

1022226 ✓

Standardization Techniques for Aerial Colour Infrared Film

by J.F. Fleming

Utilisation pratique du film aérien infrarouge- couleur

par J.F. Fleming



RESORS

Price - \$2.50 - Prix
Stock No. - SMP-1253B - No de stock

This document was produced
by scanning the original publication.

Ce document est le produit d'une
numérisation par balayage
de la publication originale.

Standardization Techniques for Aerial Colour Infrared Film

by J.F. Fleming

Published by:
The Interdepartmental Committee on Air Surveys
and
The Surveys and Mapping Branch
Department of Energy, Mines and Resources
Ottawa, Canada

Utilisation pratique du film aérien infrarouge- couleur

par J.F. Fleming

Publié par:
le Comité interministériel des levés aériens
et
la Direction des levés et de la cartographie
Ministère de l'Énergie, des Mines et des Ressources
Ottawa, Canada



J.F. Fleming is Quality Control Officer for the Airborne Operations of the Canada Centre for Remote Sensing (CCRS), EMR. In this position Mr. Fleming has had the opportunity to evaluate critically a large volume of colour infrared photography processed under strict sensitometric control. In order to achieve consistent results with this material, he has found that pre-testing and individual filter selection for IR-balance and altitude are essential. The practicality of the method has been established through several seasons' use by CCRS. These procedures are well within the capabilities and skills available in the Canadian air survey organizations, particularly those qualified to produce aerial photography in accordance with the ICAS Specifications for Aerial Survey Photography. It is the purpose of this publication to make generally available the basic information required for the application of this control method.



R.E. Moore
Chairman, ICAS

J.F. Fleming est l'agent responsable du contrôle de la qualité des opérations aéroportées du Centre canadien de télédétection (C.C.T.) du Ministère. A ce titre, M. Fleming a eu l'occasion de faire une analyse critique d'un grand nombre de photographies infrarouge-couleur développées selon des mesures sensitométriques rigoureusement contrôlées. Afin de pouvoir obtenir des résultats uniformes avec ce matériel, il a constaté qu'il fallait nécessairement procéder à des essais préliminaires et à un choix individuel de filtres pour le dosage infrarouge selon l'altitude. La mise en pratique de cette méthode pendant plusieurs saisons au C.C.T. en a confirmé la validité. Les organisations canadiennes de levés aériens, surtout celles qui sont qualifiées pour prendre des photographies d'après les spécifications du CILA pour la photographie aérienne, disposent de la capacité et des compétences pour mettre ces procédés en application. La présente publication a pour but de faire connaître les renseignements de base nécessaires à la mise en application de cette méthode de contrôle.



R.E. Moore
Président, CILA

Aerial colour infrared photography is becoming an increasingly important tool for resource managers. They would like to assume that spectral reflectances of the areas photographed are recorded in a predictable, standard manner on the photographs they observe. Unfortunately, many factors are at work which make this assumption invalid. Some of these factors are within the power of the aerial photographer to control, and when controlled, produce a more reliable product.

In order to understand the factors that can and must be controlled in order to achieve a degree of spectral reproducibility by colour infrared, it is first useful to review the characteristics of some of the more familiar aerial films. The special attributes of colour infrared can then be examined in proper perspective.

La photographie aérienne infrarouge-couleur devient un outil de travail de plus en plus important pour les gérants des ressources, hommes toujours prêts à admettre que la réflexion spectrale d'un objet terrestre est enregistrée sur photographie de façon uniforme. Mais une telle présomption n'est pas nécessairement vraie, puisque les caractéristiques uniques du matériel de photographie aérienne obligent le photographe à l'employer avec le plus grand soin.

Pour mieux comprendre les éléments à maîtriser de façon à assurer une stabilité de réaction des émulsions infrarouge-couleur, il serait peut-être utile de revoir brièvement les caractéristiques des films aériens les plus connus avant de procéder à l'examen des attributs spéciaux de l'infrarouge-couleur.

Two commonly used black and white aerial films are Kodak Aerographic Double-X and Plus-X. When these Films are processed to the same degree of development ($\bar{G} = 1.2$) their characteristic curves are as shown in Figure 1. The displacement of the Plus-X curve to the right of the Double-X curve along the Log E axis reflects the slower effective film speed of this material (EAFS = 125) compared to that of Double-X (EAFS = 360) when both are developed to this average gradient.

But the film speed of black and white films is also a function of development. It is shown in Figure 2, that by increasing development, Plus-X can be made to attain an effective film speed of EAFS = 400. A similar graph could be drawn for Double-X. Along with this increased speed there is increased contrast and often, higher fog levels. In practice, these latter factors, as well as the brightness range of the scene to be photographed, influence the choice of film speed and development for a particular film.

Colour infrared offers no such flexibility. It is processed to a constant degree of development which is carefully controlled by strict standardization of developer composition, rate of replenishment, time, temperature, and rate of passage through a continuous processing machine. These precautions are necessary to ensure consistent balance among the colour-sensitive layers.

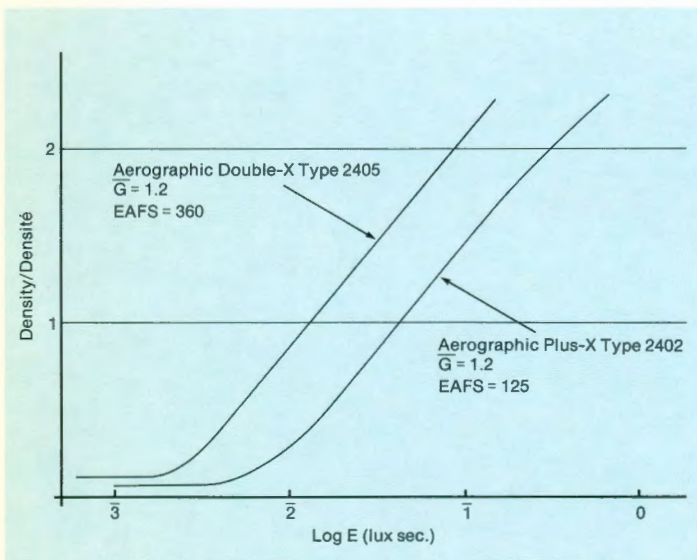
The speed and contrast of a colour infrared film are fixed, and cannot be manipulated to fit scene brightness range or illumination.

Les films *Kodak Aerographic Plus-X Type 2402* et *Kodak Aerographic Double-X Type 2405* sont encore les plus utilisés. La figure 1 illustre les courbes caractéristiques de ces deux types de films lorsqu'ils sont soumis, de façon égale, aux opérations de développement ($\bar{G} = 1.2$). Le décalage de la courbe du film *Plus-X* à la droite de celle du film *Double-X*, parallèle à l'axe de Log E, indique une vitesse de l'émulsion plus lente du premier par rapport au film *Double-X*.

Mais la vitesse réelle des films noir et blanc dépend aussi de l'opération de développement. La figure 2 démontre que le film *Plus-X* peut, par exemple, atteindre une vitesse de 400 lorsqu'il subit un développement prolongé. Cependant, l'augmentation de la vitesse est également accompagnée d'une augmentation du contraste et du voile. Ces éléments, combinés à la gamme de luminosité ambiante, déterminent le choix pratique du film utilisé.

L'infrarouge-couleur ne permet pas une telle flexibilité. Il doit toujours être traité au même niveau de développement strictement normalisé afin d'assurer le dosage uniforme des couleurs parmi les différentes couches sensibles.

Le développement normalisé détermine la vitesse réelle et le contraste du film infrarouge-couleur, facteurs que l'on ne peut varier en vue de les ajuster à une gamme de luminosité spécifique.



**Figure 1. Monochrome panchromatic aerial films.
Films aériens panchromatiques.**

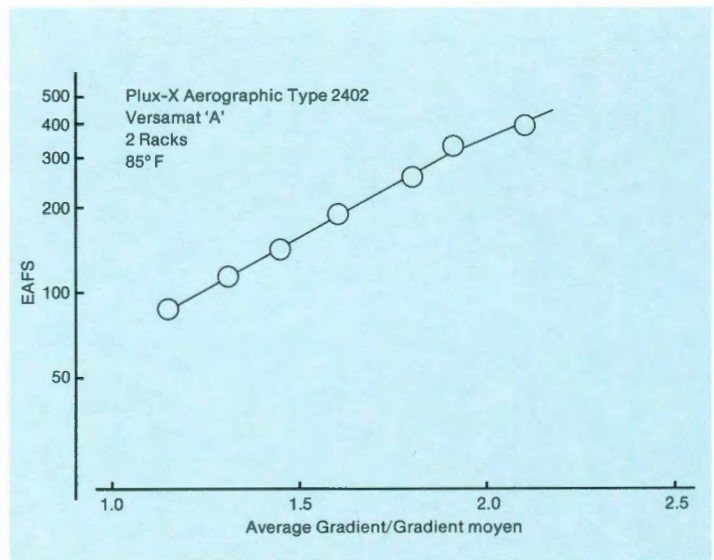


Figure 2. Aerial film speed versus degree of development.

Sensibilité d'émulsion aérienne par rapport au degré de traitement.

As would be expected, a black and white infrared film such as Kodak Aerographic Infrared has more attributes in common with colour infrared. The characteristic curve for this material is shown in Figure 3. This curve shows a much shorter straight line portion than the curves of Figure 1, implying a shorter exposure latitude. Its spectral sensitivity is shown in Figure 4. Note particularly the following points, and the similarity with the spectral response data of the IR-sensitive layer of Kodak Aerochrome Infrared Type 2443, shown in Figure 5.

1. A long spectral sensitivity range, extending from the ultraviolet throughout the visible spectrum and into the near-infrared.
2. A decreased sensitivity to green light — the *green gap* — indicated by the pronounced dip in the sensitivity curve in the 500-600 nm region of the spectrum.
3. A very high sensitivity in the blue and UV regions of the spectrum.

In common with black and white infrared, colour infrared has a short exposure latitude, a long spectral sensitivity range, which must be truncated at the shorter wavelengths by use of a minus blue filter, and a perishable infrared sensitivity which imposes stringent storage conditions.

Naturellement, le film infrarouge noir et blanc partage plus d'attributs communs avec le film infrarouge-couleur, ainsi que le démontre la courbe caractéristique du film *Kodak Infrared Aerographic Type 2424* (fig. 3). Le fait que cette courbe présente une partie rectiligne plus courte que celle de la figure 1 implique une latitude d'exposition moins grande. La figure 4 illustre le degré de sensibilité spectrale. Il est intéressant de noter la similitude des points suivants aux données retrouvées sur la courbe de réaction spectrale de la couche sensible à l'infrarouge du film *Kodak Aerochrome Infrared Type 2443* (fig. 5):

1. la longue gamme de sensibilité spectrale, qui s'étend de l'ultraviolet à l'infrarouge;
2. une sensibilité affaiblie à la lumière verte révélée par la chute de la courbe autour de 500-600 nm; et
3. une haute sensibilité au bleu et aux UV.

Comme le film infrarouge noir et blanc, le film infrarouge-couleur a une latitude d'exposition courte, une longue gamme de sensibilité spectrale de la couche sensible à l'infrarouge que l'emploi d'un filtre «moins bleu» permet de tronquer, et une sensibilité périssable à l'infrarouge nécessitant des conditions d'entreposage très rigoureuses.

**Figure 3. Black and white infrared aerial film.
Film aérien infrarouge noir et blanc.**

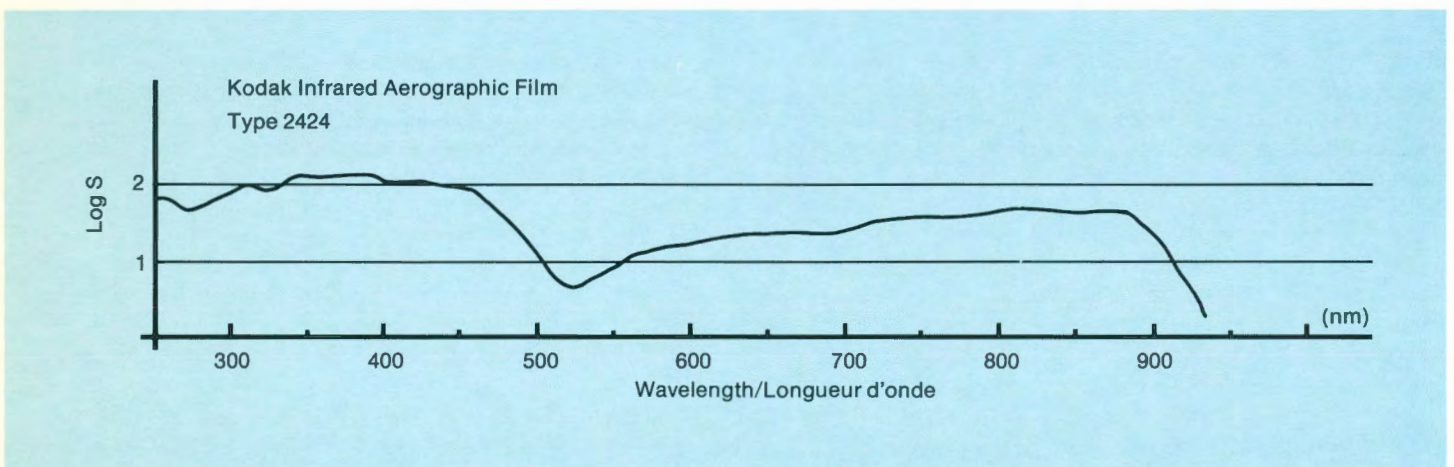
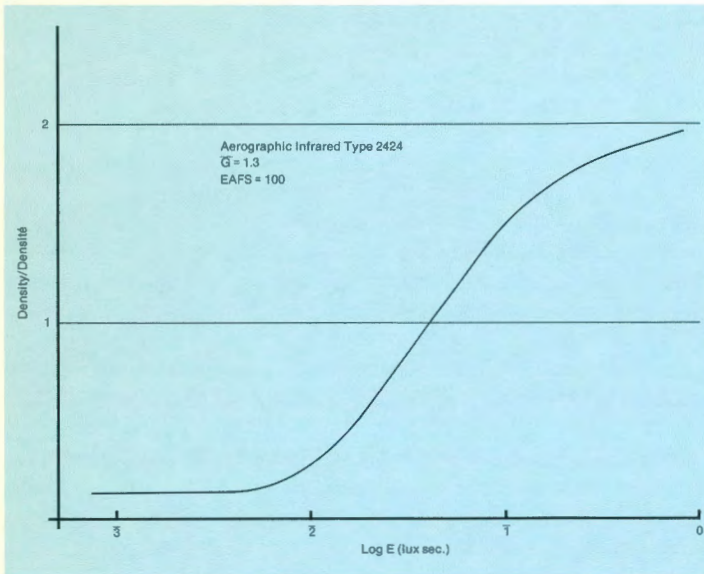


Figure 4. Spectral sensitivity (S) of black and white infrared film.

Sensibilité spectrale (S) du film infrarouge noir et blanc.

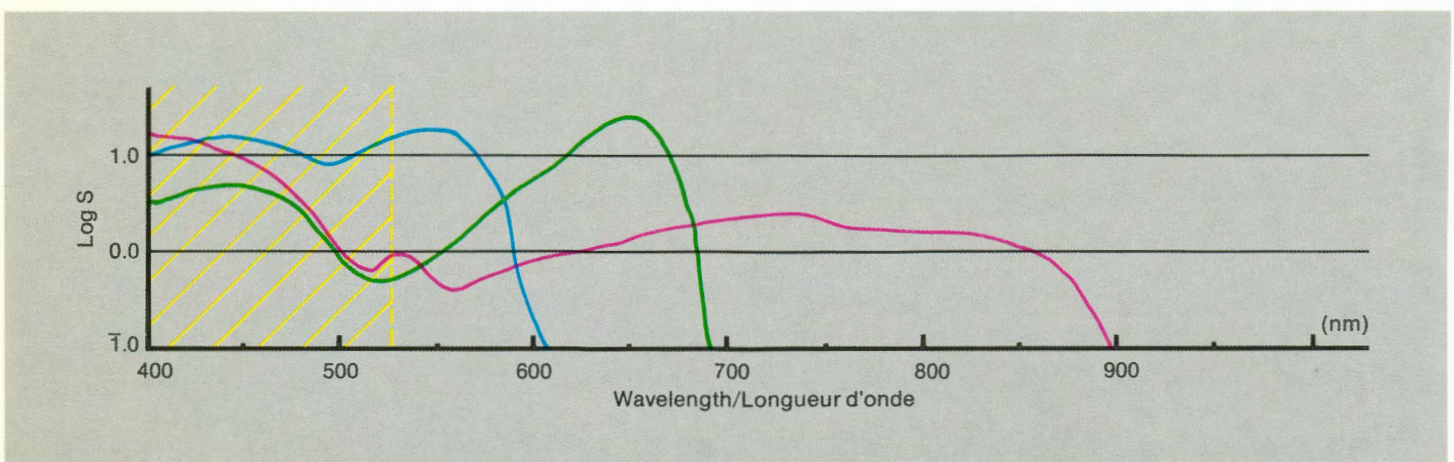


Figure 5. Spectral sensitivity (S) of Kodak Aerochrome Infrared Film Type 2443.

Sensibilité spectrale (S) du film Kodak Aerochrome Infrared Film Type 2443.

Natural colour films, both positive and negative, are of a type called *integral monopack*. Figure 6 shows, to a first approximation, the response of each layer of these multilayered films as measured through the red, green and blue filters of a colour densitometer.

The average gradient of Kodak Aerocolor Negative is around 1.0 and that of Kodak Aerochrome MS is about 1.2. These values are slightly higher than those of colour films intended for use on the ground, in order to counteract the contrast-attenuating effect of atmospheric haze.

The characteristic curves of the three emulsion layers of Kodak Aerochrome Infrared are shown in Figure 7. The steep slope of these curves indicates that this material is of a higher contrast than any of the previously examined films. This characteristic, coupled with the necessary use of a minus-blue filter, means that a crisp colour image can be secured even in the presence of atmospheric haze which might seriously degrade the contrast of other photography. This higher contrast material serves to exaggerate colour differences between classes of objects which might prove difficult to separate on other films.

The high-contrast characteristic of colour infrared results in a limited exposure latitude and reduced tolerance of exposure errors. The brightness range that can be accommodated within the usable range of film densities is of the order of 10:1, which is a reasonably representative value for photography from medium and high altitudes. It follows therefore, that for a subject of that brightness range there is *no* exposure latitude. The camera exposure must be precise; otherwise, highlight information will be lost in the toe of the curves, or shadow information lost in the extreme densities of the shoulders. Generally, the tolerance is no more than $\pm 1/3$ stop.

Colour infrared has even less exposure latitude than other colour films, and much less than black and white films. Accurate determination of exposure and evenness of film plane illumination are essential.

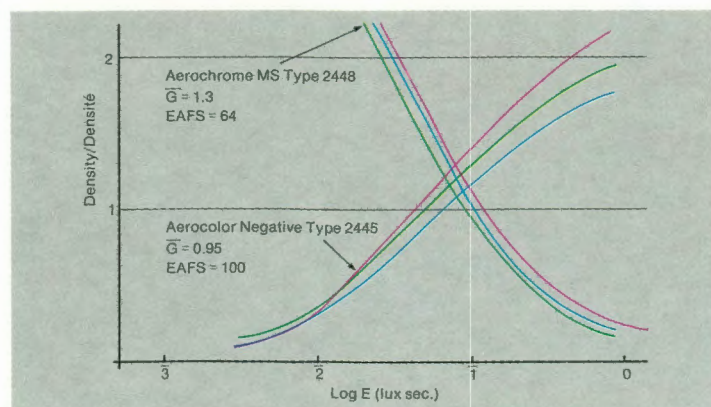


Figure 6. Aerial colour films.
Films aériens en couleurs.

La figure 6 montre approximativement la réaction de chaque couche sensible de deux films en couleurs «naturelles», un positif et un négatif, telle que mesurée à l'aide d'un densitomètre équipé de filtres rouge, vert et bleu.

Le gradient moyen du film *Kodak Aerocolor Negative Type 2445* se rapproche de l'unité; celui du film *Kodak Aerochrome MS Type 2448* est d'environ 1.2. Ces inclinaisons dépassent quelque peu celles requises par les films destinés à l'usage au sol, mais assurent d'autre part la neutralisation de l'effet du voile atmosphérique.

Les courbes corrélatives des trois couches sensibles du film *Kodak Aerochrome Infrared Type 2443* se trouvent à la figure 7. L'inclinaison prononcée de ces courbes indique qu'il s'agit d'un matériel de haut contraste. Cette caractéristique, combinée à l'emploi obligatoire d'un filtre «moins bleu», donne souvent pour résultat une image nette malgré le voile atmosphérique et permet aussi de rehausser le contraste entre différentes catégories d'objets, différenciation difficile à obtenir avec d'autres films.

Le haut degré de contraste du film infrarouge-couleur provient de sa latitude d'exposition limitée. La gamme de luminosité qui peut être enregistrée par la gamme utilisable de densité se situe approximativement autour de 10:1, rapport assez représentatif de la photographie prise à moyenne et à haute altitudes. En conséquence, pour un sujet doté d'une telle gamme de luminosité, il ne peut y avoir de latitude d'exposition. Pour réussir un cliché, il faut établir le temps d'exposition exact, sinon il s'ensuit une perte d'information concernant le dosage spectral aux extrémités des courbes.

Le film infrarouge-couleur a moins de latitude d'exposition que les autres films en couleurs et beaucoup moins que les films noir et blanc.

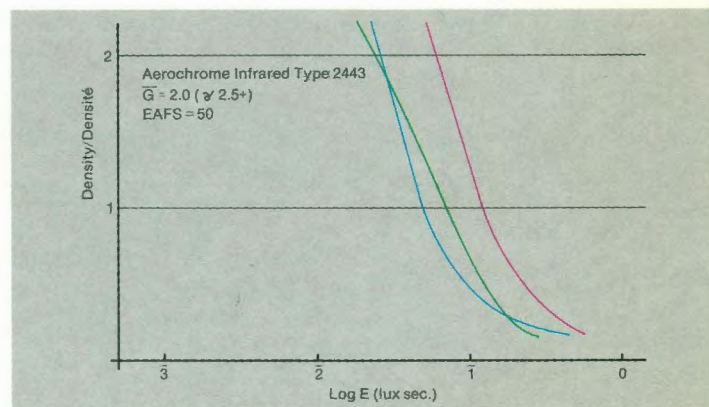


Figure 7. Aerial colour infrared film.
Film aérien infrarouge-couleur.

One condition for good colour balance in a natural colour film is that the characteristic curves of each of the three emulsion layers be nearly parallel and coincident.

Since reversal colour materials are intended to be viewed directly by transmitted light or by projection, the conditions for colour balance must be met as nearly as possible in the original film. Kodak Aerochrome MS Type 2448 (Figure 6), comes very close to meeting this requirement.

Negative colour film, on the other hand, requires a further stage of reproduction before it can be viewed as a positive colour print or transparency. Thus, the colour balance requirement in the original film may be less stringent than that for reversal film. It is apparent that the three characteristic curves of Kodak Aerocolor Negative Type 2445 (Figure 6), are only approximately parallel and coincident. If the colour negative is printed onto a material whose gradients complement those of the original film, the requirements of colour balance may then be met by the final positive reproduction. However, a glance at the characteristic curves for Kodak Aerochrome Infrared (Figure 7), shows that the three curves are neither parallel nor coincident. Since their shapes are quite different, they could not be made parallel by compensating filtration, nor brought into coincidence at more than one density level, even if this were desired.

The displacement of the curves for the three emulsion layers of colour infrared is the result of deliberate design. The infrared-sensitive layer has been designed to have about 1/3 the sensitivity of the other two layers. This is equivalent to about 1 1/2 stops less speed, taking into consideration the comparatively high reflectance of near-infrared wavelengths from healthy deciduous foliage and vigorous green crops, when photography is carried out from medium and low altitudes.

Unlike natural colour films, the characteristic curves for the emulsion layers of colour infrared are neither parallel nor coincident.

On obtient un bon dosage des couleurs lorsque les courbes caractéristiques des trois couches sensibles s'alignent de façon presque parallèle et coïncidente.

Puisque les diapositives en couleurs sont toujours observées directement, il faut que le film original puisse rencontrer autant que possible cette exigence, ainsi que le fait le film *Kodak Aerochrome MS Type 2448* dont les courbes caractéristiques paraissent à la figure 6.

D'autres part, ces exigences de dosage des couleurs s'appliquent peut-être moins rigoureusement dans le cas du film négatif en couleurs, pellicule réclamant une étape de traitement additionnel avant de devenir épreuve ou diapositive couleur, en raison de l'occasion qu'il présente d'effectuer les corrections nécessaires au moment du tirage de l'épreuve. La figure 6 démontre également que les courbes caractéristiques du film *Kodak Aerocolor Negative Type 2445* ne sont qu'approximativement parallèles et coïncidentes.

Les courbes caractéristiques du film *Kodak Aerochrome Infrared Type 2443*, illustrées à la figure 7, ne sont évidemment ni presque parallèles ni presque coïncidentes. Afin de compenser la réflexion infrarouge très forte d'un feuillage caduque sain et des récoltes vertes vigoureuses, la couche sensible à l'infrarouge a été conçue de façon à atteindre seulement le tiers du degré de sensibilité des deux autres couches.

Par contraste aux films en couleurs naturelles, les courbes caractéristiques du film infrarouge-couleur ne sont ni parallèles ni coïncidentes.

It is apparent from the preceding sections that film sensitometry provides a useful means to describe and compare the characteristics of films. It is an essential procedure in exercising the control necessary to make effective use of colour infrared films.

In Canada, sensitometric control of aerial photographic processing is a mandatory condition for all photography exposed for the Interdepartmental Committee on Air Surveys. The consequence of this is that all contractors providing such photography own, or have access to, a sensitometer well suited for use in sensitometry of colour infrared film.

The function of the sensitometer, as defined by the ICAS Specifications for Aerial Survey Photography, is to expose on all films prior to processing, a step wedge, with each step representing a precise quantity of radiant energy of known spectral distribution. In accordance with the principle of simulation, the illuminant in the sensitometer is comparable, both in quality and intensity, to that which illuminates the aerial scene. The spectral distribution of the illumination in the sensitometer conforms to that defined as *Standard Airphoto Daylight*, illustrated in Figure 8.

Only a comparatively narrow range of the electromagnetic spectrum, extending from a short distance into the ultraviolet to the near infrared, is of interest to aerial photographers. The optical glasses used in the manufacture of modern air survey lenses (for example, Zeiss, Wild) absorb virtually all radiation of wavelengths less than about 350 nm. The upper limit is determined by the limit of sensitivity of infrared emulsions, which is not much greater than 900 nm.

The characteristic curves of Figures 1, 3, 6 and 7 were obtained from sensitometric exposures (illustrated in Figure 9) on each of the six film types already discussed.

Each of the sensitometric wedges received exactly the same exposure, except the colour infrared film (Type 2443), for which the exposing light was modulated by a minus-blue filter as it would be in practice. The obvious speed advantage of Double-X is apparent in its recording of the lower light intensity range of the wedge beyond step 15. The higher contrast of the black and white infrared film Type 2424 manifests itself in fewer steps being recorded compared to, say, Plus-X.

Figure 8. Spectral distribution of standard air photo daylight.

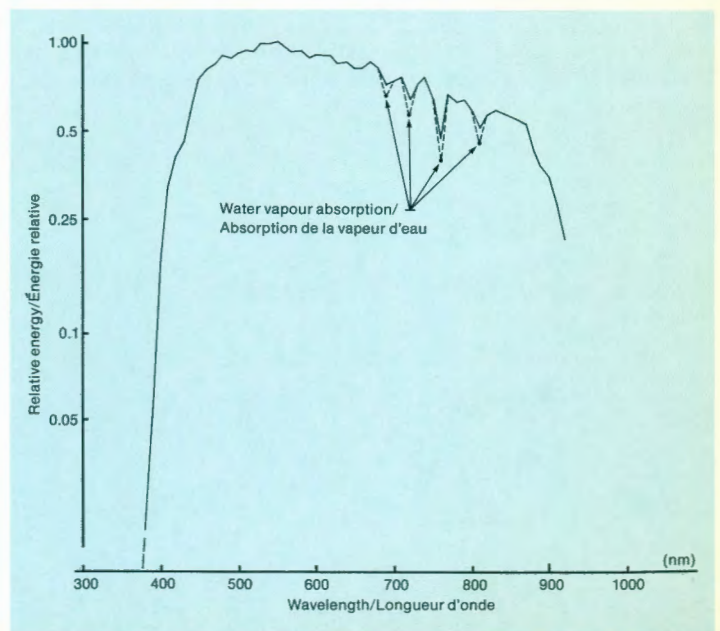
Rayon spectral de la norme pour la lumière du jour pour photographie aérienne.

L'utilité de la sensitométrie se fait évidemment sentir dans la description et la comparaison de films différents. Il est essentiel d'effectuer le contrôle du film infrarouge-couleur pour en assurer l'emploi efficace. Au Canada, la sensitométrie est obligatoire pour le contrôle du traitement de toute la photographie aérienne réalisée pour le Comité interministériel des levés aériens (CILA). Par conséquent, tous les contractants canadiens qualifiés possèdent, ou doivent se procurer, un sensitomètre bien adapté à la sensitométrie du film infrarouge-couleur.

Le sensitomètre sert à imprimer sur chaque film, avant son développement, un coin échelonné où chaque échelon représente une quantité précise d'énergie actinique connue. Selon le principe de simulation, les sources d'illumination, c'est-à-dire celle du sensitomètre et celle du sujet réel, doivent être similaires. En conséquence, la distribution spectrale de l'illumination sensitométrique est conforme à celle de la *Standard Airphoto Daylight* illustrée à la figure 8.

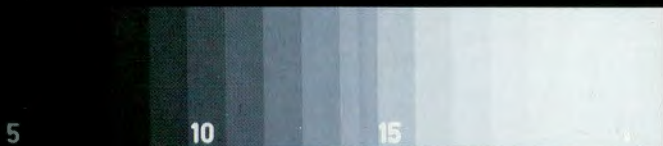
Le photographe aérien est intéressé à la gamme limitée du spectre électromagnétique qui s'étend de l'ultraviolet au proche infrarouge. Les limites sont établies par la transmittance spectrale des objectifs capables d'absorber presque toutes les longueurs d'ondes plus courtes que 350 nm, et par la sensibilité spectrale des couches sensibles à l'infrarouge dont la limite supérieure ne dépasse pas 900 nm.

La figure 9 consiste de coins sensitométriques de chacun des six types de films aériens, déjà présentés dans le texte, et sources des courbes caractéristiques illustrées dans les figures 1, 3, 6 et 7. Chaque coin a reçu exactement la même exposition, sauf le film infrarouge-couleur pour lequel l'illumination a été modifiée, selon l'usage, par un filtre « moins bleu » (Wratten n° 12).





**Kodak Double-X Aerographic
Type 2405**



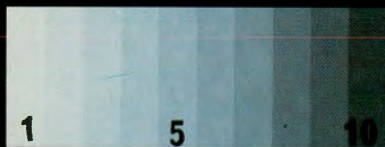
**Kodak Plus-X Aerographic
Type 2402**



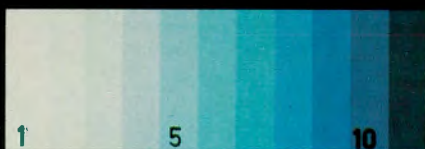
**Kodak Infrared Aerographic
Type 2424**



**Kodak Aerocolor Negative
Type 2445**



**Kodak Aerochrome MS
Type 2448**



**Kodak Aerochrome Infrared
Type 2443**

**Figure 9. Sensitometric exposures on aerial films.
Coins sensitométriques sur les films aériens.**

The most startling observation among the colour films is that although all were exposed to a neutral target, none of the resulting colour images is neutral. The Aerocolor Negative wedge is bluish, and the Aerochrome MS is greenish; however, both remain relatively the same hue (or colour) as the saturation changes with exposure. This was shown graphically in Figure 6 where the characteristic curves for the colour layers are nearly parallel throughout their density range.

The colour of the wedge for Aerochrome Infrared is neither neutral, nor constant in hue. At the desaturated end of the wedge, the steps have the pinkish colour of the film base; at steps 5 and 6 it becomes bluish-green, and at steps 8 and 9, quite blue. Beyond step 10 it becomes increasingly green, which is characteristic of underexposure on Aerochrome Infrared.

This illustrates the consequence of the lack of parallelism and coincidence of the characteristic curves of this material. The practical manifestation of this colour shift with exposure can be seen in any three-frame, 60 per cent overlap sequence of aerial colour infrared photographs taken with a wide or super-wide angle lens. An object appearing first at the edge, then at the centre and then at the opposite edge of the photographs will be recorded at three different apparent brightnesses and colours because of the changing amount of illumination that occurs at the film plane of these lenses.

A given object may be recorded on infrared colour film in any of several different colours according to the level of exposure at which it is seen by the film.

La capacité du film *Double-X* à enregistrer l'intensité plus faible de l'illumination au delà de l'échelon 15 atteste de sa plus grande sensibilité. La gamme d'exposition limitée du film *Aerographic Infrared Type 2424* se révèle par l'enregistrement d'un plus petit nombre d'échelons différents en comparaison avec, par exemple, le film *Plus-X*.

Le détail le plus remarquable est que parmi tous les films couleur exposés à un sujet neutre, aucune émulsion couleur n'a donné une image neutre comme résultat. Bien que le coin sur le film *Aerocolor Negative Type 2445* soit bleuâtre et le coin sur le film *Aerochrome MS Type 2448* verdâtre, les deux restent de teinte presque invariable tandis que l'intensité de couleur change selon le niveau d'exposition. En effet, ainsi que démontré à la figure 6, les courbes caractéristiques des trois couches s'alignent de façon presque parallèle.

Par ailleurs, la couleur du coin sur le film *Aerochrome Infrared Type 2443* n'est ni neutre, ni de teinte constante. Au bout du coin le plus exposé, les échelons manifestent la couleur rosâtre typique de la base du film; aux échelons 5 et 6 il devient bleu-vert et aux échelons 8 et 9, très bleu. Au delà de l'échelon 10, il devient encore plus vert, caractéristique reconnue de la sous-exposition dans le film *Aerochrome Infrared*. La couleur variable résulte du fait que les courbes caractéristiques ne sont ni parallèles ni coïncidentes.

Un phénomène, souvent observé, se produit lorsqu'on a une série de trois clichés avec recouvrement normal de 60 %, obtenus à l'aide d'un objectif à grand angle ou super grand angle. Un objet situé en premier au bord du format, puis au centre, et finalement à l'autre bord du format, est enregistré en trois différentes couleurs, à cause des différents niveaux d'illumination survenant au plan focal de ces objectifs.

Le film infrarouge-couleur enregistre un objet sous la forme d'une image dont la couleur varie en fonction du niveau d'exposition.

It is usually safe to assume that each roll of panchromatic aerial film will be quite similar to the last one of the same type. Once the film's response has been established by experience, each subsequent roll can be treated in much the same way, with results that are usually predictable within acceptable limits.

In dealing with infrared-sensitive materials, and particularly with colour infrared, the same assumption cannot be made. Infrared sensitivity is more difficult to control at the manufacturing stage and more difficult to preserve in storage and handling.

To illustrate this variability, examine the three scenes pictured in Figure 10. These pictures were taken over the same area, at the same time of day and season, from the same flying height, using the same camera. The only variable was the emulsion numbers of films used.

The explanation for this varied response is found in the characteristic curves for each of the emulsion numbers. As can be seen in Figure 10, the position, and hence the speed of the infrared-sensitive layer shifts in relation to that of the two visible-light curves, resulting in images that are (a) *IR-degraded*, (b) *normal*, or (c) *IR-enhanced*.

For a given altitude, the relationship in speed between the visible-light layers and the infrared layer governs the brightness of the infrared record. With *normal* balance, the scene response is well distributed between the visible and infrared sensitive layers. If the infrared layer is too slow, the infrared response is not adequately recorded. If the infrared layer is faster than usual, then the infrared response dominates the resulting picture.

It is therefore desirable to have a measure of this IR-sensitivity. This is most easily obtained by establishing two points on the characteristic curve at $D = 1.0$, one being at the mid-point between the two visible-light curves and the second, at the point of intersection of $D = 1.0$ with the IR-curve (refer to Figure 10). The distance between these two points, measured parallel to the Log E axis gives a method of defining *IR-balance*. For convenience, the decimal point in the Log E measurement is dropped so that a Log E difference of 0.35 becomes an IR-balance of 35. As the IR-sensitivity increases, the IR-balance number decreases, as shown in Figure 10.

A toute fin pratique, on peut normalement considérer chaque rouleau de film aérien à émulsion panchromatique identique au précédent. Une fois déterminée la moyenne des variations d'un nombre d'émulsions, chaque rouleau subséquent peut alors être utilisé de la même façon.

Mais une situation différente existe dans le cas de l'emploi de matériaux sensibles à l'infrarouge, et surtout du film infrarouge-couleur.

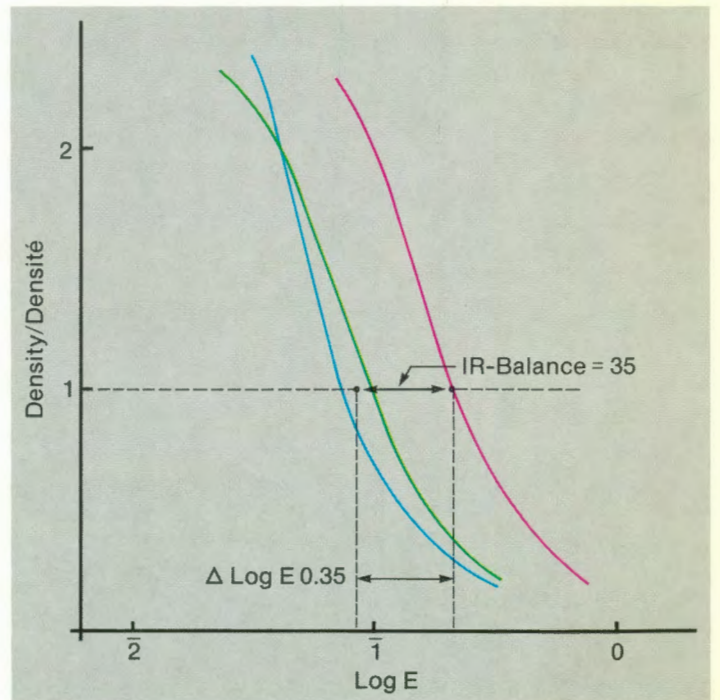
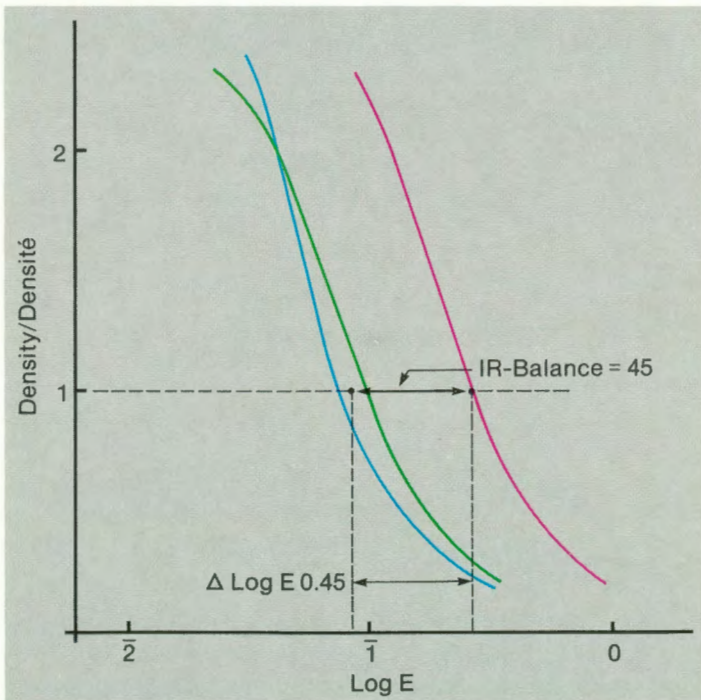
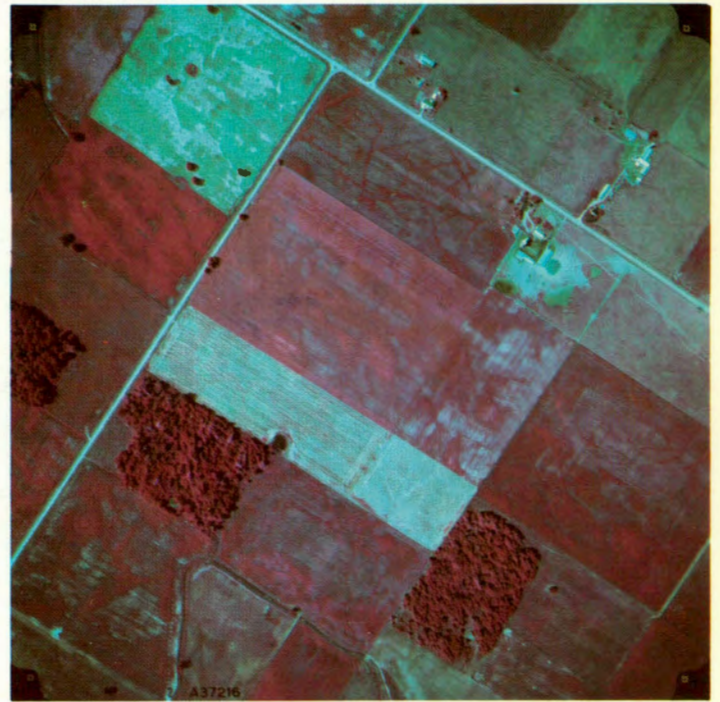
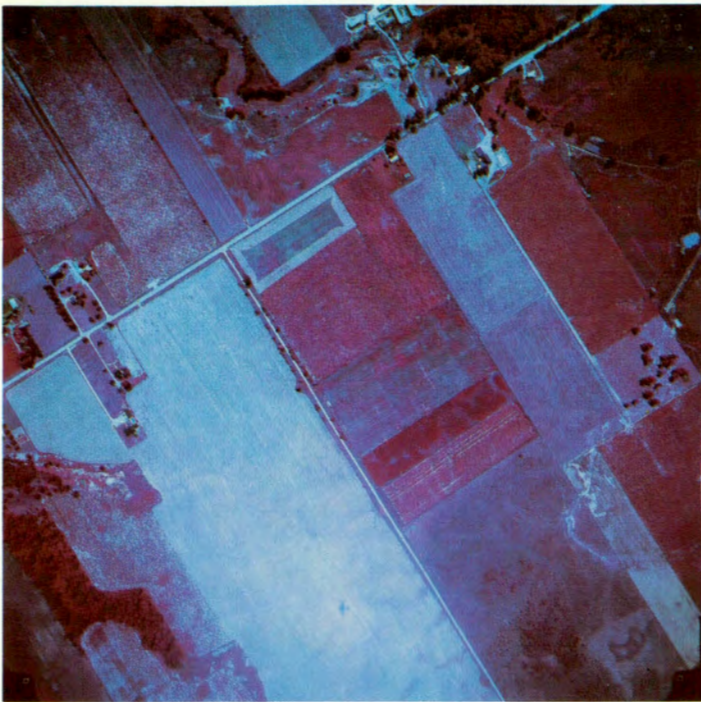
La figure 10 se compose de trois clichés pris avec le même appareil de photographie aérienne, à la même heure du jour, en même saison, à partir de la même altitude et dans la même localité; seuls les numéros d'émulsion différents des films utilisés constituent un élément variable. La courbe décrivant la sensibilité d'une émulsion à l'infrarouge change sa position relative d'une émulsion à l'autre. Les résultats donnent des images (a) dégradées, (b) normales ou (c) intensifiées.

A une altitude donnée, les vitesses relatives des couches sensibles à l'infrarouge et à la lumière visible déterminent l'intensité de l'enregistrement à l'infrarouge. Quand le dosage est «normal», la réaction est bien partagée parmi les couches sensibles. Dans le cas d'une couche sensible à l'infrarouge trop lente, la réponse à l'infrarouge se trouve atténuée; par contre, dans le cas d'une sensibilité rehaussée, la réaction à l'infrarouge domine l'image.

Il est donc nécessaire de mesurer cette sensibilité relative à l'infrarouge. Pour l'obtenir plus facilement, il s'agit d'établir deux points le long de la courbe où $D = 1.0$; l'un situé au point médian des deux courbes sensibles à la lumière visible et l'autre, au point d'intersection de $D = 1.0$ avec la courbe sensible à l'infrarouge (fig. 10). La distance entre ces deux points donne un moyen de définir l'IR-balance. Pour plus de facilité, la virgule disparaît afin de transformer $\text{Log } E = 0.35$ en $\text{IR-balance} = 35$.

Une analyse de la variabilité de l'IR-balance parmi quelques centaines de rouleaux de film *Aerochrome Infrared* a révélé une grande gamme de variation telle qu'illustrée à la figure 11. Cette gamme s'étend d'un minimum de 10 (sensibilité relative à l'infrarouge fortement intensifiée) à un maximum de plus de 50 (sensibilité mal dégradée).

L'IR-balance du film infrarouge-couleur varie, mais peut être mesuré à l'aide d'un coin sensitométrique. Une connaissance de l'IR-balance rend possible la filtration corrective, opération réalisée afin de maintenir une réaction photographique uniforme entre des films dont les numéros d'émulsion différent.



(a) *Degraded*
Dégradé

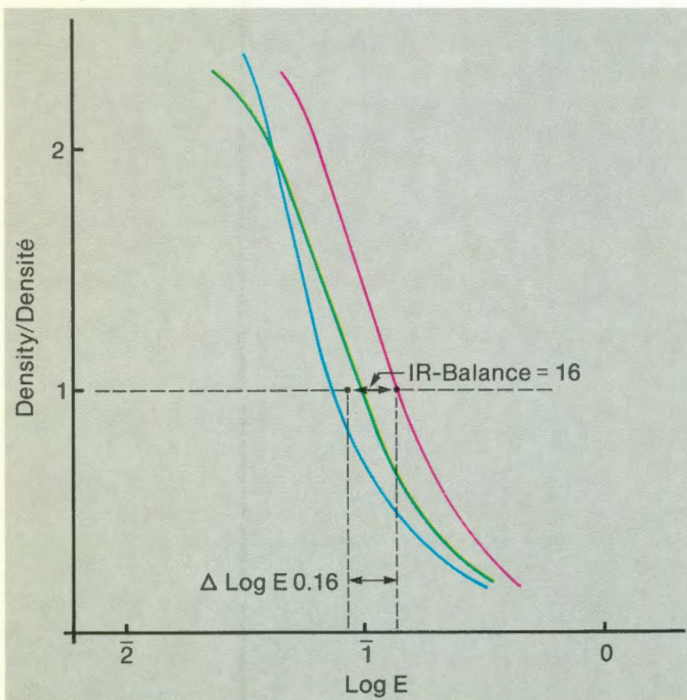
(b) *Normal*
Normal

Figure 10. Variability of colour infrared emulsions.
Variabilité des émulsions infrarouge-couleur.



A statistical analysis of the variations of IR-balance among Aerochrome Infrared rolls exposed by the Airborne Operations Section of the Canada Centre for Remote Sensing, and uniformly processed at the Reproduction Centre, NAPL, has revealed a wide range of variation in IR-balance as shown by Figure 11. Over 200 rolls of film having 18 to 20 different emulsion numbers and exposed over a period of three years (1974-1976), were included in this study. The range extends from a minimum of 10 (i.e., highly enhanced relative IR-sensitivity) to a maximum of more than 50 (badly degraded IR-sensitivity).

The IR-balance of colour infrared film is variable, but it can be measured by means of a sensitometric exposure. Pre-knowledge of the IR-balance of a roll makes corrective filtration possible so that a standard photographic response can be maintained between rolls of differing emulsion number.



(c) *Enhanced
Intensifié*

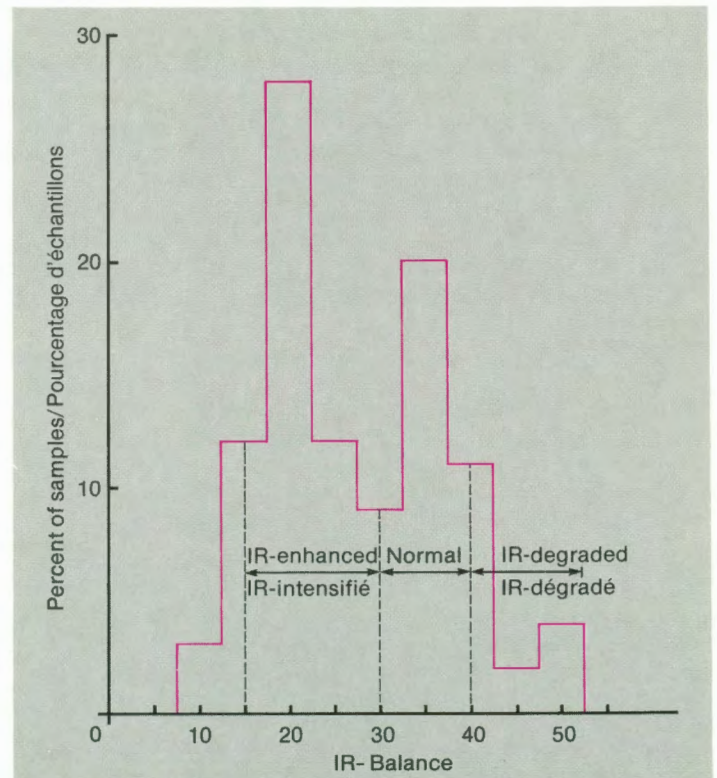


Figure 11. Variation of IR-balance in Aerochrome Infrared.

Variation de l'IR-balance parmi des rouleaux d'Aerochrome Infrared.

The IR-balance of a film can be changed by the use of colour compensating (CC) filters. Although it is not possible to *increase* the speed of any one layer of a multilayer film, it is possible, by selective filtration, to alter the *relative* speeds of the layers.

It was shown in Figure 10 that as the relative IR-sensitivity of a film drops, the separation between the visible-light curves and the IR-curve increases, resulting in a higher IR-balance value. This reduction in IR-sensitivity can be a result of manufacture, or quite commonly, the result of aging and storage. It often becomes desirable to close the gap between the curves in order to keep the colour balance of a degraded roll consistent with that established for a job.

Wratten CC Blue filters are particularly useful for controlling the IR-balance of Kodak Aerochrome Infrared film. Their attributes are shown in Figure 12. A CC40 Blue filter, for example, appears *more blue* than a CC20 Blue filter because it absorbs more red and green light while fully transmitting light in the visible blue and invisible infrared portions of the spectrum. Since colour infrared is always used with a *minus-blue* filter, the *blueness* of the filters is irrelevant. The important fact is that they provide a means of controlling the amount of visible red and green light reaching the film, without greatly affecting the infrared. The CC Blue filters therefore, provide *minus visible* filtration and can be used to shift the visible-light curves to the right without significantly moving the infrared-sensitive curve.

The distance to the right that the visible-light curves are shifted is determined by the value of the CC Blue filter and is shown in Table I. Since the filters absorb light, the shift is always to the right and some compensating increase of exposure will be necessary. The exposure compensation, in increments of 1/3 stop, is tabulated against each filter.

Occasionally, the separation between the two visible-light curves is greater than normal and it becomes necessary to restore the balance. Usually, CC magenta filtration is required in order to attenuate slightly the response of the green-sensitive (blue-coloured) layer. The effect on the IR-balance of adding a magenta filter is also noted in Table I.

The relative infrared sensitivity of a film can be increased by the use of "minus visible" filtration and a compensating increase in exposure.

L'utilisation de filtres compensatoires permet de maîtriser le dosage des couleurs. Bien qu'il ne soit pas possible d'*augmenter* la vitesse d'une couche spécifique d'un film à couches multiples, il est possible de changer les vitesses relatives des couches au moyen de la filtration.

La figure 10 établit que l'écart entre les courbes sensibles à la lumière visible et la courbe sensible à l'infrarouge augmente à mesure que la sensibilité à l'infrarouge décroît, suite à des mauvaises conditions d'entreposage ou d'âge, ou à des défauts de fabrication. Il est souvent souhaitable de réduire cet écart afin de garder un dosage des couleurs uniforme parmi les nombreux rouleaux utilisés au court d'un projet.

La figure 12 présente les caractéristiques des filtres *Wratten* bleus CC utilisés spécifiquement pour maîtriser l'IR-balance du film infrarouge-couleur. Par exemple, un filtre bleu CC40 semble «plus bleu» qu'un filtre bleu CC20 parce qu'il retient plus de la lumière rouge et verte tout en facilitant la transmission du bleu visible et de l'infrarouge invisible. Parce que le film infrarouge-couleur est toujours exposé derrière un filtre «moins bleu», la couleur visible n'a plus de signification. L'importance des filtres bleus CC provient du fait qu'ils permettent de régler l'intensité de la lumière verte et rouge parvenant jusqu'au film sans toutefois atténuer les effets du rayonnement infrarouge. Les filtres bleus CC fournissent une filtration «moins visible» et peuvent être utilisés pour déplacer les courbes de couleurs visibles vers la droite sans affecter la courbe de la couche sensible à l'infrarouge.

Le tableau I illustre l'importance du numéro du filtre bleu CC sur ce déplacement. Le résultat de l'absorption de la lumière par les filtres est un décalage vers la droite que seule une augmentation du temps d'exposition peut corriger. La variation d'exposition est échelonnée proportionnellement à chaque filtre.

La distance entre les deux courbes sensibles à la lumière visible devient quelquefois trop grande, situation à laquelle il faut alors remédier. De façon générale, ce redressement demande un filtre magenta CC pour atténuer un peu la réaction de la couche sensible à la lumière verte. Le tableau I démontre aussi le résultat de cette opération sur l'IR-balance.

La sensibilité relative à l'infrarouge peut être accentuée par l'adoption du procédé de filtration «moins visible» accompagné d'une augmentation d'exposition compensatoire.

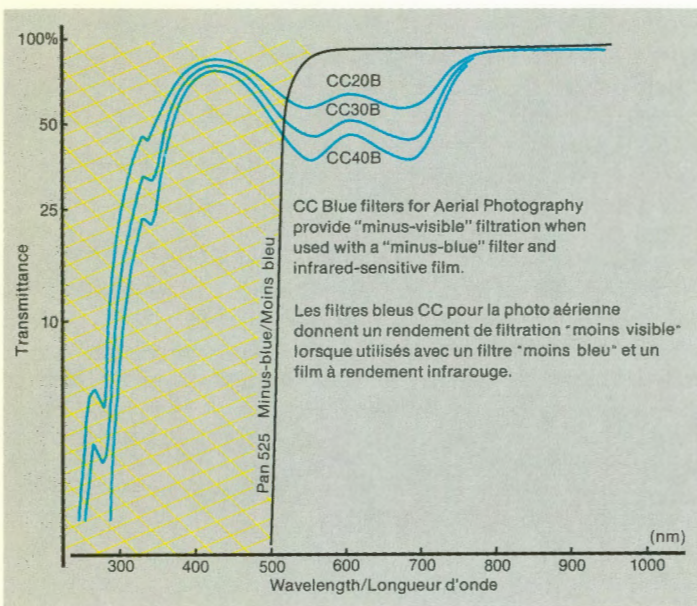


Figure 12. Minus-visible filtration.

Filtration «moins visible».

Table I / Tableau I

Filter Filtre	IR-Balance Shift Décalage de l'IR-balance	Exposure Compensation Compensation d'exposition
CC10B	5	1/3 stop*
CC20B	9	2/3 stop
CC30B	14	1 stop
CC40B	18	1 1/3 stop
CC50B	23	1 1/2 stop
CC60B	27	2 stops
CC10M	5	0
CC20M	10	
CC30M	15	1/3 stop
CC40M	20	
CC50M	25	1/2 stop

*Ouverture du diaphragme.

In normally balanced, colour infrared film, the infrared-sensitive layer is deliberately made slower than the layers sensitive to visible light, since this film is widely used in large-scale photography of vegetated areas having high infrared reflectances. Figure 10 indicates that an IR-balance of 35 could be considered *normal* for this application.

The advent of space-borne remote sensing has caused scientific investigators to look more closely at small-scale aerial photography as an added interpretation tool. This trend has resulted in the use of colour films, particularly colour-infrared, at higher and higher altitudes. The colour balance of a film designed for moderate altitudes falls short of the ideal when exposed from 30 000, 40 000 or 50 000 feet. The photographs in Figure 14 were exposed at increasing altitudes over the same area, on the same flight, and same roll of film. It is obvious that the infrared reflectance from the ground, recorded by the film, diminished as the altitude increased, giving the pictures a bluer and bluer cast. The water vapour in the atmosphere acts as an absorber of this reflected IR-radiation, and to compensate for this effect, the speed of the infrared sensitive layer must be changed to come closer to that of the visible-light sensitive layers in the film, if a constant colour balance is to be maintained.

The problem becomes one of determining what the IR-balance should be at a given altitude. One answer may be found in Figure 13 which is the aim-curve developed and employed by the Airborne Operations Section, CCRS. This is an empirically-derived curve based on the observation of many rolls of Aerochrome Infrared film over several operating seasons. This curve embodies the observation that a film having an IR-balance of 35 produces very good results at low altitudes; similar results from 10 000 feet will require a balance of 24; from 20 000 feet, about 16; and from 30 000 feet, an IR-balance of about 10.

The results of applying this aim-curve, in practice, are shown in Figure 15. These photographs were taken on the same flight as those of Figure 14, using a film with the same basic colour balance but in this case, applying corrective filtration according to the altitude. The amount of infrared reflectance recorded on the film now remains the same regardless of altitude. This was confirmed by making three-colour densitometric measurements on common detail at each altitude.

This aim curve is marked *tentative*. It can, in fact, be adjusted to meet the needs of various interpreters. Foresters have already indicated that perhaps this curve represents an overcompensation for their purposes, but the important fact is that altitude can be compensated for in a standard manner.

The IR-balance of a film must be appropriate to the altitude at which it is being exposed. The higher the altitude, the greater the relative IR-sensitivity required.

Dans un film bien balancé pour l'infrarouge, la partie réservée à l'infrarouge réagit plus lentement que celle sensible à la lumière visible en raison du fait que ce film sert à la photographie à grande échelle de la végétation et des forêts, régions à forte incidence de réflexion infrarouge. La figure 10 démontre bien que l'IR-balance = 35 peut en effet être considéré comme «normal» dans ce cas-ci.

Les clichés de la figure 14 ont été pris à différentes altitudes au-dessus d'une même localité, pendant le même vol et sur le même rouleau de film. Il appert qu'en augmentant l'altitude les images deviennent de plus en plus bleues (cyan) tandis que l'effet de l'infrarouge tend à s'atténuer. La vapeur d'eau dans l'atmosphère absorbe de plus en plus le rayonnement infrarouge réfléchi par la terre et pour parvenir à maintenir le dosage des couleurs il faut progressivement augmenter la sensibilité relative à l'infrarouge en rapport avec la diminution observée.

Le problème consiste à décider quelle devrait être l'IR-balance à une altitude donnée. La figure 13 illustre la solution apportée par la courbe établie et utilisée par la Division des opérations aéroportées du Centre canadien de la télédétection (C.C.T.). Elle est basée sur l'observation de nombreux rouleaux de films dans lesquels un IR-balance = 35 a produit un bon résultat à basse altitude; un résultat similaire à 10 000 pieds exige un IR-balance de 24; à 20 000 pieds, approximativement 16; et à 30 000 pieds, environ 10.

Les résultats de l'application de cette courbe se trouvent à la figure 15. Ces photographies, prises au même moment que celles de la figure 14, proviennent d'un film à dosage des couleurs semblable, mais, dans ce cas-ci, des mesures de filtration corrective ont été employées conformément à la courbe idéale. Le degré de rayonnement infrarouge enregistré sur le film reste presque le même, peu importe l'altitude.

Cette courbe idéale provisoire peut être ajustée selon les besoins des usagers. Quelques forestiers, par exemple, ont déjà suggéré que cette courbe apporte une trop grande compensation pour leurs besoins, mais le point important à retenir est que la compensation de l'effet d'altitude peut s'effectuer d'une façon normale.

L'IR-balance du film doit être ajusté par rapport à l'altitude. Plus l'altitude est haute, plus la sensibilité relative à l'infrarouge doit être grande.

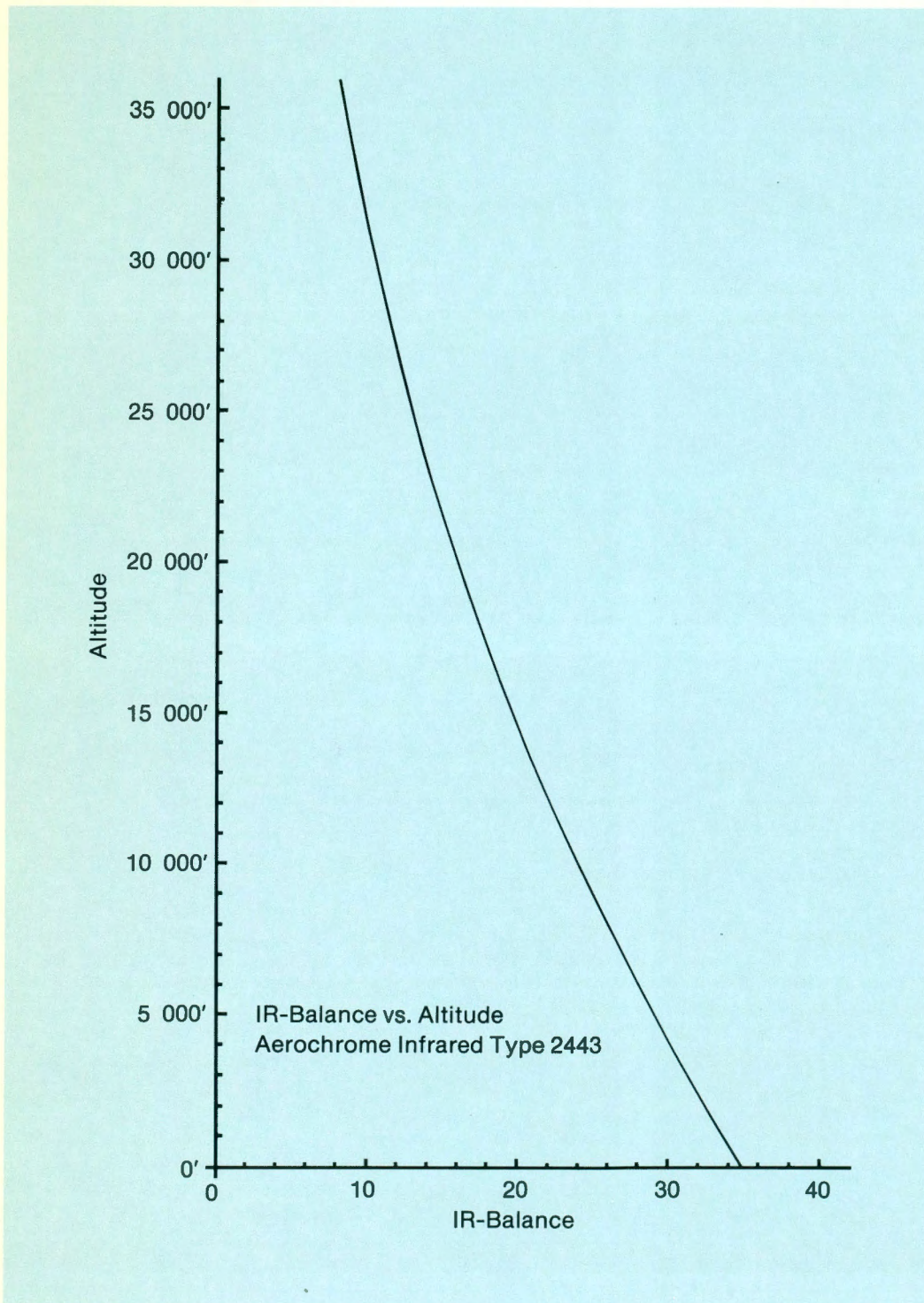
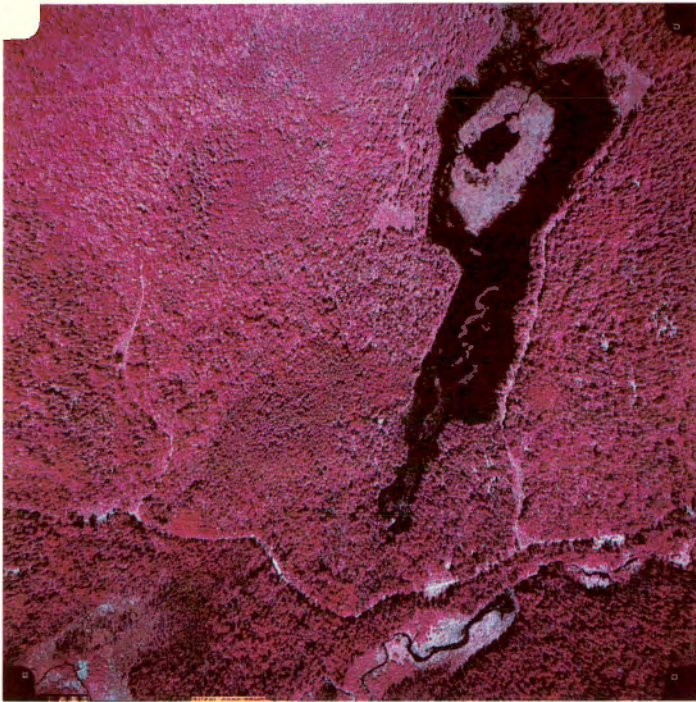


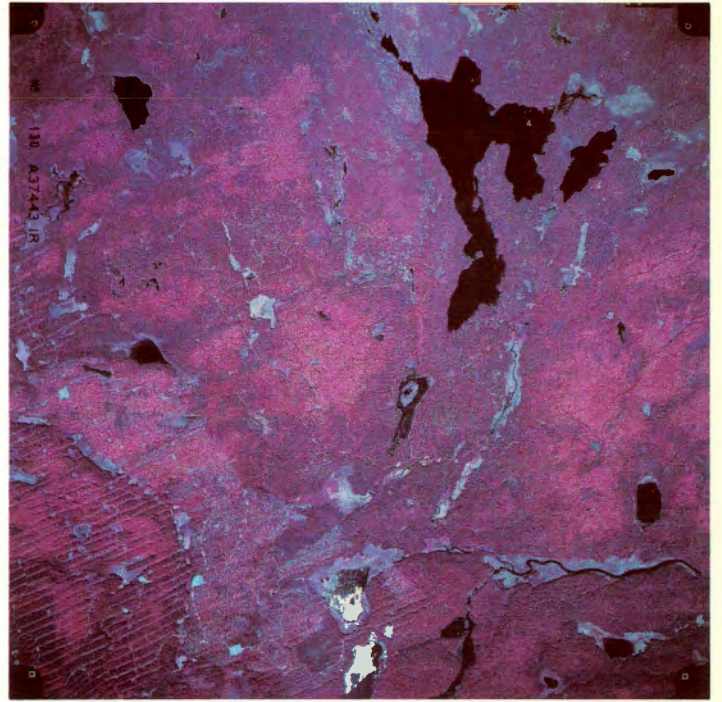
Figure 13. Tentative aim-curve.

Courbe tentative de visée.



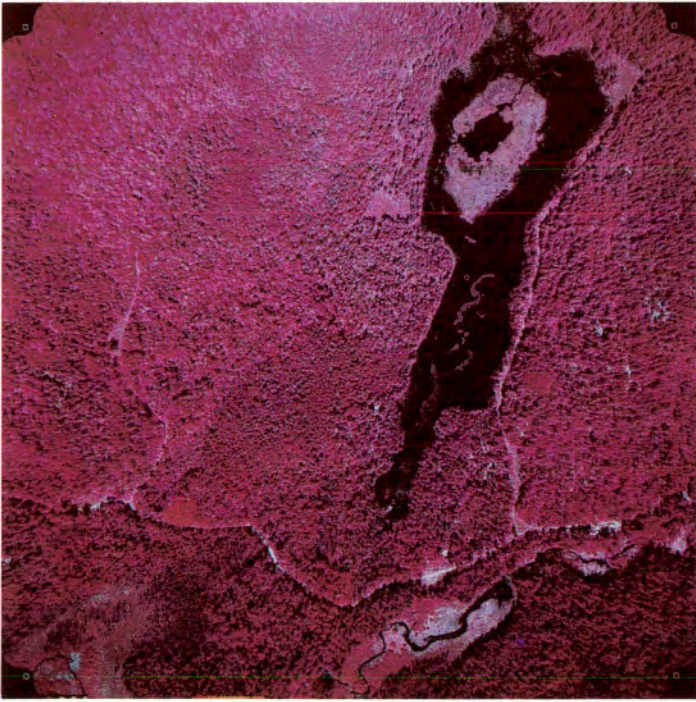
3 000 ft.

3 000 pi



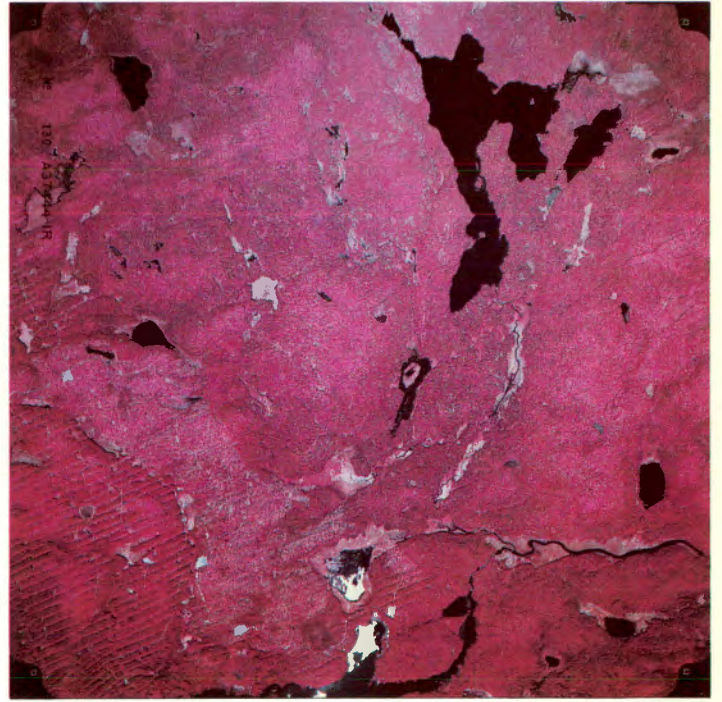
17 000 ft.

17 000 pi



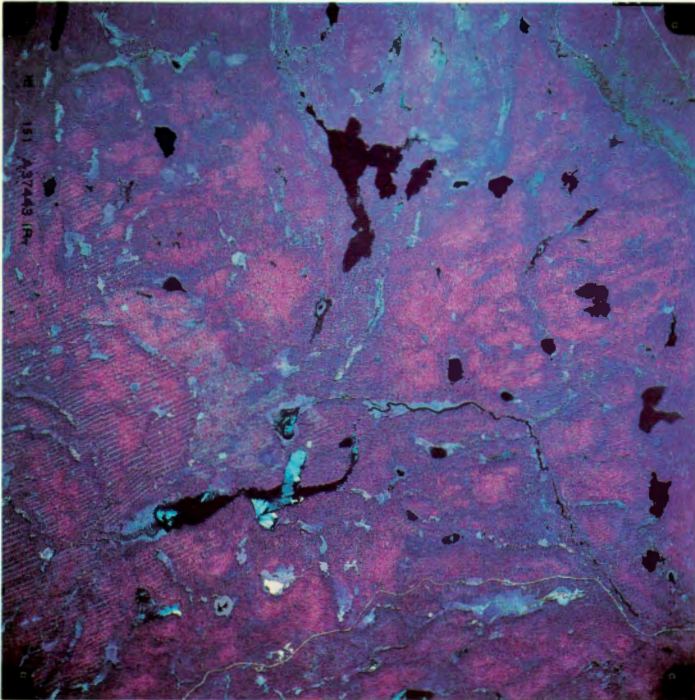
3 000 ft.

3 000 pi



17 000 ft.

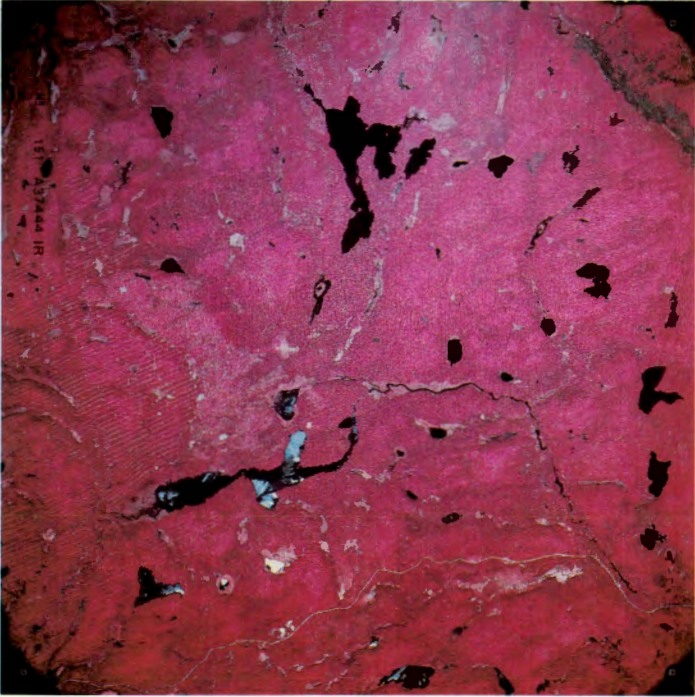
17 000 pi



29 000 ft.

29 000 pi

Figure 14. Effect of altitude
Effet de l'altitude



29 000 ft.

29 000 pi

Figure 15. Altitude compensation
Compensation pour l'altitude

To achieve uniform results with colour infrared film, the desired IR-balance for a particular job must be known. This may be established by the altitude, or by the requirement to match previous work. Then the IR-balance of the available films must be known. This can be established by sensitometric pre-testing.

There are two methods of attaining the required IR-balance:

- **By selection**

The graph in Figure 11 shows that infrared films can have a wide range of IR-balance, even when freshly delivered. One of an existing stock of films may have the exact balance required. The use of a filter and resulting exposure penalty may thus be avoided.

- **By filtration**

Table I shows the use of CC Blue filters to shift the IR-balance. Exposure compensation must be made to allow for the added filter(s).

Selection should always be considered first, since exposing light conditions in Canada are barely adequate at the best of times. Added filtration requires larger lens openings or slower shutter speeds.

Pour atteindre des résultats constants, il faut connaître l'IR-balance requis, facteur que l'altitude ou le besoin de reproduire un travail déjà réalisé permet d'établir précisément. Ensuite, un essai sensitométrique aide à déterminer l'IR-balance des films disponibles.

Il y a deux moyens d'atteindre ce but:

- **la sélection**

La figure 11 a montré que le film infrarouge-couleur a une grande gamme d'IR-balance. Un des rouleaux disponibles peut avoir l'équilibre exact exigé. Dans ce cas, on pourra éviter l'utilisation d'un filtre compensatoire et aussi la peine d'exposition conséquente.

- **la filtration**

Le tableau I démontre l'utilisation des filtres bleus CC pour modifier l'IR-balance mais il faut alors compenser pour le ou les filtres additionnels.

Il est préférable d'adopter la sélection, en raison des conditions climatiques de lumière généralement peu propices régnant en tout temps au Canada.

The following is a practical example of matching IR-balance with emulsion sensitivity for a flight at 27 000 feet.

a) Using minus visible filtration (Figure 16a):

The aim-curve indicates that photography from 27 000 feet requires a value of IR-balance of 12.

If a sensitometric pre-test indicates that the only available roll of Aerochrome Infrared film displays a normal IR-balance of 35, a shift of $(35 - 12 = 23)$ units will be necessary to match the aim-curve with this emulsion.

Referring to Table I, a CC50 Blue filter is required to achieve the necessary enhancement of relative IR-sensitivity, and an added 1 1/2 stops of exposure will be required to compensate for the heavy blue filter.

b) Matching the aim-curve by selection (Figure 16b):

If there are several rolls of Aerochrome Infrared available, sensitometric pre-testing may reveal one or more having enhanced IR-sensitivity. Assuming an emulsion is available having an IR-balance of 16, a shift of only 4 units will be necessary to match the required balance for 27 000 feet.

Table I indicates that a shift of 5 units can be attained with a CC10B filter, and at a cost of only 1/3 stop added exposure.

It should be noted that the use of this particular film, below 20 000 feet, would result in an infrared enhanced picture — that is, one *redder* than normal.

Pre-test all colour IR films for IR-balance. Match the IR-balance of the film to the required balance by selection or filtration.

L'explication suivante illustre bien l'équilibre entre l'IR-balance et la sensibilité d'une émulsion pour un vol à 27 000 pieds. La courbe idéale (fig. 13) indique que l'IR-balance = 12 est exigé.

a) Utilisant la filtration «moins visible» (fig. 16a):

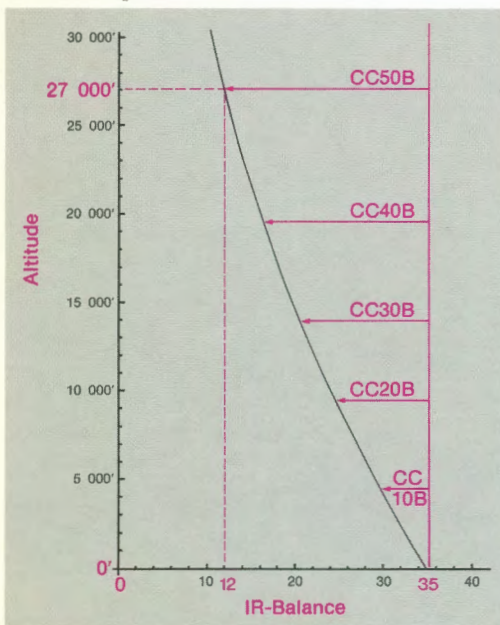
si un essai indique que le seul rouleau disponible a un IR-balance = 35 (c'est-à-dire normal), il sera nécessaire d'introduire un décalage de $35 - 12 = 23$ unités pour le faire s'harmoniser avec la courbe idéale à 27 000 pieds.

Le tableau I atteste de la possibilité d'utiliser un filtre bleu CC50 pour atteindre le rehaussement nécessaire de la sensibilité relative à l'infrarouge; en même temps, il faudra ouvrir le diaphragme une fois et demie plus grand afin de compenser l'effet du filtre bleu.

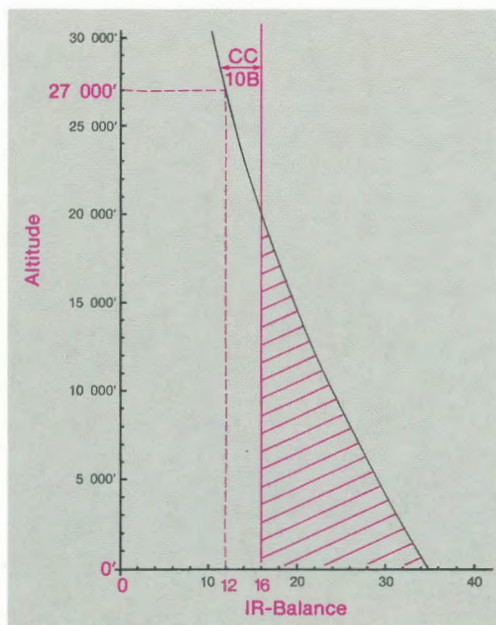
b) Utilisant la sélection (fig. 16b):

il arrive que, parmi les films *Aerochrome Infrared* disponibles, un rouleau ait une sensibilité rehaussée à l'infrarouge. Un IR-balance = 16 requiert un décalage de quatre unités seulement pour le faire concorder avec la balance exigée à 27 000 pieds. Selon le tableau I, l'emploi d'un filtre bleu CC10 permet de réaliser un décalage de cinq unités avec seulement un tiers de fois d'ouverture additionnelle du diaphragme.

Tous les films infrarouge-couleur doivent être vérifiés à l'avance. Il faut harmoniser l'IR-balance du film avec le dosage des couleurs exigé au moyen de la sélection ou de la filtration.



(a) Film IR-balance = 35
IR-balance du film = 35



(b) Film IR-balance = 16
IR-balance du film = 16

Figure 16. Corrective filtration 27 000 ft.
Filtrage compensatif 27 000 pi

Sharp cut *minus-blue* glass filters with appropriate antivignetting coatings are a standard component of modern survey cameras, as exemplified by the Wild 525 nm or Zeiss D filters. It is essential for colour infrared photography that these glass filters have sufficient antivignetting coating to ensure that the film plane illumination does not drop to less than 50 per cent of its maximum value, anywhere in the 23 cm format.

The auxiliary colour compensating (CC) filters used for emulsion balancing or altitude compensation purposes are normally only available in the form of thin flexible gelatine sheets. These may be inserted into the optical path of the camera either ahead of the lens in a sandwich filter, or behind the lens in the camera cone.

It is essential that the gelatine filter be kept flat if the image quality is not to be degraded. The use of a sandwich filter before the lens is the best mounting, but often impractical because of the difficulty of changing filters in flight.

Filter mounts, which mount inside the camera body just ahead of the focal plane, and consisting of a narrow metal frame to keep the gelatine flat and taut, have been designed for Wild cameras and are used successfully by the Canada Centre for Remote Sensing. A less satisfactory position for the filter is to place it in the cone unmounted and possibly, to rest it on the rear lens element.

These interior filter mountings apply only to vertically mounted survey cameras.

Le filtre « moins bleu » en verre optique avec enduit anti-vignetting est un élément standard de l'appareil de photographie aérienne moderne (par exemple, le Wild Pan 525 2X, ou le Zeiss D). Avec le film infrarouge-couleur, il est essentiel que l'illumination du plan focal ne descende pas à moins de 50 % de la valeur maximale sur toute la surface du format.

Les filtres compensatoires auxiliaires utilisés pour l'harmonie de l'émulsion ou pour la compensation de l'altitude s'obtiennent normalement seulement sous forme de feuilles gélatineuses minces. Celles-ci peuvent être placées devant l'objectif dans un filtre de type sandwich ou derrière l'objectif, dans le cône de l'appareil photographique.

Le filtre en gélatine doit être maintenu à plat pour éviter la dégradation de la qualité de l'image. L'emploi du filtre de type sandwich devant l'objectif, bien que préférable, n'est pas toujours des plus pratiques, en raison de la difficulté de changer les filtres en vol.

Un cadre étroit en métal léger, installé dans le cône de l'appareil juste devant le plan focal et conçu pour garder le filtre en gélatine plat et bien tendu, a été employé avec succès par le C.C.T. En cas d'urgence, un filtre sans support peut être placé dans le cône et appuyé sur l'objectif, mais ces méthodes réussissent seulement dans des appareils dotés d'un axe optique vertical.

Even when all the precautions of the preceding pages are observed, there remains a host of other problems that can beset the aerial photographer. If ignored, these problems could result in bad colour infrared photography.

The photograph in Figure 17 was exposed from 31 000 feet in a Wild RC10, super-wide angle (88.44 mm) camera with a 525 nm, 2.2X antivignetting filter to compensate for lens illumination fall-off. Even with this latter filter, the illumination in the corner of the format is only about 30 per cent of that available in the centre. There is a hot-spot surrounding the antisolar point, which exhibits the de-saturation of colour that is typical of over-exposure, while the dark corners of the picture tend towards the dense green that is characteristic of under-exposure on Aerochrome Infrared. The combined effects of the severe vignetting in the super-wide angle lens, the hot-spot, and the long, oblique light path to the corners of the format, result in a brightness range at the focal plane which exceeds the limited latitude of the film, so that information is lost or distorted at both ends of the brightness scale. Only a narrow ring concentric about the hot-spot can be considered well-exposed.

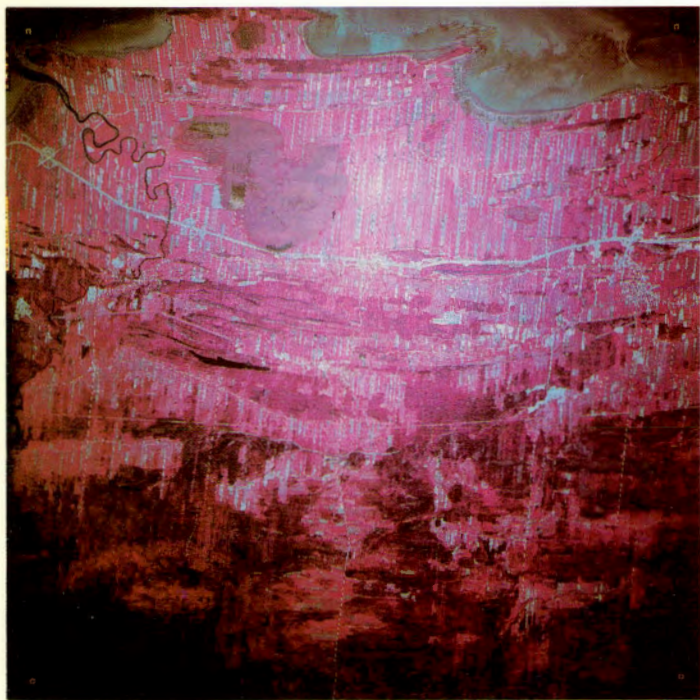
The use of Aerochrome Infrared film in super-wide angle cameras is not recommended.

Même en observant toutes ces précautions, plusieurs autres problèmes persistent et peuvent causer des embarras au photographe.

Par exemple, la photographie de la figure 17 a été exposée à une altitude de 31 000 pieds à l'aide d'un appareil Wild RC10 à super grand angle (88.44 mm) équipé d'un filtre Wild Pan 525 nm, 2.2X. Malgré le filtre, l'illumination à chaque coin du format ne représente que 30 % de celle enregistrée au point principal. La place hyperlumineuse autour du point anti-solaire présente des signes de surexposition tandis que les coins adoptent une teinte vert profond, couleur typique de la sous-exposition dans le film *Aerochrome Infrared*.

La combinaison des effets du vignetting, de la place hyperlumineuse et de la voie lumineuse longue et oblique aux coins produit une gamme de luminosité supérieure à la latitude permise par le film et résulte ainsi en une perte d'information aux deux bouts de l'échelle de luminosité. Seul un étroit cercle autour de la place hyperlumineuse demeure bien exposé.

L'utilisation du film Aerochrome Infrared dans les appareils photographiques à super grand angle n'est donc pas recommandée.



**Figure 17. Super-wide-angle photograph from 31 000 ft.
Photographie prise avec un objectif à super
grand angle à une altitude de 31 000 pi.**

The photograph in Figure 18, by way of contrast to Figure 17, exhibits all those characteristics that people think of when ordering colour infrared photography. It embodies many of the recommendations and implications of the preceding text. The photograph was exposed from about 1 500 feet, so that the problems associated with a long atmospheric path length are minimized. The wide-angle lens (153 mm) of the Wild RC10 camera was fitted with an antivignetting filter giving a film plane illumination that at no place dropped below 60 per cent of the maximum.

The photography was carried out in mid-October under a solar altitude of about 28 degrees. This accounts for the long shadows, but it also places the anti-solar point and the hot-spot well outside the field of view, thereby eliminating that source of exposure anomaly.

The exposure level of $f/4 @ 1/275$ second was determined with the aid of a photometer whose spectral response is matched to that of the film-filter combination employed.

The film was exposed behind a Wild Pan 525 filter (spectrally equivalent to a Wratten #12), augmented by a CC10 Magenta gelatin emulsion-balancing filter mounted behind the lens within the lens cone. The requirement for the latter filter was determined on the basis of sensitometric pre-tests, confirmed by operational data from previous rolls bearing the same emulsion number.

The CC10M filter serves to attenuate slightly the response of the green-sensitive layer, and to enhance simultaneously the relative IR-sensitivity so that the IR-balance is 32, providing a good match to the aim-curve of Figure 13.

Care taken in establishing compensating filtration and exposure conditions results in good, repeatable colour balances in colour IR photography.

Figure 18. Wide-angle photograph from 1500 ft.

Photographie prise avec un objectif à grand angle à une altitude de 1500 pi.

La photographie de la figure 18 met en pratique plusieurs recommandations abordées dans le texte précédent. Elle a été exposée à une altitude approximative de 1 500 pieds; en conséquence, les problèmes d'un long trajet atmosphérique sont réduits au minimum. L'objectif à grand angle (153 mm), muni d'un filtre «anti-vignetting», ne réduit jamais l'illumination, en n'importe quel point du plan focal, à moins de 60 % de la valeur maximale.

La photographie a été exécutée en octobre à un moment où l'angle du soleil était de 28°. En plus de produire des ombres longues, l'opération a permis de conserver le point anti-solaire et la place hyperlumineuse à l'extérieur du champ de vue, éliminant ainsi cette source de difficulté.

Le niveau d'exposition ($f/4$ à $1/275$ sec.) a été établi à l'aide d'un photomètre dont la sensibilité spectrale correspond bien à la combinaison de film et de filtre utilisés.

Le film a été exposé derrière un filtre Wild Pan 525 (équivalent à un Wratten n°12) auquel était ajouté un filtre magenta CC10 en gélatine fixé derrière l'objectif, à l'intérieur du cône de l'appareil photographique. Ce type de filtre sert à atténuer un peu la réaction de la couche sensible à la lumière verte, et en même temps à rehausser la sensibilité relative à l'infrarouge pour atteindre l'IR-balance = 32, résultat correspondant à la courbe idéale de la figure 13.

Un niveau d'exposition et une filtration compensatoire établis avec soin donneront une photographie infrarouge-couleur de bonne qualité et uniforme.



ICAS Specifications for Aerial Survey Photography (1973)
CILA Spécifications pour la photographie aérienne (1973)

ICAS Specifications for Aerial Colour Photography (1979)
CILA Spécifications pour la photographie aérienne en couleurs (1979)

Carman, P.D. "A Light source for sensitometry of aerial films", *Photographic Science and Engineering*, Vol. 13, No. 6, Dec. 1969.

Compton, John C. "Principles of black and white sensitometry", *Journal of Applied Photographic Engineering*, Vol. 3, No. 4, Feb. 1977.

Fleming, J.F. "Exploiting the variability of Aerochrome Infrared film", *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, Vol. 44, No. 5, May 1978.

Fritz, N.L. "Optimum methods for using infrared sensitive color film", *Photogrammetric Engineering* 33(10), 1967.

Pease, R.W. and L.W. Bowden. "Making color infrared film a more effective high-altitude remote sensor", *Remote Sensing of Environment*, Vol. 1, 1969.

Pease, R.W. "More information relating to the high-altitude use of color infrared film", *Remote Sensing of Environment*, Vol. 1, 1969-70.

Sauer, G.E. and H.E. Lockwood. "Skylab photography — a study in zero-error film handling processing and duplication", *Journal of Applied Photographic Engineering*, Vol. 1, Fall, 1975.

Canadian Standards Association
Association canadienne de normalisation
Standard Z7.3.2.1 "Sensitometry of Monochrome Aerial Films".

ANSI PH 2.21 (1972) "Sensitometric exposure and evaluation method for determining speed of colour reversal film for still photography".

Eastman Kodak Company Publications:

M-29 *Kodak Data for Aerial Photography*

M-61 *Kodak Aerial Films and Photographic Plates*

M-63 *Physical and Chemical Behavior of Kodak Aerial Films*

B-3 *Kodak Filters for Scientific and Technical Uses.*

Any attempt to investigate and control photographic variability is dependent upon consistent processing in order to be sure that the observed variations are inherent in the film or in its mode of operational use, and not merely introduced inadvertently in the darkroom. The author gratefully acknowledges the careful sensitometric exposures and precise processing controls exercised by R. Lavigne and his associates of the Reproduction Centre, National Air Photo Library, which have made it possible to analyze systematically the response characteristics of colour infrared film over an extended period.

I would like to express my gratitude to Vital Fournier for the essential part he played in the translation of the text into French.

Toute tentative de recherche et de contrôle sur la variabilité photographique repose sur un traitement uniforme du film afin de s'assurer que les variations observées sont propres au film ou à son mode d'utilisation et ne se sont pas produites simplement par inadvertance dans la chambre noire. L'auteur tient à remercier sincèrement R. Lavigne et ses associés du Centre de reproduction de la Photothèque nationale de l'air pour l'exécution soignée des expositions sensitométriques ainsi que pour la rigueur des contrôles de traitement qui ont permis l'analyse systématique des caractéristiques de sensibilité du film infrarouge-couleur sur une période prolongée.

L'auteur désire exprimer sa gratitude à Vital Fournier dont l'aide a été essentielle à la traduction française.

RESORS

FEB 28 1980

DATE
RECEIVED _____

FEB 26 1980

DATE
CHECKED _____

DATE
INDEXED _____

10/3/80



Energy, Mines and
Resources Canada

Énergie, Mines et
Ressources Canada