

Introduction à la photo aérienne et à la photogrammétrie

1. Définitions

Les photographies aériennes sont des images du territoire prises à une date donnée et elles servent à interpréter les formes et les détails qui le caractérisent. L'interprétation des formes, des teintes de couleurs ou de grisés et des textures permet de distinguer les détails présents et leur nature. la photo aérienne est acquise par une caméra en format analogique montée à bord d'un avion volant à basse altitude (≈ 1 à 10km) alors que l'image satellite est acquise en format numérique par un satellite orbitant autour de la terre à très haute altitude (≈ 600 à $36\,000\text{km}$).

« **Les photographies aériennes et spatiales** sont des documents issus de prises de vues à partir de satellite, d'un avion ou de tout autre appareil volant et sur lesquels on peut identifier des objets, des formes ainsi que leur arrangement spatial, leurs relations. » (H. Bakis, M. Bonin, 2000)

Deux types de documents : les photographies (**tirage papier**) et image (**format numérique**). Appartiennent tous les 2 à la télédétection

La télédétection est l'ensemble des techniques qui permettent, par l'acquisition d'images, d'obtenir de l'information sur la surface de la Terre (y compris l'atmosphère et les océans), sans contact direct avec celle-ci. La télédétection englobe tout le processus qui consiste à capter et enregistrer l'énergie d'un rayonnement électromagnétique émis ou réfléchi, à traiter et analyser l'information qu'il représente, pour ensuite mettre en application cette information.

La réflectance est la part du rayonnement solaire incident qui est réfléchi par la surface du sol, dans la direction du capteur. Le suffixe "-ance" indique qu'il s'agit d'une propriété de la surface qui réfléchit le rayonnement.

La résolution est la capacité d'un capteur de distinguer deux objets ou deux lignes rapprochées. C'est aussi le plus petit objet ou la ligne la plus étroite qui puisse être détectée par un capteur.

Le détail qu'il est possible de discerner sur une image dépend de la résolution spatiale du capteur utilisé. La résolution spatiale est fonction de la dimension du plus petit élément qu'il est possible de détecter. Les images de télédétection sont composées

d'une matrice d'éléments appelés pixels. Le pixel est le plus petit élément d'une image.

La signature spectrale : En télédétection visible et infrarouge proche, les surfaces naturelles se caractérisent par de très importantes variations de la réflectance selon la longueur d'onde. La « signature spectrale » des surfaces correspond aux variations de la réflectance spectrale. Elle permet de distinguer entre eux les principaux types de surfaces terrestres ou d'analyser plus finement les propriétés de ces surfaces

On appelle photo-interprétation le processus d'étude et de collecte des renseignements requis pour identifier les diverses entités anthropiques et naturelles. "Interpréter une photographie, c'est examiner les images photographiques des objets en vue d'identifier ces objets, de définir leur catégorie, leur nature, leur limites, leur relation avec le milieu. C'est donc d'abord une analyse qualitative". *Chevalier (1971)*

La photogrammétrie Science et art dont le sujet d'étude est la photographie dans l'intention de recueillir des données conduisant à des restitutions dimensionnelles et de déterminer la forme et la position d'un objet dans l'espace. La photogrammétrie est une technique qui a pour but de localiser et de restituer de façon précise les caractéristiques géométriques (forme, dimensions, orientations relatives) d'un objet à partir d'une ou plusieurs images.

Stéréoscopie - Procédé qui permet d'obtenir la sensation du relief (3D) à partir de deux images stéréoscopiques d'un objet, prises de deux points de vue différents. Sensation du relief donnée par la vision binoculaire.

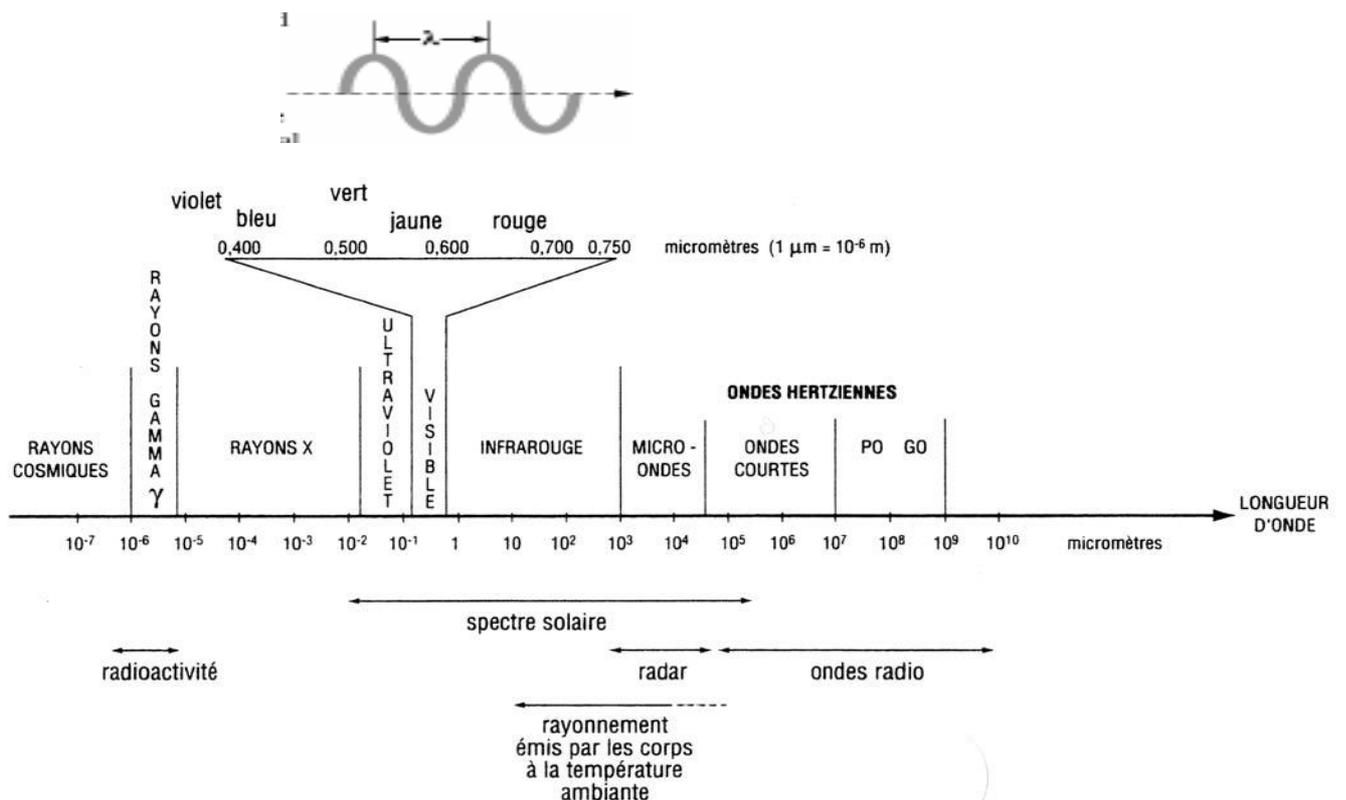
L'orthophotoplan est une image photographique transformée (précisément un assemblage de plusieurs orthophotographies) : un redressement permet de corriger les déformations dues aux reliefs et à la perspective, l'échelle est rendue uniforme, les couleurs sont homogénéisées. L'orthophotoplan est géoréférencé c'est-à-dire un système de coordonnées (longitude, latitude, altitude) lui est assigné. Orthophotoplan devient superposable à une carte et permettant donc des mesures ; il conserve la richesse d'informations de la photographie aérienne originales sans solution ni interprétation.

2. ACQUISITION DES PHOTOGRAPHIES AÉRIENNES

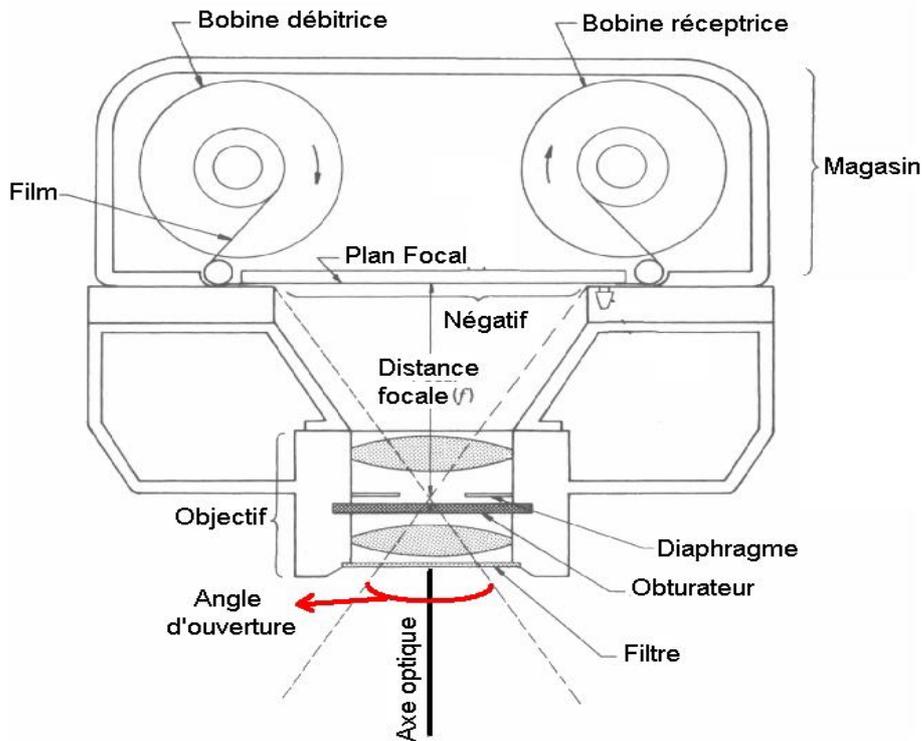
La photographie aérienne exploite le rayonnement solaire réfléchi par les objets et le phénomène de réaction photochimique entre ce rayonnement et le film photographique pour former à distance une image de la scène visée par une caméra photographique.

3. C'est quoi le rayonnement solaire?

Le rayonnement solaire est une forme particulière du rayonnement électromagnétique. On admet que le rayonnement électromagnétique est de l'énergie qui est émise par une source et qui se propage à une vitesse voisine à 3×10^8 m/sec (vitesse de la lumière) en suivant un mouvement ondulatoire. Les ondes électromagnétiques comportent une onde électrique et une onde magnétique indissociables. La longueur d'onde (λ) représente la distance nécessaire pour que l'onde électrique (ou magnétique) reprenne son amplitude initiale



4.1 La caméra



La caméra est un assemblage de plusieurs pièces qui selon leur configuration et leurs caractéristiques influenceront celles de la photographie. La figure 1.1 présente le schéma d'une caméra photographique typique de même que ses principales pièces.

La caméra est munie d'un **objectif** qui contient un obturateur, un diaphragme, des filtres et des lentilles. L'objectif remplit deux fonctions soit :

- Concentrer et faire converger les rayons lumineux vers le point principal de la caméra, les rayons lumineux réfléchis par le terrain voyagent parallèlement lorsqu'ils sont observés à une distance suffisante;
- Régler la distance focale, c'est à dire la distance entre le point principal et le plan focal pour obtenir une image claire et nette.

Pellicule : la plupart des photographies aériennes sont captées à l'aide de pellicules noir-et-blanc; toutefois, pour les projets spéciaux, on utilise quelquefois des pellicules couleur, infrarouge et infrarouge couleur.

Distance focale (f): la distance qui sépare le milieu de la lentille de l'appareil de prise de vues et le plan focal (c.-à-d., la pellicule). À mesure que la distance focale augmente, la déformation de l'image diminue. On peut mesurer de façon précise la distance focale lorsque l'appareil de prise de vues est étalonné.

Le plan focal est une ligne imaginaire perpendiculaire au rayon lumineux principal et il est parallèle à la lentille. La distance focale est égale à et la distance séparant le plan focal du point focal. Le film photographique se déroule d'une bobine à l'autre en passant sur le plan focal. Il sera alors exposé aux rayons lumineux réfléchis par le terrain durant un temps d'exposition t .

L'obturateur contrôle le temps t durant lequel le film sera exposé à la lumière. Un temps d'exposition trop court (sous-exposition) ne laissera pas le temps à l'image de se former, nous obtiendrons une photographie sombre avec peu de contrastes. Un temps d'exposition trop long (sur-exposition) saturera le film, nous obtiendrons une image très claire avec trop de contrastes ou peu de contrastes selon la sévérité de l'exposition

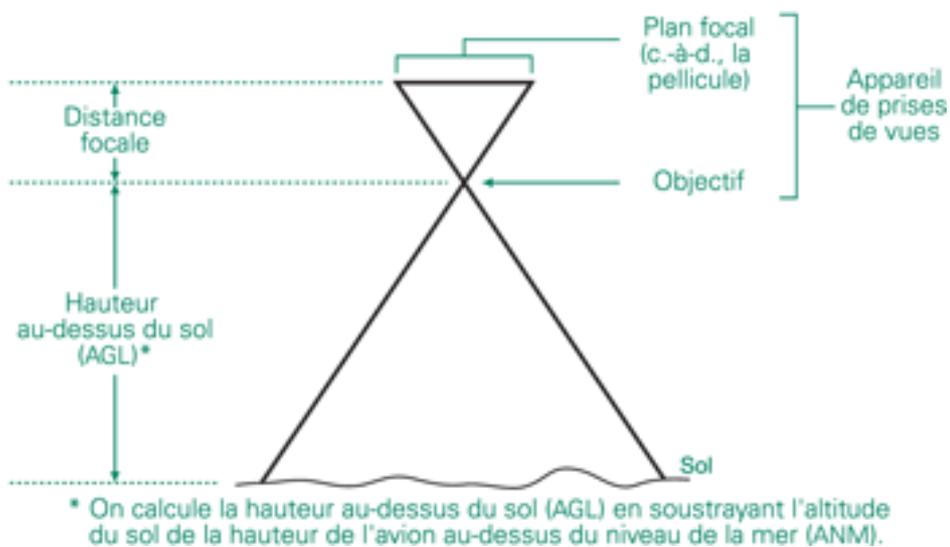
Puisque la vitesse de l'obturateur est soumise à certaines contraintes comme la vitesse de l'avion et celle du déroulement du film, il est nécessaire d'utiliser un deuxième mécanisme pour contrôler l'exposition du film à la lumière. **Le diaphragme** est placé devant le système optique de la caméra et contrôle la quantité de lumière entrant dans la caméra. Il permet une meilleure adaptation aux conditions de luminosité lors de la mission photographique aéroportée. L'ouverture relative (F) du diaphragme correspond au rapport entre la distance focale (f) et le diamètre de l'ouverture (d), les deux quantités sont généralement exprimées en mm :

$$F = f / d$$

Échelle : le rapport entre la distance entre deux points sur une photo et la distance réelle entre ces mêmes deux points au sol (c.-à-d. 1 unité sur la photo équivaut à « x » unités au sol). Si un tronçon de 1 km d'une autoroute couvre 4 cm sur une photo aérienne, on calcule l'échelle comme suit :

$$\frac{\text{Distance sur la photo}}{\text{Distance au sol}} = \frac{4 \text{ cm}}{1 \text{ km}} = \frac{4 \text{ cm}}{100\,000 \text{ cm}} = \frac{1}{25\,000} \quad \text{ÉCHELLE : 1/25\,000}$$

Une autre méthode utilisée pour calculer l'échelle d'une photo est de trouver le rapport entre la distance focale de l'appareil de prise de vues et la hauteur de l'aéronef au-dessus du sol au moment où on prend la photo.



Si la distance focale de l'appareil de prise de vues est de 152 mm, et la hauteur de l'aéronef au-dessus du sol (AGL) est de 7 600 m, on obtiendrait, à l'aide de la même formule, une échelle de :

$$\frac{\text{Distance focale}}{\text{Hauteur (AGL)}} = \frac{152 \text{ mm}}{7\,600 \text{ m}} = \frac{152 \text{ mm}}{7\,600\,000 \text{ mm}} = \frac{1}{50\,000} \quad \text{ÉCHELLE : 1/50\,000}$$

Les échelles peuvent être exprimées de trois manières différentes :

- Unités équivalentes
- Fraction représentative
- Rapport

Le fait qu'un millimètre sur une photographie représente 25 mètres au sol peut être exprimé comme suit :

- Unités équivalentes : 1 mm = 25 m
- Fraction représentative ou rapport : 1/25 000
- Rapport : 1:25 000

Deux expressions sont couramment utilisées pour qualifier les échelles :

À **grande échelle** - Une photo à grande échelle (p. ex. 1/25 000) couvre une superficie plus petite avec plus de détails. Dire d'une photo qu'elle est à grande échelle signifie simplement que les entités au sol y sont représentées plus grandes et plus détaillées. La superficie représentée sur la photo est moindre qu'à des échelles plus petites.

À **petite échelle** - Une photo à petite échelle (p. ex. 1/50 000) qui couvre une superficie plus grande mais avec moins de détails. Dire d'une photo qu'elle est à petite échelle signifie simplement que les entités au sol y sont représentées plus petites et moins détaillées. La superficie représentée sur la photo est beaucoup plus grande qu'à des échelles plus grandes.

Repères de fond de chambre : petites marques de repérage exposées sur les bords d'une photographie. Les distances entre les repères sont mesurées de façon précise lorsqu'un appareil de prise de vues est étalonné, et les cartographes utilisent cette information lorsqu'ils réalisent une carte topographique.

4.2. Le film

Il existe plusieurs types de films photographiques à partir desquels il est possible de rehausser différentes caractéristiques d'un même terrain. Parmi les principaux films nous retrouvons :

- Le film noir et blanc panchromatique;
- Le film noir et blanc orthochromatique;
- Le film infrarouge noir et blanc;
- Le film couleurs réelles (ou couleur naturelles);

- Le film infrarouge couleurs.

Comme leur nom le laisse entendre, ces films sont sensibles à différentes régions du spectre électromagnétique.

Le film noir et blanc panchromatique est sensible à la région visible du spectre électromagnétique (de 0.36 à 0.72 μm) ce qui correspond approximativement à l'intervalle de sensibilité de l'œil humain (0.4 à 0.7 μm). Ce film est de loin le plus utilisé en photo- interprétation car il est plus économique que les films couleur. De plus, la restitution des couleurs réelles en ton de gris se fait de manière naturelle car la brillance des couleurs est conservée dans les tons de gris (*Manual of Remote Sensing.1975*) de sorte que la perte d'information est considérée comme minime.

Le film noir et blanc panchromatique est sensible à la région visible du spectre électromagnétique (de 0.36 à 0.72 μm) ce qui correspond approximativement à l'intervalle de sensibilité de l'œil humain (0.4 à 0.7 μm). Ce film est de loin le plus utilisé en photo- interprétation car il est plus économique que les films couleur. De plus, la restitution des couleurs réelles en ton de gris se fait de manière naturelle car la brillance des couleurs est conservée dans les tons de gris (*Manual of Remote Sensing.1975*) de sorte que la perte d'information est considérée comme minime.

Le film noir et blanc orthochromatique est sensible à une région étroite du spectre électromagnétique correspondant généralement à l'une des trois couleurs primaires (bleu, vert ou rouge) qu'il restituera en ton de gris. Par exemple si le film est sensible à la lumière verte, les objets verts apparaîtront plus brillants que les objets contenant peu de vert et un vert sombre apparaîtra plus foncé qu'un vert clair sur la photographie.

Le film infrarouge noir et blanc est généralement sensible à la région du visible et du proche infrarouge (0.36 à 0.9 μm) du spectre électromagnétique. Il faut un certain temps pour s'habituer à ce type de film car l'œil humain n'est pas sensible au proche infrarouge (0.7 à 0.9 μm). Les objets réfléchissant fortement les

longueurs d'ondes du proche infrarouge apparaîtrons dans des teintes brillantes (végétation en santé, surfaces minérales) alors que les surfaces ne les réfléchissant pas ou peu (béton) ou les absorbant fortement (eau) apparaîtrons dans des teintes sombres.

Le film infrarouge couleur est sensible au même intervalle spectral que le précédent sauf qu'il le restituera en couleurs. Tout ce qui réfléchit fortement le proche infrarouge apparaîtra en rouge vif alors que les surfaces absorbant totalement le proche infrarouge apparaîtront noires et celles le réfléchissant peu seront colorées en cyan.

La structure des films

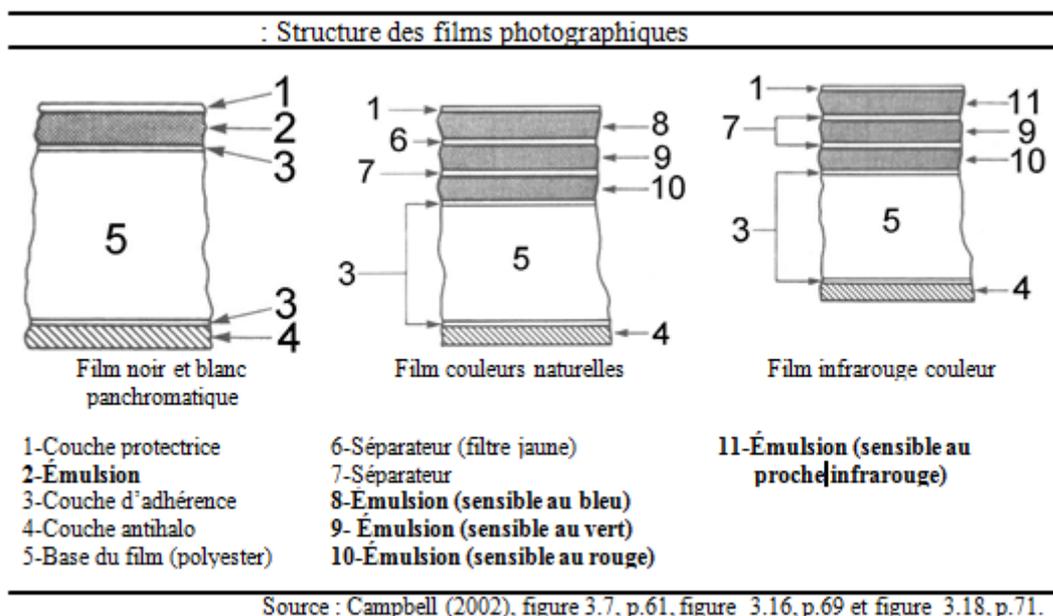
Le film noir et blanc panchromatique est le film le plus simple et il se compose de quelques couches superposées. Nous distinguons d'abord **l'émulsion** qui est la couche sensible à la lumière. Autrefois l'émulsion était composée d'une couche de cristaux de nitrates d'argent (argent métallique dissous dans l'acide nitrique). Ces cristaux ont la particularité de noircir au contact de la lumière et déposés sur une base de verre ou de métal ils ont constitué le premier prototype de photographie. Mais les nitrates d'argent présentaient trop d'inconvénients pour être utilisés commercialement (ils nécessitent un temps d'exposition trop long) et ils ont été remplacés depuis par d'autres composés chimiques. Les émulsions modernes sont très minces ($\approx 5\mu\text{m}$) et se composent d'halogénure d'argent (95% de bromure d'argent et 5% d'iode d'argent) en suspension dans une gélatine transparente et la taille des cristaux varie entre 0.1 et $1\mu\text{m}$.

Le dessus de l'émulsion est recouvert d'une **couche protectrice** qui protège l'émulsion des égratignures et sous l'émulsion nous avons une **couche d'adhérence** qui assure l'adhérence de l'émulsion à la base du film. La **base du film** offre un support à l'émulsion et se compose aujourd'hui d'une couche souple de polyester (~ 40 à $100\mu\text{m}$). La base sert également à protéger l'émulsion des étirements ou des rétrécissements, ce qui affecterait la qualité géométrique de la P.A. Après une autre couche d'adhérence, nous retrouvons

finalement sous la base une **couche antihalo** qui a pour fonction d'absorber la portion de la lumière qui parvient à traverser l'émulsion et la base, empêchant ainsi que cette lumière transmise soit réfléchi et ré-atteigne l'émulsion. Sans cette couche, les objets brillants de la P.A seraient entourés d'un halo.

Le **film couleurs réelles** possède la même structure que le film noir et blanc hormis la présence de trois émulsions sensibles à l'une des trois couleurs primaires additives. Le film infrarouge couleur possède aussi trois émulsions sauf que l'émulsion sensible au bleu est remplacée par une émulsion sensible au proche infrarouge. La figure 1.4 présente la structure de ces films.

Finalement, nous trouvons entre les émulsions des **couches séparatrices** ayant deux fonctions : Empêcher le mélange des émulsions et filtrer une région du rayonnement électromagnétique. Le séparateur situé entre l'émulsion sensible au bleu et celle sensible au vert est traité pour agir à la façon d'un filtre jaune pour empêcher la lumière bleue de contaminer les émulsions suivantes. Ce filtre est nécessaire puisqu'il est très difficile pour les manufacturiers de concevoir un filtre sensible à la lumière verte ou rouge sans qu'il ne le soit aussi à la lumière bleue (Campbell.2002).



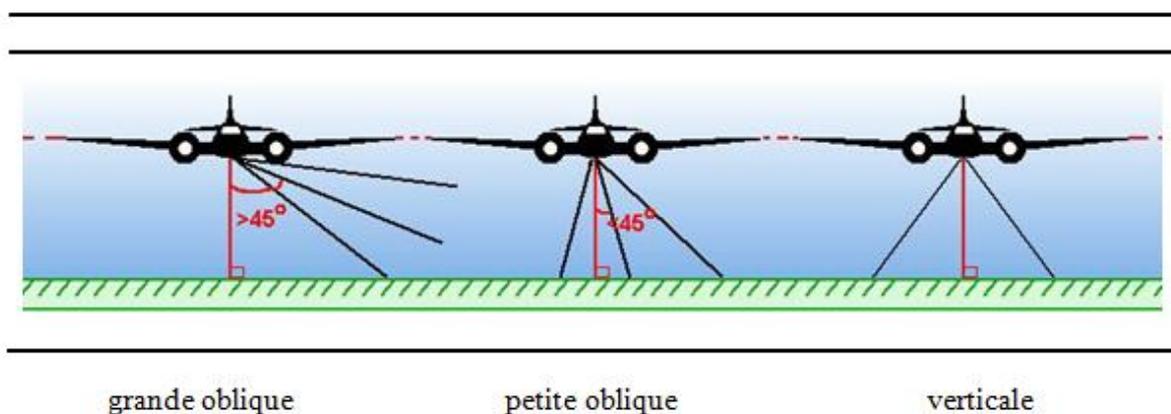
5. Les types de photographies aériennes et leur géométrie.

Il existe trois types de Photo Aérienne qui se distinguent essentiellement par l'angle séparant l'axe optique de la caméra et la verticale du plan formé par la ligne de vol de l'avion. On appelle **nadir** le point de contact au sol de cette ligne verticale.

« Il existe en photogrammétrie plusieurs définitions du nadir selon que l'on parle du nadir du cliché, du terrain, du nadir photographique ou encore du nadir de l'appareil de prise de vue, nous utilisons ici une définition non-savante du nadir ».

La photo aérienne **grande oblique** (ou haute oblique) se caractérise par un angle supérieur à 45° entre l'axe optique de la caméra et la ligne du nadir. Le nadir se situe en dehors de la zone photographiée sur la Photo Aérienne grande oblique mais l'horizon y est visible. La Photo Aérienne **petite oblique** (ou oblique base) se caractérise par un angle inférieur à 45° entre l'axe optique de la caméra et la ligne du nadir et ce dernier est généralement situé à l'intérieur de la zone photographiée. La **Photo Aérienne verticale** se caractérise par un axe optique qui se confond avec la ligne du nadir (0°). Mais en réalité à cause des mouvements de l'avion, aucune Photo Aérienne n'est réellement verticale. En pratique, un écart entre le nadir et l'axe optique d'au plus 5° est toléré et on considère alors la P.A oblique comme étant une Photo Aérienne verticale.

Figure 1 : Schéma simplifié des trois types de photographie aérienne.



Les Photos Aériennes obliques ont l'avantage de nous offrir une vue du terrain qui s'apparente à notre perception quotidienne de l'environnement qui nous entoure, il y est donc plus facile d'interpréter la scène photographiée. De plus,

pour des échelles comparables, ces photographies couvrent un plus grand territoire que les Photos Aériennes verticales. C'est à partir des années 20 que le territoire du Canada commença à être photographié systématiquement et les premières missions utilisèrent beaucoup les Photos Aériennes obliques pour des prises de vues en trimétrogon (deux photos obliques paronamiques 60° associées à une photo verticale) car ce système permet une cartographie rapide de reconnaissance. Les Photos Aériennes obliques ont eu leur heure de gloire durant la deuxième guerre mondiale (1939-1945), notamment dans la guerre du Pacifique, car il était plus efficace et moins dangereux de photographier les installations ennemies sans les survoler directement.

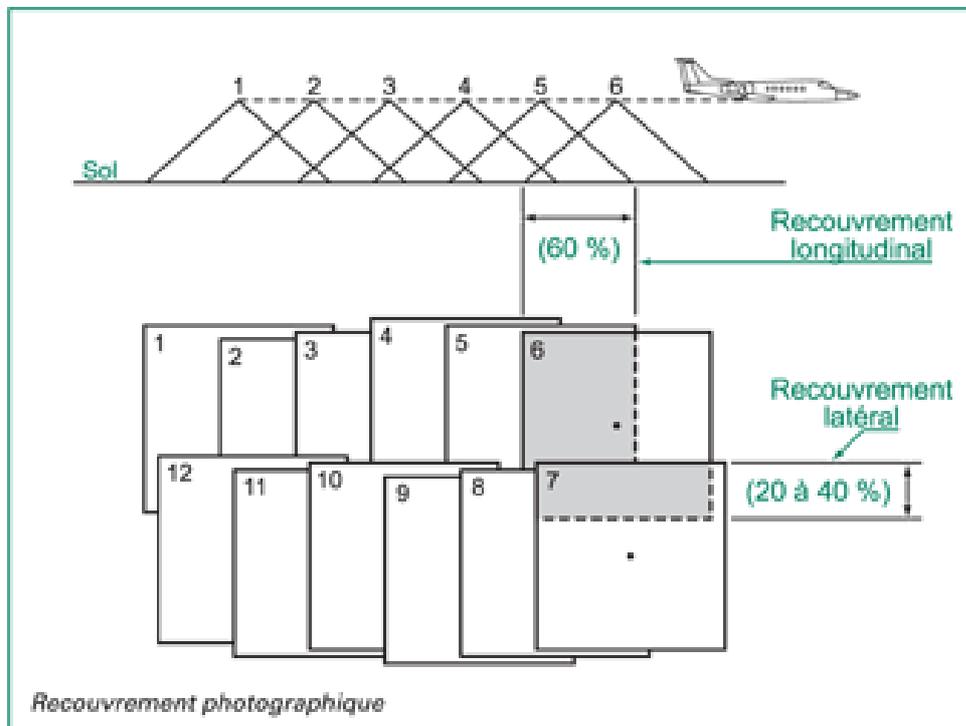
L'échelle est cependant le grand désavantage des Photos Aériennes obliques car elle présente des variations drastiques de l'avant plan vers l'arrière-plan, c'est à dire que des distances égales sur le terrain seront représentées par des différentes distances sur la Photo Aérienne. La géométrie de ce type de photographie est également plus complexe que celle des P.A verticales, ce qui limite de beaucoup l'utilisation des Photo Aérienne obliques en photogrammétrie et en cartographie, du moins rend cette utilisation beaucoup plus ardue. La figure 1.10b schématise la géométrie des Photos Aériennes obliques, nous trouverons aussi un exemple de photo aérienne oblique.

La Photo Aérienne verticale nous offre une vue du terrain qui nous est moins familière (et à laquelle il faudra s'habituer), mais elle est de loin la plus utilisée car elle présente moins de distorsions géométriques ce qui résulte en une échelle beaucoup plus constante pour toute la zone couverte par la Photo Aérienne.

La position des objets sur une Photo Aérienne est représentée par un système de coordonnées cartésiennes établi à partir des marques fiduciaires situées sur chaque côté de l'image. L'axe x est arbitrairement assigné à l'axe fiduciaire qui coïncide le plus avec la ligne de vol (direction de l'avion), les coordonnées x sont positives du centre de la Photo Aérienne vers suivant la direction de l'avion et négative dans le cas contraire. L'axe y sera perpendiculaire à l'axe x et les coordonnées positives pour la portion de l'axe y située à 90° dans le sens anti-

horaire et négative dans le cas contraire. Les marques fiduciaires servent également à identifier la position précise du point principal (O) qui, si l'avion est parfaitement horizontal par rapport au sol, correspond également au nadir.

Recouvrement : proportion de la superficie couverte par une photographie qui se retrouve sur une deuxième photographie; on l'exprime généralement en pourcentage. On conçoit la trajectoire de vol de façon à assurer un recouvrement longitudinal d'environ 60 % (photos dans l'axe de la ligne de vol) et un recouvrement latéral entre 20 à 40 % (photos de lignes de vol parallèles).



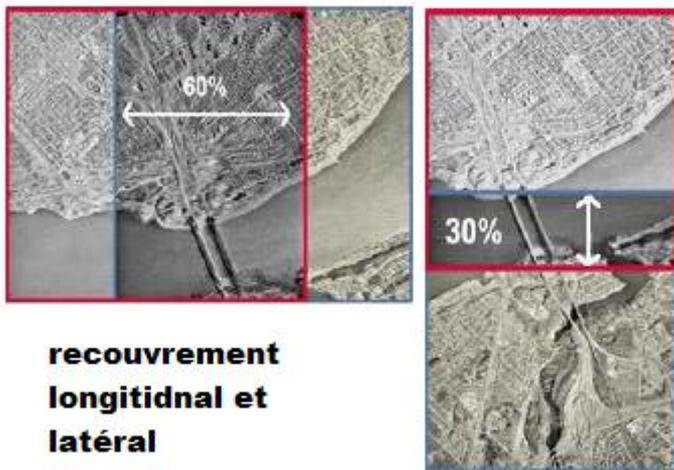
6. Couverture stéréoscopique Vision stéréoscopique

La vue tridimensionnelle qu'on obtient lorsqu'on visualise deux photos chevauchantes (appelée couple stéréoscopique) à l'aide d'un stéréoscope. Chaque photo du couple stéréoscopique offre une vue légèrement différente de la même région, que le cerveau combine et interprète comme une image en 3-D.

Afin d'obtenir une vision en trois dimensions du territoire couvert, une partie du sol représentée sur une photographie doit également être présente sur la suivante. C'est ce

qu'on appelle le recouvrement. Lorsque l'avion se déplace, la zone photographiée qui est commune sur les deux photographies aériennes fournit une vue du territoire prise sous deux angles différents. En regardant cette partie à l'aide d'un stéréoscope, il est possible d'obtenir un aperçu du relief puisqu'il apparaît en trois dimensions.

- **Recouvrement longitudinal de 60 % pour la vue stéréoscopique;**
- **Recouvrement latéral de 30 % pour assurer une couverture complète du territoire**



-