique, électrique ou électromagnétique.

Le spectre de luminescence est, en général, discontinu, formé de raies, de bandes plus ou moins larges pouvant être très espacées les unes des autres. Son étendue n'est pas comparable à celle des spectres d'émission calorifique. La lumière émise est de plus courte longueur d'onde et de plus faible intensité.

Ajoutons encore ceci concernant leur qualité au point de vue du rayonnement infra-rouge. Pour que les radiations infra-rouges puissent être décelées, il faut que leur intensité atteigne une valeur minimum en rapport avec la sensibilité de l'appareil détecteur. On a pu les mettre en évidence et cela à très basse température, grâce à l'extrême sensibilité des microradiomètres, bolomètres, piles thermoélectriques utilisés.

A ses débuts, la photographie était une méthode trop peu sensible pour les grandes longueurs d'onde et exigeait du corps noir une température relativement élevée pour devenir une source suffisante de radiations infra-rouges en rapport avec ce procédé d'exploration. Mais, cette limite inférieure une fois atteinte, l'impression photographique augmente d'intensité et se produit pour une étendue spectrale plus considérable du côté des grandes longueurs d'onde.

Toutes les sources de chaleur obscure : solides, liquides, gazeuses émettent de l'infra-rouge, décelable par des méthodes appropriées. Au point de vue de la photographie, ce ne sont, d'après nos connaissances actuelles, que de faibles émetteurs d'infra-rouge. Les sources habituelles de chaleur lumineuse naturelles ou artificielles sont de meilleurs générateurs de radiations infra-rouges. Le soleil est la plus importante des sources naturelles.

Les sources lumineuses artificielles sont de deux sortes : les foyers à flamme et les foyers à incandescence. La pre-

mière de ces classes est constituée par les bougies, chandelles, lampes à huile, à pétrole, le gaz d'éclairage ou l'acétylène. Dans la seconde, nous trouvons le bec Auer, la lumière électrique, etc.

Les foyers à flamme n'ont pas une température très élevée. La lumière produite est rougeâtre. Le rendement lumineux est mauvais car ces foyers produisent beaucoup de radiations de grandes longueurs d'onde. Leur rendement en rayons infra-rouges est de ce fait considérable ; mais, la température du foyer étant faible, la valeur absolue de l'énergie infra-rouge fournie est elle-même peu élevée.

La lampe à arc électrique possède une température très élevée puisque le cratère positif de l'arc atteint en moyenne une température de 3600°. Elle donne un spectre se rapprochant sensiblement de celui du corps noir. C'est, après le soleil, la source la plus puissante en infra-rouge que nous possédions.

#### PROCÉDÉS D'INSCRIPTION.

Nous avons parlé, dans les pages qui précédent, des différents appareils qui ont permis de déceler, puis d'étudier le domaine de l'infra-rouge. Nous les avons décrits sommairement, car c'est grâce à eux que la science possède aujourd'hui les lois qui régissent l'absorption et l'émission de ces radiations. La photographie n'est venue que bien plus tard apporter sa contribution précieuse. Nous avons cité le bolomètre de Langley et la découverte de la thermoélectricité de Seebeck en 1823. Ce phénomène, nous croyons utile de le rappeler, est caractérisé par un courant électrique prenant naissance à la soudure de deux métaux différents, à la condition que cette soudure soit soumise à un échauffement. L'intensité du courant électrique est une fonction directe de la température. Si l'on sait que la différence de température dans le spectre est de 1/100.000 de degré, on comprendra l'extrême sensibilité de ces couples thermo-

électriques que les physiciens se sont ingénierés à perfectionner toujours davantage.

Le radiomètre est basé sur un phénomène électromagnétique. Une plaque de mica métallisé est suspendue à un fil muni d'un petit miroir. Le mica est placé entre les pôles d'un aimant et les rayons à étudier sont dirigés sur le mica après avoir été filtrés pour n'avoir que la longueur d'onde à étudier. Toute élévation de température provoque une différence de résistance électrique du mica métallisé qui se déplace dans le champ magnétique permanent. Le miroir étant solidaire, il permet de mesurer l'angle de torsion du fil de suspension.

Nous ne pouvons, dans le cadre de ce travail, consacrer trop de temps à étudier tous les détails de ces appareils d'une ingéniosité remarquable. Le mieux est de suivre l'évolution du procédé photographique qui nous conduira aux progrès tout récents [des sensibilisateurs.

La première photographie de l'infra-rouge est due, avons-nous dit, à John Herschell qui, en 1848, obtint ses thermographes par le procédé suivant : Une feuille de papier enduite de noir de fumée, d'un côté seulement, est imbibée ensuite d'alcool ou d'éther. Sur la face noircie encore humide, on projette le spectre solaire ; l'évaporation du liquide se produit, donnant naissance sur l'autre face de la feuille, à des taches inégalement distribuées dans le rouge et l'infra-rouge. Ces taches prouvent incontestablement l'existence de minima d'action dans la région des grandes longueurs d'onde du spectre solaire.

C'est en faisant agir le spectre solaire sur les plaques daguerriennes, découvertes en 1839, que de nombreux auteurs, John Herschell, Draper, Fizeau et Foucault, Becquerel, etc., constatèrent une action intéressante du rouge extrême et des premières portions de l'infra-rouge.

La plaque d'argent iodurée par des vapeurs d'iode [est traitée par le spectre solaire dans la chambre noire, soumise

ensuite aux vapeurs de mercure, puis fixée. On obtient l'image d'une partie du spectre, en noir sur fond blanc.

Or, Fraunhöfer en 1815 avait publié une nomenclature connue des raies d'absorption du spectre solaire visible. Il appelait A la première raie située dans le rouge extrême à  $0,759\text{ }\mu$  de longueur d'onde. Grâce à certains artifices, on a pu reculer la visibilité dans le rouge. En se lavant l'œil au moment d'observer, en l'armant d'un verre bleu foncé de cobalt ou rouge foncé pour éliminer les rayons plus lumineux du spectre, on parvient à distinguer nettement, comme le faisaient Matthiessen, Brewster et Gladstone, une vingtaine de bandes et de raies en avant de A jusqu'à  $0,820\text{ }\mu$  et même jusqu'à  $0,875\text{ }\mu$ . Toutes les régions caractéristiques du spectre furent ainsi désignées par des lettres (dans l'ordre alphabétique) qui permettent de les situer.

L'image obtenue sur la plaque d'argent s'étend de la région avoisinant la raie F à la raie P avec un maximum d'impression en G. Toutefois si la plaque iodurée, avant d'être exposée au spectre, a été légèrement impressionnée à la lumière diffuse pendant une à deux secondes au plus, l'action du spectre donne lieu à une augmentation de l'étendue de la sensibilisation depuis B jusqu'en P.

En 1842, Ed. Becquerel signale une propriété des rayons infra-rouges qui, plus tard, fut utilisée pour donner une image visible, fixable par la photographie, du spectre solaire infra-rouge. Certaines substances, en effet, deviennent luminescentes sous l'influence phosphorogénique des rayons violets et ultra-violets. Si une telle substance à phosphorescence persistante est activée aux rayons solaires et portée ensuite dans l'obscurité pour faciliter l'observation, et qu'on la soumette enfin à l'action de la chaleur, on voit la phosphorescence s'aviver d'abord et s'éteindre peu après rapidement. En outre, on remarque que si la température reste constante, la luminosité diminue ; mais à chaque nouvelle ascension thermométrique, la luminosité

s'avive de nouveau jusqu'à ce que le corps devienne complètement obscur. L'action des radiations infra-rouges et rouges d'un spectre projeté sur une surface formée d'une substance phosphorescente produit le même effet qu'une élévation de température. On constate alors les deux apparences suivantes :

*a)* Si le spectre solaire dirigé sur la substance luminescente agit pendant un temps trop court, on voit toute la surface où il se projetait être plus lumineuse que le fond. Dans la portion violette et ultra-violette, le phénomène est dû à une excitation phosphorogénique surajoutée. A l'autre extrémité du spectre, le rouge et l'infra-rouge ont agi différemment, précipitant, à l'instar d'une élévation de température, l'émission lumineuse engendrée dans la substance par l'irradiation préalable.

*b)* Si l'action du spectre est plus prolongée, la phosphorescence est détruite dans le rouge et l'infra-rouge. On a alors dans cette région une bande obscure qui se détache nettement sur le fond lumineux phosphorescent. Sur cette bande obscure, on peut distinguer en clair la trace des raies du spectre.

Les phénomènes sont encore beaucoup plus brillants quand, après l'action du spectre, on chauffe l'écran phosphorescent. La surface devient vivement lumineuse, sauf du côté des grandes longueurs d'onde où la luminescence est éteinte.

Si l'on opère selon *a*), on a une image brillante, positive du spectre total ; selon *b*) l'image est complexe, négative, obscure des rayons destructeurs de grandes longueurs d'onde ; brillante et positive de l'autre partie du spectre. En opérant dans des conditions précises, on peut voir et étudier correctement le spectre infra-rouge solaire jusqu'aux environs de  $1,5 \mu$ . Si l'on photographie par contact direct avec une plaque au gélatinobromure d'argent, on obtient la phosphorophotographie. Draper, Lommel, Ludwig Fomm

et Bergmann, de 1881 à 1908, publient des phosphorophotographies nombreuses et toujours meilleures.

Les plaques photographiques ordinaires, à sels halogénés d'argent émulsionnés avec le collodion, la gélatine, n'ont qu'une faible sensibilité pour les rayons spectraux jaunes et rouges. On a pu les utiliser cependant, grâce à certaines modifications, pour explorer le rouge extrême et le début de l'infra-rouge. La plaque est soit directement impressionnée par les grandes longueurs d'onde, soit impressionnée d'abord par une radiation active ; elle est soumise ensuite à l'influence de l'infra-rouge qui modifie, altère l'impression précédente pour donner finalement, après développement, une sorte d'image par action de ces radiations à grandes longueurs d'onde.

#### *Impression directe de la plaque.*

##### a) *Plaques ordinaires sensibilisées (Méthode Vogel).*

C'est en 1873 que Vogel découvrit la sensibilisation optique des plaques photographiques par certaines teintures végétales. Les substances sensibilisatrices sont de coloration rouge en général pour les rayons jaunes ou verts. Elles sont rouges, violettes ou bleues pour les rayons orangés. Enfin pour les rouges et l'infra-rouge, elles sont bleues.

##### b) *Méthode Abney.*

Abney a recherché un composé directement sensible à l'infra-rouge. En associant aux sels d'argent les gommes résines pour accroître, disait-il, le poids des groupements renfermant le bromure d'argent, il pouvait imprimer le spectre infra-rouge considérablement au-dessus de la raie A. Mais il obtint mieux encore en préparant une émulsion à base de collodion contenant le bromure d'argent pur. L'émulsion étalée et vue en transparence apparaissait d'une couleur bleu ciel tirant sur le vert, absorbant manifeste-

ment le rouge. Cette émulsion se montra très sensible pour une grande étendue du spectre infra-rouge avec deux maxima dans la région des raies A, B, C et G, H encadrant un minimum vers la raie E.

c) *Méthode Zenneck.*

Zenneck montre qu'une plaque ordinaire imbibée de révélateur et soumise à l'action de rayons calorifiques se développe en noir aux points irradiés. Cette réaction est d'une grande sensibilité. Une plaque ainsi préparée est placée à 10 cm. au-dessus d'un pot d'eau bouillante. En interposant une plaque de fer ajourée d'une lettre par exemple, l'image de la lettre apparaît en noir sur la plaque en quelques instants. L'impression ne se produit pas si le trou du diaphragme est recouvert d'une plaque de verre ; en revanche, elle a lieu si l'écran est en ébonite. L'ébonite, opaque pour la lumière visible, est transparent pour les rayons infra-rouges. Le verre qui laisse passer les rayons visibles, arrête les rayons de plus grandes longueurs d'onde.

*Impression après irradiation.*

Se basant sur les résultats obtenus au moyen des plaques daguerriennes et en les voilant préalablement à la lumière diffuse ou par les rayons X, plusieurs auteurs obtiennent des spectres étendus dans l'infra-rouge.

Si l'on photographie des paysages éclairés par des radiations spectrales invisibles en utilisant un écran convenable, ne laissant arriver à la plaque que les radiations de longueurs d'ondes supérieures à  $0,700 \mu$ , les verdures (gazon, feuillage) en plein soleil apparaissent d'un blanc de neige tandis que le ciel se montre plus noir qu'en pleine nuit, tout en s'éclaircissant un peu vers l'horizon. La chlorophylle réfléchit très fortement l'infra-rouge et celui-ci manque presque complètement dans la lumière diffusée par le ciel bleu.

Wood utilise comme écran une association de lames de verre bleu au cobalt à une dissolution saturée de bichromate de potassium.

Voici donc, décrits très en résumé, les procédés d'inscription qui ont précédé les plaques photographiques modernes. Nos lecteurs comprendront pourquoi nous ne nous y sommes pas attardé, ces moyens n'ayant plus aujourd'hui qu'une valeur historique.

Le chapitre des sensibilisateurs est passionnant pour le chimiste et extraordinairement fructueux pour l'usager de la photographie infra-rouge. Nous allons l'aborder dans les lignes qui vont suivre. Encore là, hélas, nous serons obligé d'éviter les descriptions de recherches longues et difficiles que les savants allemands d'abord, anglais et américains ensuite, ont accomplies. Bien plus encore, devrons-nous supprimer une série de formules chimiques qui seraient sans intérêt pour d'aucuns et que d'autres pourront trouver dans les quelques sources bibliographiques données à la fin de ce travail.

#### LES SENSIBILISATEURS.

C'est Scheibe qui le premier a trouvé un sensibilisateur véritable en 1918. Le maximum principal d'absorption se trouve encore dans le rouge extrême vers  $711 \mu$  mais il ne put obtenir le colorant à l'état pur. Deux ans plus tard, Elliot Q. Adams et Haller réussirent à fabriquer à l'état pur un sensibilisateur connu aujourd'hui sous le nom de kryptocyanine. (Le résultat de ces recherches fut publié dans le *Journal of American chemical Society*.) Ce colorant possède un maximum de sensibilisation à  $740 \mu$ .

Un nouveau progrès fut réalisé par L. Dundon, Schoen et Briggs avec la découverte de la néocyanine dont le maximum de sensibilité se trouve à  $830 \mu$ . On peut trouver

l'article original de ces auteurs dans le Journal de la Société optique américaine.

En 1928, la I. G. Farbenindustrie A. G. sortait la rubrocyanine et en 1929 l'allocyanine. La première est très semblable à la kryptocyanine ; la seconde à la néocyanine, si bien que l'on peut les considérer comme identiques.

Depuis lors, la I. G. Farbenindustrie s'est attachée, d'une part au problème de la clarté et de la conservation de la couche sensible sans pousser au delà de la sensibilisation ; d'autre part à éloigner toujours davantage le maximum de sensibilisation vers les grandes longueurs d'onde.

La synthèse de la rubrocyanine et de la néocyanine résulte d'une découverte de W. König qui consiste en une méthode générale d'obtention des carbocyanines, basée sur la condensation des sels quaternaires de bases hétérocycliques au moyen de l'orthoformiate d'éthyle, en présence d'anhydride acétique, de pyridine ou de nitrobenzène. La lépidine, par exemple, condensée avec l'orthoformiate, donne principalement l'allocyanine ou néocyanine. En milieu de pyridine, c'est la rubrocyanine ou kryptocyanine que l'on obtient à côté d'un peu d'allocyanine. En présence de nitrobenzène enfin, il se forme la Rubrocyanine seule.

En 1922, W. König remplaça l'orthoformiate par son homologue supérieur, l'acétal de la bêta-äthoxy-acroléïne. Cette découverte ouvrait la voie à la synthèse des pentacarbocyanines et permit à la maison Agfa de mettre sur le marché des colorants sensibilisateurs pour l'infra-rouge. Toute une série de ces pentacarbocyanines symétriques ou asymétriques présentent l'avantage de constituer non seulement de meilleurs sensibilisateurs, mais encore de les varier à volonté, par la combinaison des différents corps hétérocycliques, selon le domaine de l'infra-rouge à étudier. La littérature cite en 1930 des demandes de brevet de dicyanines. La maison Kodak obtient un brevet pour la

mésocyanine qui, selon W. Dieterli, est très probablement de la classe des pentacarbocyanines.

W. König élargit encore la classe des cyanines en découvrant les heptacyanines dont la complexité moléculaire est plus grande encore. Le maximum de sensibilisation est beaucoup plus lointain dans l'infra-rouge que dans les carbocyanines ou les pentacarbocyanines. De telles émulsions se trouvent actuellement dans le commerce présentées soit par la maison Agfa soit par Kodak sous des noms variés.

Enfin, par la synthèse des carbocyanines à neuf puis onze atomes de carbone, les maxima de sensibilisation ont été poussés jusqu'à  $960 \mu$  alors que pour la dicyanine A il était à  $690 \mu$ . La rapidité des plaques diminue avec leur sensibilité aux grandes longueurs d'onde.

Nous aurions aimé pouvoir entrer dans les détails de ces synthèses pour montrer combien ces émulsions, qu'il suffit d'acheter à l'heure qu'il est chez le spécialiste, ont demandé de savantes et minutieuses recherches qui font la gloire de leurs auteurs. Mais répétons ce que nous disions au début de ce chapitre. Ceux que le sujet intéresse peuvent consulter avec profit les grands travaux publiés soit en Allemagne, soit en Angleterre ou en Amérique.

#### APPLICATIONS.

Les applications théoriques et pratiques de l'infra-rouge sont aussi nombreuses que variées. Nous en avons déjà parlé incidemment au cours de cet exposé. Nous voulons, dans ce chapitre, reprendre et développer ce sujet, car c'est là peut-être que l'intérêt des lecteurs est le plus marqué. Il fallait cependant, à notre avis, exposer en premier lieu les propriétés et les lois qui régissent ces rayons invisibles pour en apprécier la valeur dans la variété même des possibilités d'application.

Dans ce but, nous avons divisé ce chapitre en différents paragraphes facilitant ainsi la description et la compréhension. Mais il est évident que certaines réalisations pratiques sont souvent la combinaison de plusieurs propriétés.

### 1. *Spectroscopie.*

Grâce aux progrès réalisés dans la technique de la préparation des émulsions sensibilisées aux rayons de grandes longueurs d'onde, on utilise aujourd'hui les plaques infrarouges pour déterminer les spectres d'émission ou d'absorption d'éléments chimiques ou de combinaisons dans cette région du spectre. Le but de ces recherches est évident. Il s'agit tout d'abord de connaître le caractère d'une substance donnée vis-à-vis des radiations infra-rouges. Ce sera une nouvelle constante physique venant s'ajouter à la densité, à l'indice de réfraction, au point d'ébullition, etc. Le spectre caractéristique étant connu, le chercheur peut inversement déterminer la présence de ce corps dans un mélange inconnu. C'est là une méthode d'analyse qui, lorsqu'elle est applicable, peut être rapide et pratique. C'est elle qui a permis de déterminer non seulement la présence, mais encore la proportion respective des trois isotopes de l'oxygène  $O^{16}$ ,  $O^{17}$  et  $O^{18}$ .

Il y aurait encore un nombre considérable d'exemples que nous pourrions citer, mais celui-ci permet à lui seul de saisir l'importance de la spectroscopie dans l'infra-rouge.

### 2. *Spectroscopie astrale.*

Les astronomes, eux aussi, ont vite compris l'importance qu'avait pour eux la spectrographie dans l'infra-rouge. Non seulement elle diminuait l'influence réfléchissante et absorbante de l'atmosphère, mais aussi elle leur permettait de découvrir et d'analyser les corps chimiques constituant

soit l'écorce des étoiles soit leur atmosphère. Dans cet ordre d'idées les spectres d'Uranus et de Jupiter ont permis de déterminer la présence d'ammoniac et de méthane dans l'atmosphère de ces deux planètes.

Ces dernières années, H. B. Ballock, de l'observatoire du Mont-Wilson, a étudié le spectre solaire jusque dans la région de 1 à  $1,1\mu$ .

Citons encore l'étude des aurores boréales au moyen des plaques sensibles aux rayons infra-rouges. Cette étude a permis de conclure à la présence d'azote.

### *3. Photothermométrie.*

Dès l'instant où un corps quelconque, chauffé, commence à émettre des rayons lumineux visibles, on peut les photographier avec les émulsions panchromatiques ordinaires et mesurer le noircissement de ces plaques. En dessous de cette température, seules les plaques sensibilisées pour les grandes longueurs d'onde peuvent être employées. Avec un tel matériel, Hencky et Neubert sont arrivés à déterminer la courbe des temps d'exposition en fonction des températures ; cela pour un même noircissement, une même plaque et un révélateur donné. C'est ainsi qu'à une température de  $400^\circ$  il faut environ 28 heures d'exposition alors que, pour  $600^\circ$ , il ne faut plus que 55 secondes ; pour  $800^\circ$  un dixième de seconde suffit.

### *4. Circulation et navigation.*

Il suffit de s'imaginer un avion ou même un navire perdus dans la brume ou le brouillard pour saisir tout l'intérêt que peut présenter une découverte permettant à ces véhicules en marche de se remettre sur le bon chemin ou d'éviter un obstacle. Cette merveilleuse invention a été réalisée grâce à la cellule photoélectrique pour infra-rouge, d'une part,

et à la plaque photographique sensibilisée pour ces radiations, d'autre part.

La cellule photoélectrique est constituée par une lentille de quartz sur laquelle on étale un sulfure de métal à poids atomique lourd (le sulfure de thalium par exemple). Les cristaux microscopiques juxtaposés forment un chapelet de contacts imparfaits. Si l'on place la lentille ainsi préparée entre deux électrodes d'une pile, le courant électrique ne passe pas. En revanche, si un rayon de lumière infra-rouge vient à tomber sur la lentille, le courant s'établit aussitôt d'une électrode à l'autre, à travers les cristaux de sulfure. Le circuit est ainsi fermé et le courant de la pile suffit pour effectuer le travail que l'on désire commander, soit actionner une sonnerie, soit allumer un signal quelconque, soit encore arrêter automatiquement un train devant un signal fermé, etc.

Sitôt que le rayonnement cesse, le circuit électrique est immédiatement coupé pour reprendre à la prochaine excitation.

Il existe aujourd'hui certaines de ces cellules mises au point par Fournier en France, par Baird en Angleterre. Avant elles, on ne possédait que le couple thermoélectrique ou le bolomètre dont nous avons déjà fait mention. C'est par ce moyen que Stevens est arrivé à déceler dans le brouillard la présence d'une cheminée de steamer, source émettrice d'infra-rouge, ou d'un iceberg, source absorbante de ces radiations. Malheureusement, ces appareils fonctionnent sur toutes les longueurs d'onde. Au contraire, la cellule Fournier est sélective pour telle ou telle fréquence suivant la nature des cristaux qui la constituent.

La sensibilité de ces cellules dans le temps est extrême puisque, entre l'instant où l'on déclanche le rayon excitateur et celui où la cellule réagit, il ne s'écoule pas un 1 : 3000<sup>e</sup> de seconde.

Un certain nombre de transatlantiques sont dotés d'un

équipement spécial comprenant un appareil de prise de vues avec filtre infra-rouge. Le film est impressionné toutes les trente secondes et chaque image est développée et fixée dans un temps, qui ne dépasse pas une minute. Mais, comme nous le dirons encore plus loin, cette méthode, fort utile en certaines conditions, devient elle aussi impuissante lorsque le brouillard est très épais.

#### *5. Protection contre les vols et les cambriolages. Dénombrement.*

Développant encore l'application des rayons infra-rouges et de la cellule détectrice, les ingénieurs constructeurs ont imaginé toute une série d'appareils répondant aux besoins cherchés. Ce sera, par exemple, une banque qui, en dehors des rondes, désire s'assurer une sécurité supplémentaire. Il suffira de faire traverser le local par un faisceau inextricable de rayons invisibles. Dès qu'une personne intercepte un seul de ces rayons, la cellule fonctionne et met en marche une sonnerie ou n'importe quel appareil avertisseur. Plusieurs musées ont une installation similaire. Le dénombrement des entrées à une exposition est basé sur ce même principe. Il suffit de canaliser les visiteurs de manière à ce qu'ils ne passent qu'un à un devant le rayon obscur. Dans ce cas, la cellule, à chaque interception, actionne un numéroteur.

Comme nous le constatons, nous pouvons varier à l'infini les possibilités d'application de ces radiations, transformant ainsi la lumière invisible en une action mécanique instantanée.

#### *6. Photographie aérienne, photographie des lointains et dans la brume.*

Si l'on compare, par exemple, deux clichés d'un même paysage pris par temps pluvieux et brumeux sur une même émulsion sensibilisée, on remarque le phénomène

suivant : sur celui tiré avec filtre rouge, laissant agir les rayons rouges et infra-rouges, on note des contrastes saisissants dans les lointains. Sur celui pris sans filtre ces contrastes s'effacent.

L'avantage des photographies infra-rouges repose sur le fait que, dans l'atmosphère, les rayons à courtes longueurs d'onde sont dispersés de façon plus considérable que ceux à grandes longueurs d'onde. Le rayonnement réfléchi par l'objet à photographier subit également cette diffusion partielle. Ceci explique qu'une partie seulement des rayons parvient à l'appareil et les contrastes sont amoindris.

D'autre part, l'atmosphère qui se trouve entre l'objet et l'appareil envoie elle-même de la lumière diffuse qui est presque toujours visible et se manifeste par les bleus du lointain. Ce hâle provient des rayons lumineux venant de toutes les directions à travers les couches atmosphériques. Il n'a donc rien à faire avec la lumière de l'objet. Il provoque un voile général sur la plaque et diminue encore les contrastes.

Dans ces deux cas, les rayons à courtes longueurs d'onde sont plus dispersés que ceux à grandes longueurs d'onde.

Pour avoir une idée quantitative de cet amoindrissement, il faut faire appel à la loi de Rayleigh : Lumière diffusée sur lumière non diffusée pour un même volume d'air est proportionnelle à la longueur d'onde élevée à la quatrième puissance. Cela signifie que si un certain volume d'air diffuse le 2% de la lumière de  $0,600\mu$ , un rayonnement de  $0,400\mu$  sera diffusé au 10% environ :

$$2 \times \left(\frac{600}{400}\right)^4 = 10 \text{ environ}$$

Tenant compte encore des poussières et de la vapeur d'eau contenues dans l'atmosphère, on peut dire que pour des lointains de 8 kilomètres environ, l'atmosphère offre une transparence de 80-90 % pour les longueurs d'onde

de  $0,600\mu$  alors qu'elle n'est que de 50-70 % pour celles de  $0,400\mu$ .

Tous les amateurs photographes savent qu'en garnissant leur objectif d'un écran jaune ou orangé, ils parviennent à faire apparaître sur leurs clichés des détails de lointains que leur œil lui-même n'avait pas aperçus.

En remplaçant l'écran jaune par un écran rouge foncé ou, à plus forte raison par un écran infra-rouge, et la plaque ordinaire par une plaque sensibilisée pour les grandes longueurs d'onde, le voile atmosphérique disparaît totalement.

Les temps d'exposition sont fonction du filtre employé et peuvent être jusqu'à huit cents fois plus prolongés que si l'on utilise la même plaque sans filtre.

La photographie infra-rouge permet donc la prise des lointains voilés ou même cachés à nos yeux par la brume. M. Pierre Devaux, en France, dit même que l'on a pu obtenir des clichés dans le plus épais brouillard de Londres où le regard portait à quelques mètres. Cependant, les reproductions de clichés publiés soit en France soit en Allemagne, prouvent que le brouillard épais, constitué par des particules d'eau de grandes dimensions, diffuse toutes les radiations lumineuses, les rouges comme les bleues et la photographie ne peut guère apporter d'amélioration par rapport à la vision directe.

En revanche des prises de vues à grande distance sont très nombreuses. En France, un avion survolant Royan a pris une vue générale [montrant tout le littoral de la Gironde à Bayonne. Les Américains sont parvenus à prendre des clichés à 550 km. Le capitaine Stevens, lors de l'ascension stratosphérique à 22 000 m. du ballon Explorer II, a réussi un cliché montrant nettement la courbure de la terre, prouvant ainsi que le voile atmosphérique n'a guère arrêté les rayons de lumière et que le champ photographique n'est plus théoriquement limité que par cette courbure.

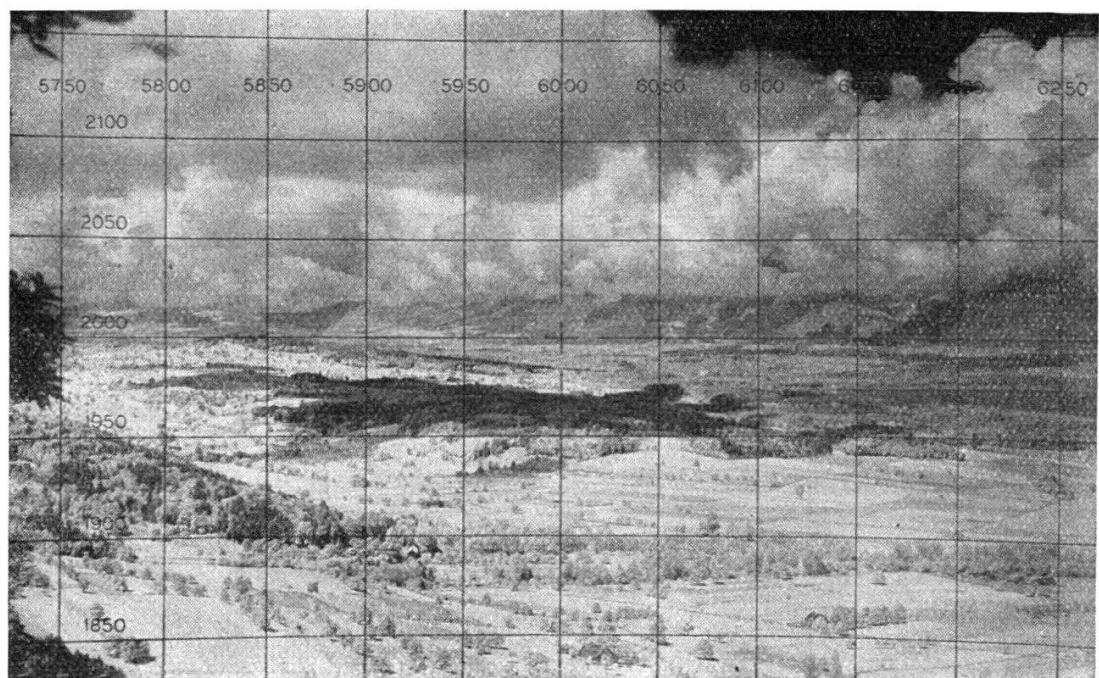
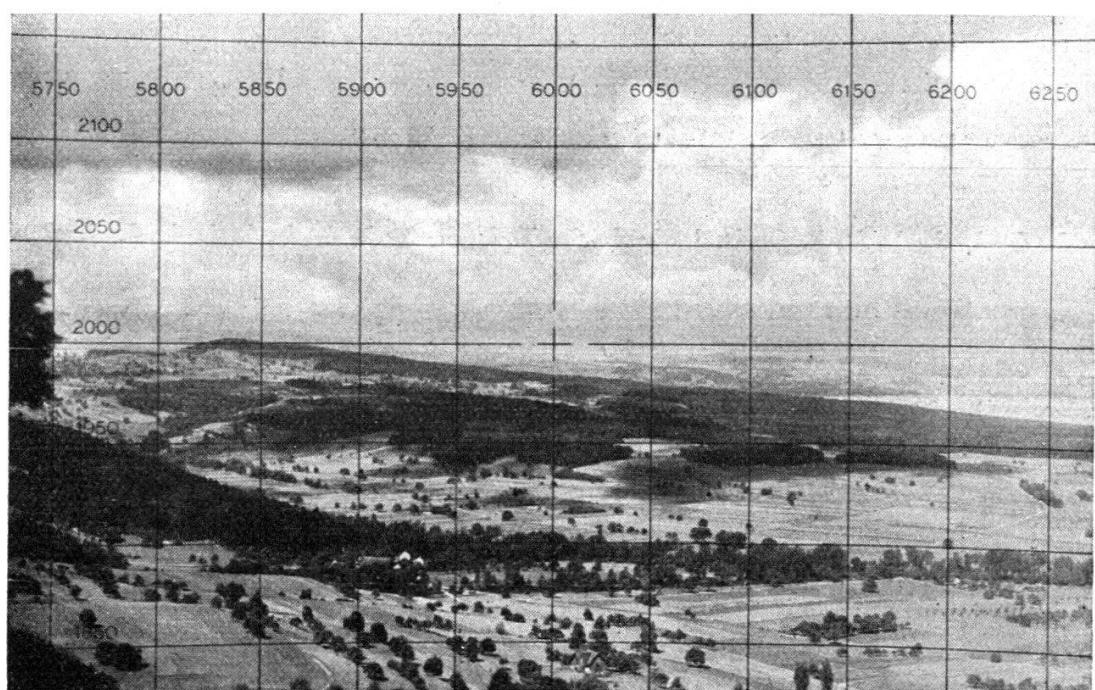


Photo à l'infra-rouge



La même, normalement.

Disons pour terminer deux mots sur le comportement des plaques sensibilisées modernes.

Si l'on trouve dans le commerce des plaques dont le maximum de sensibilité varie entre  $700\text{ m}\mu$  et  $1050\text{ m}\mu$  il faut bien dire que cet avantage n'est pas sans inconvénient. Leur rapidité mesurée par le temps d'exposition diminue avec l'augmentation de sensibilisation. Nous connaissons heureusement des moyens pour compenser, du moins en partie, cette diminution par l'emploi de méthodes d'hyper-sensibilisation.

Leur conservation est aussi en partie résolue avec les nouveaux sensibilisateurs. Nous disons en partie car elle est d'autant plus difficile que le maximum de sensibilisation est plus avancé dans l'infra-rouge. Ainsi une plaque sensible pour une longueur d'onde de  $1050\text{ m}\mu$  ne peut être gardée que quelques jours à température ordinaire et quelques semaines à zéro degré. Elle se conserve quelques mois si l'on entoure l'emballage de la plaque avec de la neige carbonique qui a une température de  $79^\circ$  au-dessous de zéro.

Nous voyons que l'emploi de ces plaques n'est pas encore à la portée de chacun, mais ajoutons que leur utilisation est rare et limitée à des buts très particuliers.

#### LEÇONS A TIRER.

Comme nous le savons, la chlorophylle absorbe très fortement les rayons infra-rouges. Toutefois, en examinant un cliché infra-rouge, on remarquera au premier examen que certains feuillages sont plus ou moins actiniques que d'autres. Ce phénomène n'est pas seulement dû à la qualité des filtres utilisés mais aussi aux différentes végétations.

La découverte du camouflage qui est d'une énorme importance pour nous, devient possible grâce à cette constatation. Si le camouflage est artificiel, c'est-à-dire réalisé au moyen de vernis, il saute aux yeux car les couleurs

employées ont un rayonnement différent de celui des végétaux environnants. Si, en revanche, il est exécuté avec des branches arrachées aux arbres voisins, la photo infra-rouge le discernerait tout de même, la branche détachée de son tronc prenant en infra-rouge une teinte très différente de celle qui reçoit la sève.

S'il nous est permis de faire ici une suggestion, notre armée devrait entreprendre et pousser même des recherches dans ce sens. Les armées belligérantes modernes possèdent toutes des troupes spécialisées qui ont à leur disposition non seulement un matériel approprié, mais encore le loisir de faire toutes expériences jugées utiles. Nous sommes, à cet égard, quelque peu en retard et cependant nous avons la possibilité, au sein de nos formations déjà constituées, de créer un petit groupe de recherches pour le plus grand profit de nos cadres.

Il s'agirait, tout d'abord, de faire une table d'exposition. Elle se baserait, d'une part, sur le matériel photographique standardisé, d'autre part, sur les différentes émulsions connues et enfin sur les conditions atmosphériques diverses. Nous sommes convaincu que nous pourrions améliorer encore de beaucoup les résultats prometteurs déjà obtenus dans nos compagnies d'observation.

Possédant un matériel souple et donnant presque à coup sûr un cliché utilisable, nous pourrions alors étudier les différentes essences d'arbre (du point de vue actinique) en sève ou arrachées de leur tronc. Nous ne parlerons même pas de la photographie des lointains dont l'importance est évidente sans qu'il soit nécessaire d'insister.

Quoi qu'il en soit, nous avons essayé d'introduire le sujet pour nos lecteurs. Ils se rendront compte eux-mêmes, grâce aux propriétés théoriques et pratiques exposées, de tout l'avantage que peut avoir pour nous une connaissance technique approfondie de ce chapitre de la photographie.

PIERRE BOLLE, Dr ès-sciences.

## NOTICE BIBLIOGRAPHIQUE

- CHANZO : *Photographie des radiations invisibles*.  
DIETERLE : *I. G. Farbenindustrie A. G.*, 1930.  
EGGERT : *I. G. Farbenindustrie A. G.*, 1933.  
EGGERT : *I. G. Farbenindustrie A. G.*, 1935.  
ELLIOT : *Journal of American Chemical Society*, 1920.  
DUNDON : *Journal de la Société optique américaine*, 1926.  
KESZLER : *Science et Vie*, 1938.  
LABADIE : *Science et Vie*, 1929.
-