



Université Ziane Achour- Djelfa
Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie
Département des Sciences Agronomiques et Vétérinaires



PHOTOGRAPHIES AERIENNES

**Note de cours
&
Travaux pratiques**

H. MOUISSA

Mai 2017

Liste des tableaux

P

Tableau 01 : Classification des échelles en fonction de la catégorie de documents en cartographie et télédétection. 5

Tableau 02 : Classification des échelles en fonction des disciplines. 5

Tableau 3 : Identification des objets selon l'échelle des gris (Panchromatique). 10

Tableau 4 : Quelques correspondances en photographie aérienne. 12

Liste des Figures

	P
Figure 01 : Photographie aérienne Verticale.	6
Figure 02 : Exemple de photographie aérienne verticale.	6
Figure 03 : Exemples de la qualité des photographies des premières couvertures aériennes verticales Canadiennes	7
Figure 04 : Photographie aérienne oblique panoramique.	8
Figure 05 : Photographie aérienne oblique basse $i > 3^\circ$	8
Figure 06 : Première photographie aérienne oblique prise d'avion au Canada en 1922 (région de Pelican Narrows en Saskatchewan)	8
Figure 07 : Schéma récapitulatif de différentes émulsions.	12
Figure 08 : Principaux éléments constituant les appareils de prise de vue.	15
Figure 09 : Diverses chambres de prise de vue.	16
Figure10 : Mission de prise de vues.	17
Figure 11 : Organisation et recouvrement des photographies aériennes.	18
Figure 12 : Renseignements marginaux figurant autour d'une photographie aérienne.	19
Figure 13 : Roulis, tangage et lacet : modifications du champ couvert par les photographies aériennes (Girard et Girard, 1989).	20
Figure 14 : Exemples de parallaxe résiduelle en y provoquée par la mauvaise orientation d'une photographie aérienne (B), par la différence de hauteur de prise de vues (C) et par l'effet de roulis de l'avion (D).	21
Figure 15 : Vision du relief à partir de deux photographies aériennes.	22
Figure 16 : Stéréoscope de poche "peak" (2x).	23
Figure 17 : Mise en couple stéréoscopique sous stéréoscope à miroirs.	23
Partie TP	
Figure 18 : Caractéristiques marginales d'une photo aérienne.	27
Figure 19 : Démarche psychologique itérative d'identification d'un objet perçu.	30
Figure 20 : Prise de vue verticale.	33
Figure 21 : Exemple de mesure indirecte de l'échelle d'une photographie aérienne verticale à l'aide d'une carte topographique à échelle connue.	35
Figure 22 : Mesure d'une distance verticale (hauteur d'objet).	36

SOMMAIRE

	P
Liste des tableaux	i
Liste des figures	ii
SOMMAIRE	iii
Objectifs du cours	1
1. Eléments d'histoire de la photographie aérienne	2
2. Définition	4
3. DIFFERENTS TYPES DE PHOTOGRAPHIES AERIENNES	4
3.1. SELON LE FORMAT ET LES ECHELLES	4
3.2. SELON L'ANGLE DE PRISE DE VUE OU AXE DE LA PHOTOGRAPHIE	5
a. Photographie aérienne verticale	5
b. Photographie aérienne oblique	6
3.3. SELON LES EMULSIONS	7
a. L'émulsion panchromatique noir et blanc (Black & White)	7
b. l'émulsion Infra Rouge « noir et blanc »	10
c. L'émulsion couleurs naturelles	11
d. L'émulsion en fausses couleurs ou Infra Rouge	11
4. PRISE DE VUES	13
4.1. Les capteurs photographiques	13
4.2 Les chambres métriques	14
5. ORGANISATION ET RECOUVREMENT DES PHOTOGRAPHIES AERIENNES	16
6. VISION STEREOSCOPIQUE	22
a. Les stéréoscopes	23
b. Mise en place d'un couple stéréoscopique	24
Partie Travaux pratiques	25
TP1 : caractéristiques des photographies aériennes	26
TP2 : Photo-interprétations	28
TP3 : Mesures sur photographie aérienne	33
Références bibliographiques	37
Annexe 1 : Faits marquants reliés au développement de la photo-interprétation	38
Annexe 2 : Caractéristiques des principaux capteurs optiques utilisés en télédétection. Ordre par intervalle d'échantillonnage croissant.	49

Objectifs du cours

Ce polycopié « Photographies aériennes, Notes de cours et des travaux pratiques » est destiné aux étudiants de la troisième année licence de la spécialité « SOL & EAU ». Ce cours, est programmé durant le cinquième semestre (S5) avec un volume horaire total de 45 h à raison d'un cours et un TP d'une heure et demi (1 h 30 min). En plus cette charge hebdomadaire, un volume horaire total de 45 h (Autres) est consacré pour cette matière comme un travail personnel.

L'objectif de ce cours est d'offrir aux étudiants une plate forme théorique et pratique sur la technique *photo aérienne*, les champs de son d'application et les principes généraux de la photo-interprétation. Ceci permettra aux étudiants de cette spécialité d'obtenir des notions de base très utiles dans leur progression scientifique (Master et Doctorat). Dans ce cours des sections consacrées aux : Eléments historiques, définitions, les types de photos aériennes, les prise de vue (capteurs vs chambres métriques), Organisation et recouvrement des photos aériennes, la vision stéréoscopique.

Dans la partie TP, nous avons proposé trois TP à savoir : TP1 pour familiariser les étudiants aux photographies aériennes et l'étude de leurs caractéristiques, Le TP2 est consacré à la photo-interprétation et enfin le but du TP3 est l'extraction des informations qualitatives et quantitatives sur l'espace photographié.

1. Eléments d'histoire de la photographie aérienne

Les photographies aériennes constituent le système de télédétection le plus simple et plus ancien utilisé pour observer la surface de la terre.

L'objectif de cette section est de retracer les principales étapes du développement de la photographie aérienne. Plusieurs éléments historiques identifiés depuis le début du XIX^e siècle à partir d'une nombreuse documentation, dont Colwell (1984), Girard et Girard (1989), Cahen (1990), Bonn et Rochon (1992), Campbell (1996) , Provencher et Dubois (2007). Cet historique ne peut se faire sans aborder, tour à tour ou concurremment, l'évolution de la photographie, de l'aviation et de la photogrammétrie, des SIG, de la télédétection satellitaire et de la géomatique (Provencher et Dubois, 2007)

Parmi ces éléments historiques on peut citer ceux représentés par Girard et Girard (1989) :

- L'âge du bronze ; on a trouvé les premières interprétations au Mont Bego et au Val Camonica dans les Alpes. Les bergers de cette époque ont gravé dans la pierre le paysage qu'ils surplombaient " maîtrisaient" : la vallée avec ces champs, les enclos (plantés ou non), les bestiaux et les habitations.
- 4000 avant J-C, Au Moyen- Orient un plan côté de la ville de Telloh "relevés cadastraux".
- En 1812, Nicéphore Niepce invente un procédé pour obtenir des négatifs et des positifs.
- En 1839, Louis Daguerre fait appel à lui pour fixer les épreuves positives directes de la chambre noire: le " Daguerréotype" qui ne peut pas être tiré en plusieurs exemplaires.
- En 1840, François Araga , directeur de l'observatoire de paris, intervient pour l'utilisation de photographie dans la reconnaissance topographique.
- En 1858, William H.F Talbot fait breveter un système donnant un négatif, permettant de tirer plusieurs positifs.
- En 1858, le premier cliché aérien est réalisé à partir d'un ballon, à 80 m de hauteur au-dessus du petit- clamart, par Félix Tournachon dit Nadar, qui dépose une demande de brevet d'invention "pour un nouveau système de photographie aérostatique".
- Le 13 Octobre 1860, Jams Wallac Black et Samuel A. king prennent une photographie en ballon à 365 m au dessus de boston, qui est la plus ancienne photographie aérienne existant à ce jour.
- En 1862, le colonel François A. Laussedat dresse les plans des fortifications de paris à partir de levers photo-topographiques terrestres et aériens.
- Entre 1861 et 1865, durant la guerre de sécession en Amérique, des photographies sont prises à partir de ballons.
- En 1876 apparaît le terme photogrammétrie.

- Après 1878, où les plaques de collodion sont remplacées par les émulsions au gélatino-bromure d'argent, les prises aériennes se font très nombreuses. Les plus anciennes vues aériennes de Paris sont prises par Tallandier et Ducom le 19 juin 1885, au cours d'une ascension en ballon libre.
- Vers 1882, la première photographie aérienne prise par avion, est due à E. D. Archibald, un météorologiste Anglais.
- En 1886, en Amérique du Nord, les photographies aériennes sont utilisées pour la cartographie topographique.
- En 1890, à Paris A. Batut publie un ouvrage faisant le point sur la photographie aérienne.
- Entre 1854 et 1898, les frères Vallot cartographient le massif du Mont Blanc à partir de photographies aériennes.
- En 1897, Scheimpflug réalise des couvertures aériennes par dirigeable se déplaçant selon des trajectoires parallèles, à la même altitude. Les vues prises à intervalle régulier se recouvrent de plus de la moitié, et deux bandes voisines se recouvraient partiellement sur leur bords.
- De 1898 à 1908 le russe Thiele réalise, en Transcaucasie, l'exploitation des photographies aériennes à des fins topographiques.
- Le 28 mai 1906, G. R. Lawrence photographie San Francisco, peu de temps après le tremblement de terre et le grand feu, avec une caméra panoramique.
- Le premier photoplan date de 1908, il fut réalisé par l'italien Tardivo pour des recherches archéologiques.
- Le 24 avril 1909, les frères Wright prennent la première photographie en mouvement à partir d'un planeur, à Centocelli "Italie".
- Durant la guerre de 1914 – 1918, la technique des photographies aériennes se développe ; elle est ralentie après les hostilités puis reprend avec la mise au point d'appareils et de méthodes de photogrammétrie permettant le lever de cartes couvrant de grandes étendues.
- De 1919 à 1923, pour remembrement de 1 500 communes, on effectue un lever aérien.
- A partir de 1937, un programme de couverture aérienne débute à *L'United State Department of Agriculture aux Etats-Unis*.
- C'est en 1942 que Kodak crée l'émulsion infrarouge noir et blanc, puis l'émulsion couleur. Il faut attendre plus de quinze ans pour qu'apparaisse l'émulsion fausse couleur, maintenant appelée : Infrarouge couleur I.R.C.

D'autres éléments historiques plus récents (jusqu'au 2006) liés au développement des photos aériennes sont représentés dans l'annexe 1

2. Définition

Les photographies aériennes, sont des prises de vues de portions de surfaces de la terre faites à différentes altitudes à partir de ballons d'avions ou de satellites. Elles reproduisent toutes d'une manière fidèle et complète la surface du sol à un moment donné (Chevallier, 1971).

Ce sont des documents aux nombreux avantages :

- ❖ Très récents et donc très utiles dans des domaines d'étude très variés : Géologie, Géomorphologie, Météorologie, Hydrologie, Biogéographie, Agronomie, Géographie, Archéologie, Urbanisme, Génie civil, Aménagement du territoire, Cartographie, Foresterie...etc. ;
- ❖ Par rapport à une carte, elles fournissent une vision verticale stéréoscopique d'une zone, une vision amplifiée (exploitation dans l'infra-rouge, hors du spectre visible) ;
- ❖ Ils peuvent être très nombreux pour une même zone : plusieurs couvertures aériennes, échelonnées dans le temps, d'où possibilités de comparaisons dans le temps et à des échelles variées (Cahen, 1990)

3. LES DIFFERENTS TYPES DE PHOTOGRAPHIES AERIENNES

Les photographies aériennes peuvent être classées en fonction de divers centre d'intérêt.

3.1. SELON LE FORMAT ET LES ECHELLES

❖ Le format :

Il existe plusieurs formats 13 X 13 cm, 13 X 18 cm, 18 X 18 cm, 23 X 23 cm, ce dernier le plus généralisé (Gagnon, 1974).

❖ Les Echelles :

L'échelle d'une photographie aérienne est le rapport d'une distance mesurée sur la photographie à la distance correspondante mesurée sur le terrain.

Rappelons que la petite échelle correspond à une surface de grand étendue (pays, continent) et que la grande échelle correspond à une surface restreinte (localité).

Le choix d'une échelle (Tableau 01) est en fonction de la finesse des détails du phénomène étudié et de la précision requise pour le document final car la taille des objets identifiables sur les photographies dépend de l'échelle de ces photographies aériennes (Gagnon, 1974 ; Sabins, 1987). Aussi les échelles des photographies varient selon les disciplines d'études (Tableau 02).

Tableau 01 : Classification des échelles en fonction de la catégorie des documents en cartographie et télédétection (Sabins, 1987).

Classe d'échelles	Catégorie de documents				Classe d'échelles
	Imagerie	Carte	Photographie aérienne	Plan	
Très grande	1:100	1:100	1:100	1:100	Grande
	1:200	1:200	1:200	1:200	
	1:500	1:500	1:500	1:500	
	1:1 000	1:1 000	1:1 000	1:1 000	
	1:2 000	1:2 000	1:2 000	1:2 000	Moyenne
	1:5 000	1:5 000	1:5 000	1:5 000	
Grande	1:10 000	1:10 000	1:10 000	1:10 000	Petite
	1:15 000	1:15 000	1:15 000	1:15 000	
	1:20 000	1:20 000	1:20 000	1:20 000	
	1:30 000	1:30 000	1:30 000	1:30 000	
	1:40 000	1:40 000	1:40 000	1:40 000	
	1:50 000	1:50 000	1:50 000		
	1:60 000	1:60 000	1:60 000		
Moyenne	1:100 000	1:100 000	1:100 000		
	1:250 000	1:250 000			
	1:500 000	1:500 000			
Petite	1:1 000 000	1:1 000 000			
	1:2 500 000				

Tableau 02 : Classification des échelles en fonction des disciplines (Girard et Girard, 1989).

Echelle	Disciplines
Du 1/500 ^e au 1/5.000 ^e	Urbanisme
Du 1/5.000 ^e au 1/25.000 ^e	Biogéographie – études humaines
Du 1/15.000 ^e au 1/40.000 ^e	Géomorphologie
Du 1/25.000 ^e au 1/100.000 ^e	Géologie
Echelles très petites	Structurologie continentale et
Du 1/1.000.000 ^e au 1/5.000.000 ^e	Météorologie

3.2. SELON L'ANGLE DE PRISE DE VUE OU AXE DE LA PHOTOGRAPHIE

a. La photographie aérienne verticale

La photographie aérienne est dite *verticale* (figure 01) lorsque l'axe optique de la chambre de prise de vue est *confondu* avec la *verticale* du lieu: L'axe optique ON de la photo aérienne est perpendiculaire par rapport au sol (Caloz et Collet, 2001). (Voir figure 2 et 3, exemple de photographie aérienne verticale)

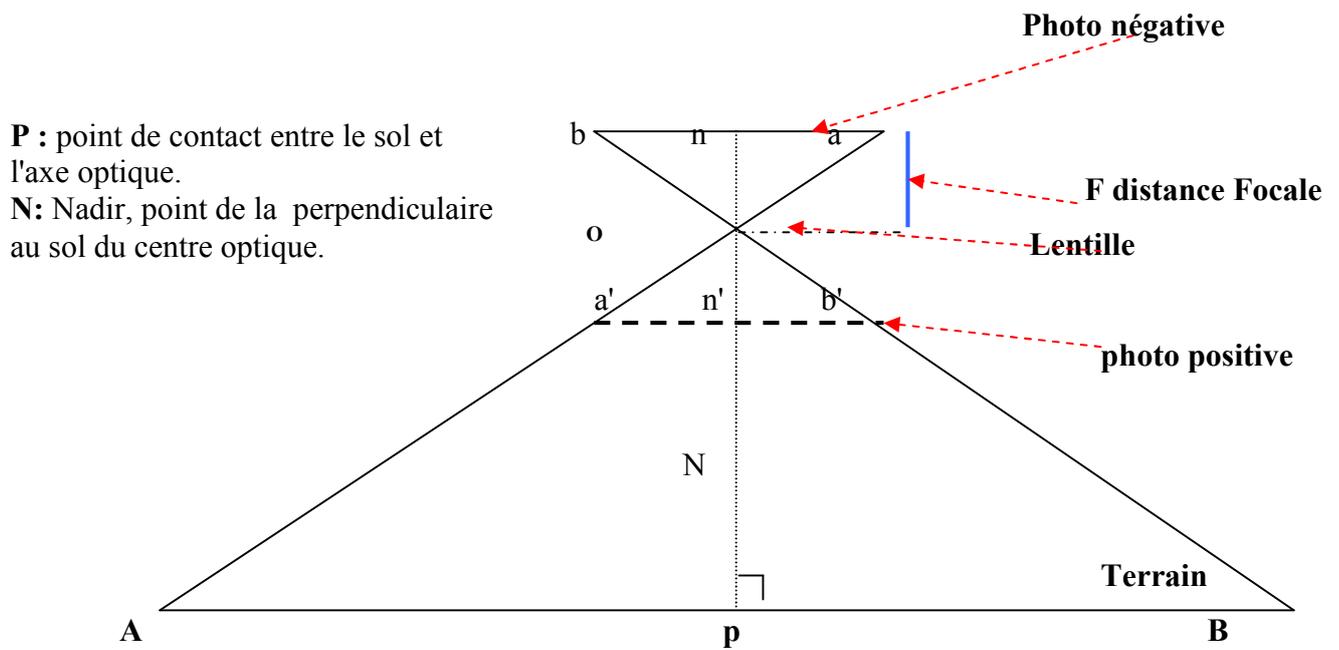


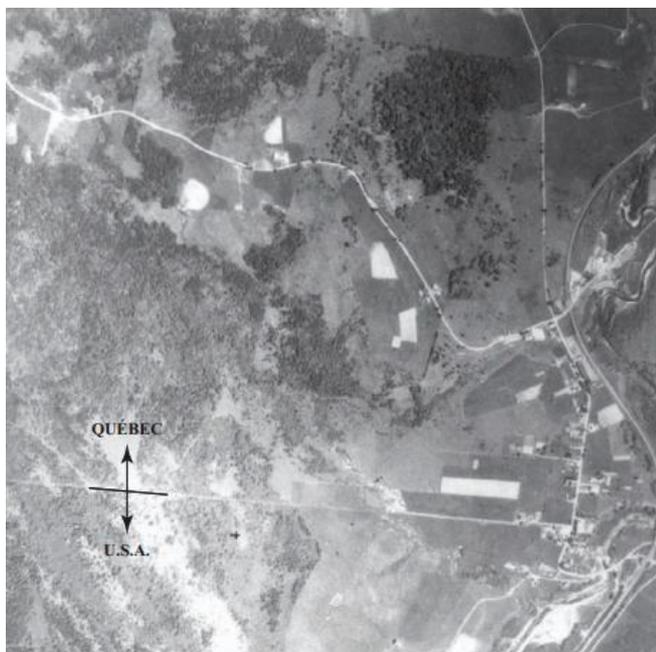
Figure 01 : Photographie aérienne verticale.



Source : (Provencher et Dubois, 2007)

Figure 02 : Exemple de photographie aérienne verticale.

Première photographie aérienne verticale prise au Canada en août 1883, à l'aide d'un appareil photographique suspendu à un ballon captif, d'une hauteur de 1450 pieds (442 m) (baraquements militaires de la citadelle de Halifax en Nouvelle-Écosse)



Source : (Provencher et Dubois, 2007)

Figure 03 : Exemples de la qualité des photographies des premières couvertures aériennes verticales Canadiennes.

Les relations existantes entre le sol et la photographie sont toutes homothétiques. Il en résulte que les angles et les dimensions relatives sont conservés : un carré tracé au sol apparaît comme un carré sur la photographie. Une photographie est considérée comme verticale Si l'angle d'inclinaison de l'axe optique n'excède pas 3° (5 grades). C'est le type de photographie le plus couramment utilisé car le plus intéressant pour la cartographie et l'interprétation. La photographie aérienne verticale permet une lecture facile des détails et de leur mesure (distance, dimension, hauteur.....). Elle permet aussi une bonne appréciation du relief par la vision stéréoscopique (Provencher et Dubois, 2007).

b. La photographie aérienne oblique

Dans ce type de photographie aérienne (voir figure 04 et 05), l'axe optique de prise de vue n'est plus rigoureusement vertical : il fait un angle i supérieur à 3° avec la verticale ON. Il y a deux types de photographies aériennes obliques :

- La photographie aérienne oblique basse: la ligne de l'horizon n'apparaît pas.
- La photographie aérienne oblique haute ou panoramique: la ligne de l'horizon apparaît.

Les prises de vues obliques présentent souvent l'avantage d'une grande variété dans les points de vue et les angles d'observation; de ce fait, elles sont surtout utilisées pour des études particulières : Archéologieetc. (voir exemple de photographie oblique figure 06).

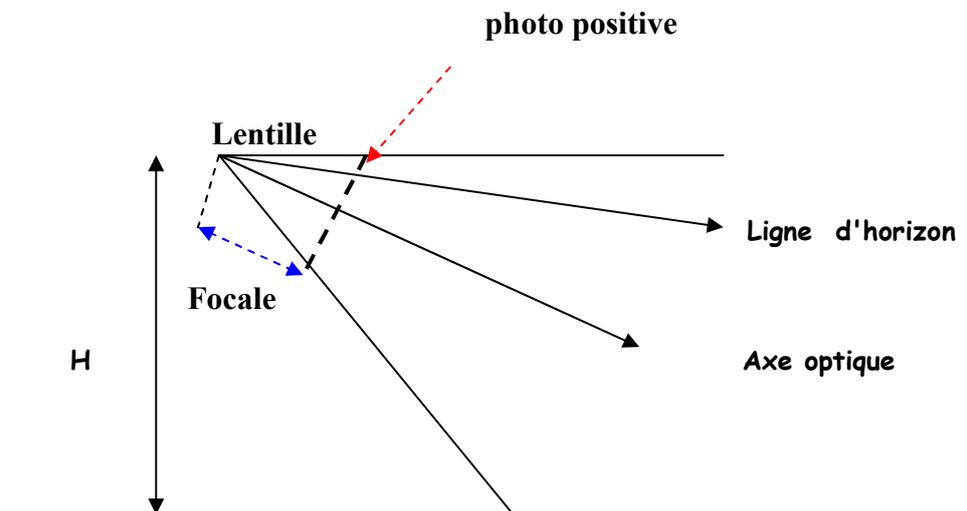


Figure 04 : Photographie aérienne oblique panoramique.

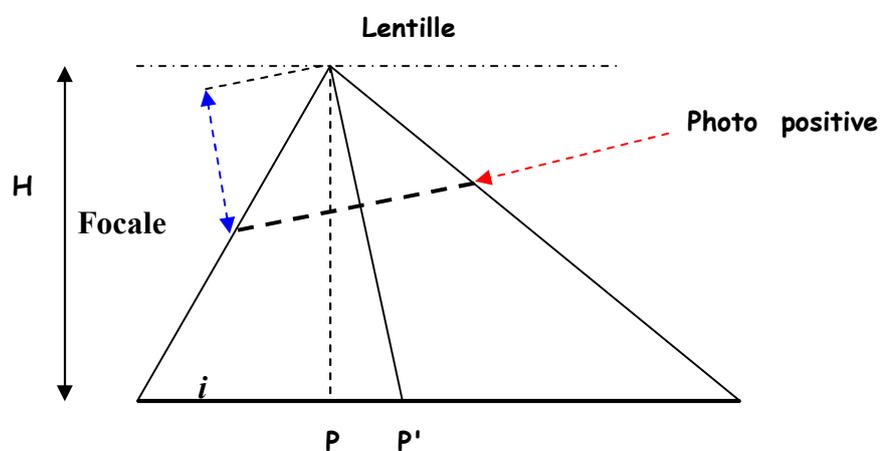


Figure 05 : Photographie aérienne oblique basse $i > 3^\circ$.



Source : (Provencher et Dubois, 2007)

Figure 06 : Première photographie aérienne oblique prise d'avion au Canada en 1922 (région de Pelican Narrows en Saskatchewan).

3.3. SELON LES EMULSIONS

Les photographies aériennes sont obtenues à partir de pellicules dont les émulsions ont des caractéristiques diverses. Les émulsions sont des surfaces sensibles qui réagissent chimiquement à certaines radiations du spectre électromagnétique, plus particulièrement aux radiations de la bande spectrale allant de 400 à 900 nanomètres (soit le domaine du visible et de l'infra-rouge proche) (Bérard, 1977).

Les différentes émulsions utilisées en photographie aérienne sont :

a. L'émulsion panchromatique noir et blanc (Black & White)

C'est la plus courante en photographie aérienne et la plus sensible ; la courbe de sensibilité spectrale correspondant pratiquement à celle de l'œil humain. La réponse est équilibrée (Max) dans le domaine du visible 550 nm d'une part et d'autre part compris entre 400 et 700 nm (Carré, 1971). (nm: nanomètre, mesure des longueurs d'ondes ,millionième partie du millimètre ou millimicrons).

Cette émulsion traduit les différences de réflectance des objets situés à la surface de la terre par des *teintes* allant du *Blanc* pour les objets qui réfléchissent beaucoup la lumière solaire, au *Noir* pour les objets l'absorbant entièrement. Les autres objets sont traduits par une gamme variété de gris selon leur degré de réflectance de la lumière solaire (Tableau 03).

L'émulsion panchromatique est utilisée dans les travaux d'interprétation thématique et de restitution photogrammétrique. De lecture facile, elle permet aux photos interpréteurs de se créer une mémoire visuelle très étendue. Elle a de surcroît un bon pouvoir de résolution et se conserve sans conditions spéciales (Bérard, 1977).

Fabriquée par la plupart des marques de pellicules photographiques, elle est la moins coûteuse et donc la plus répandue.

Tableau 03 : Identification des objets selon l'échelle des gris (Panchromatique) Source :
(Sine, 1970)

IDENTIFICATION SELON L'ECHELLE DES GRIS		
Emulsion Panchromatique		
0	Blanc.....	Soleil réfléchi par l'eau
1	Blanc.....	Neige fraîche Nuage
2	Gris très clair.....	Neige Sable blanc
3	Sable jaune Calcaire Craie
4	Gris clair.....	Sols divers avec végétation Sable ocré jaune Sable foncé ocré jaune Arbre (châtaigniers)
5	Gris clair.....
6	Gris moyen.....	Calcaire marneux
7	Gris moyen.....	Herbe claire Arbres clairs (Hêtres) Marnes Granit
8	Gris foncé.....	Herbe foncée Arbres foncés (Chênes)
9	Gris foncé.....	Arbres foncés (Pins) Argile rouge
10	Gris très foncé...	Eau profonde Ombre très dense Basalte
11	Eau très profonde Asphalte
12	NoirAbsorption Totale

b. l'émulsion Infra Rouge « noir et blanc »

Elle est d'utilisation récente et possède une sensibilité s'étendant au domaine du proche Infra Rouge, *bande spectrale comprise entre 750 et 900 nm* avec un *maximum de sensibilité à 800 nm* en fait, elle couvre une grande partie du rayonnement depuis l'Ultra Violet jusqu'à l'Infra Rouge, *mais on interpose un filtre vers 750 nm pour supprimer l'Ultra Violet et le Visible*. L'analyse de la réflectance spectrale des objets a montré que la plupart possédait leur maximum de réflectance aux environs de 800 nm (Bérard, 1977).

L'émulsion Infra Rouge N et B, au maximum de sa sensibilité dans cette bande, offre donc un apport complémentaire d'information à l'émulsion panchromatique (Carré, 1971).

Elle est souvent utilisée dans l'étude de l'eau (l'eau a un pouvoir absorbant dans l'Infra Rouge) et dans l'étude de la végétation (les végétaux présentent une variation de réflectance selon leurs espèces et leur état sanitaire) : possibilités d'études de différenciation des espèces végétales, de phytopathologie, d'hydrologie, d'hydrogéologie, d'humidité du sol, des foyers de pollutionsetc. Mais cette émulsion est difficile à conserver surtout en pays chauds et humides (Bérard, 1977).

c. L'émulsion couleurs naturelles

Elle enregistre la même bande spectrale que l'émulsion panchromatique, donc le visible, mais les signatures spectrales sont traduites par des couleurs au lieu de grisés. Utilisée avec une photographie panchromatique, elle fournit plus de renseignements aux photos interpréteurs (Bérard, 1977).

Mais ses inconvénients sont nombreux :

- L'altitude de vol doit être faible pour éviter le voile du à l'atmosphère et il faut que celui-ci soit très transparent ;
- Son coût reste très élevé et elle est donc peu courante en Algérie.

d. L'émulsion en fausses couleurs ou Infra Rouge

Elle donne une réponse colorée dans les bandes moyennes et supérieures du spectre visible et le début de l'Infra Rouge proche, c'est à dire entre 500 et 900 nm comme les émulsions Infra Rouge N et B (Bariou et Lecamus, 1978). Longtemps utilisée uniquement par les militaires, son usage est actuellement plus généralisé car elle présente un grand intérêt : elle allie sur un même support les qualités de l'émulsion couleur à celle de l'émulsion Infra Rouge N et B.

On l'appelle «Fausses couleurs» car les rendus colorés ne correspondent pas du tout aux couleurs naturelles. Le spectre visible est rendu sur deux couches sensibles: jaune et le magenta (Rouge) et on enregistre sur la couche cyan (Bleu) la partie Infra Rouge du spectre (Carré, 1971).

Au titre final, le résultat est une série de couleurs complètement différentes de la réalité mais dont les valeurs synthétisent les résultats à la fois des radiations du visible et d'Infra Rouge. Elle est particulièrement intéressante en hydrologie, en pédologie et en botanique (Tableau 04).

Tableau 04 : Quelques correspondances en photographie aérienne (Sine, 1970)

Sujet	Fausses Couleurs
Arbres « feuillus » au feuillage vert (arbre sain)	Rouge
Feuillus au feuillage malade	Verdâtre, bleuâtre
Feuillus au feuillage très malade	Jaune
Conifères	Violet foncé
Calcaire	Gris brun
Fond Kaki	Rouge orangé
Vêtements noirs	Rouge foncé
Teinte Verte	Magenta

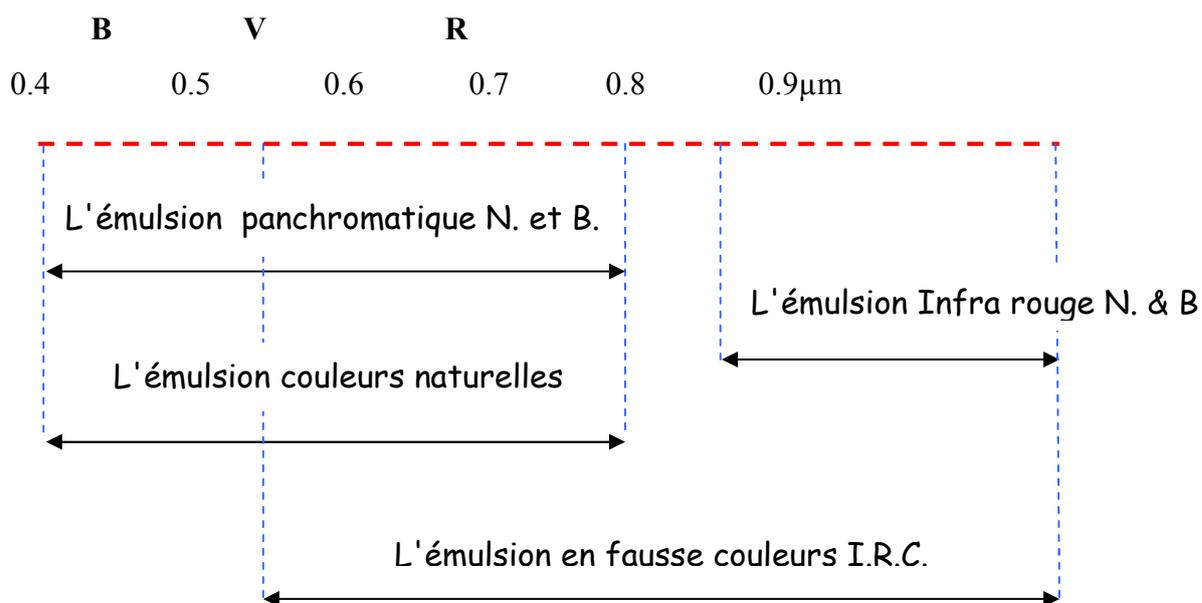


Figure 07 : Schéma récapitulatif de différentes émulsions. (Schéma réalisé par nous même)

4. LA PRISE DE VUES

La prise de vues des photographies aériennes qui s'effectue au cours d'un vol dénommé mission, est fonction de trois ensembles:

- Facteurs ayant trait au document désiré:
La focale de l'objectif du capteur, le format, le recouvrement, l'échelle;
- Facteurs de la région étudiée:
Champs à survoler, altitude maximale;
- Facteurs ayant trait au vecteur:
Vitesse de l'avion, stabilité en vol, etc.

Une bonne photographie aérienne doit répondre à trois exigences. **Premièrement**, elle doit fournir le maximum d'informations, ce qui nécessite de choisir l'optique de la caméra utilisée, la combinaison film – filtre, les conductions de prise de vues. **Deuxièmement**, l'ensemble des photographies doit recouvrir toute la région étudiée. **Troisièmement**, elle doit autoriser des mesures précises de longueur, de surface, ce qui nécessite des chambres de prise de vues métriques et une analyse géométrique précise de l'ensemble capteur –vecteur (Bonn et Rochon, 1992).

4.1. Les capteurs photographiques

Il est possible de prendre des photographies aériennes avec un appareil photographique d'amateur lorsqu'on est en avion. On s'aperçoit rapidement que ces photographies ne sont pas d'une qualité excellente pour plusieurs raisons. Sur l'annexe 2, ont été compilées les caractéristiques des principaux capteurs utilisés en télédétection. L'ordre de présentation des capteurs est fonction de l'intervalle d'échantillonnage (résolution spatiale), qui va du plus petit au plus grand. Un premier groupe de capteurs comprend les appareils photographiques et vidéographiques (caméscopes), habituellement aéroportés. Dans le cas des appareils photographiques à pellicule, c'est la granulation de la pellicule photographique et la distance entre l'appareil photographique et la surface photographiée qui commandent la finesse de la définition (résolution spatiale) (Provencher et Dubois, 2007).

Le plus souvent, pour une émulsion couleur, elles apparaissent avec des couleurs très bleutées; il faut donc mettre un filtre jaune pour éviter ce voile qui est dû aux perturbations atmosphériques. Ensuite, on peut avoir des reflets de la vitre du hublot; il faut choisir un meilleur angle pour éviter ce reflet, ou bien insérer directement l'appareil dans la paroi de la carlingue. La photographie n'est pas verticale; il faut soit faire tourner l'avion pour que l'appareil photographique soit à la verticale quand le prend à la main -ce qui est acrobatique-, soit mettre l'appareil photographique en position verticale, sous l'aile de l'avion (Bonn et Rochon, 1992).

4.2. Les chambres métriques

Des caméras spéciales ont été construites pour les prises de vues de photographies aériennes verticales : *les chambres métriques*. Il s'agit de caméras pour lesquelles toutes déformations géométriques ou chromatiques sont connues et mesurées. Ce sont elles qu'on emploie pour les prises de vues systématiques de photographies qui seront ensuite exploitées pour restituer le relief. On associe à ces caméras métriques un télescope de navigation afin de vérifier, dans l'avion, par le navigateur, l'emplacement de la trace de l'avion. On y adjoint actuellement un G.P.S (en anglais Global Positioning System). Toutes les informations sur l'avion, sa vitesse, sa position, etc. sont saisies dans une unité de contrôle électronique. Ces caméras se caractérisent par des formats de film qui vont de 35 mm (photographie en 24 X 36 mm) à 70 mm (photographie en 55 X 55 mm) et pour les chambres métriques 240 mm (photographie en 230 X 230 mm) (figure 08 et 09) (Provencher et Dubois, 2007).

Il faut alors assurer une parfaite planéité du film sur le support pour ne pas avoir de distorsions dans les mesures qui seront effectuées ultérieurement sur la photographie, la planéité est assurée par une dépression exercée sur le plan focal percé de nombreux petits trous. Ces appareils sont équipés d'un déclencheur automatique qui doit être réglé en fonction du plan de vol: altitude, recouvrement, altitude de l'avion et vitesse de l'avion. Les magasins de film doivent contenir des films très longs, par exemple 120 m (soit 500 clichés) pour ne pas avoir à en changer sans arrêt. Un système automatique d'avancement du film doit être réglé en fonction de la vitesse de l'avion, ainsi que la "*base*" : distance parcourue entre la prise de deux photographies successives. Les temps de pose sont très courts : 1/10s à 1/1 000s. Il faut tout de même éviter le flou dû à l'avancement de l'avion pendant la prise de vues qui provoque un flou sur photographie aérienne. Pour une prise de vues au 1/100 s, le déplacement est de l'ordre de 20 cm pour une photographie aérienne, et de 80 m pour une image satellitale. Il existe actuellement des compensateurs, la correction du flou s'obtient par un déplacement du plan focal dans le sens du vol durant le temps de pose à une vitesse v (Girard et Girard, 1989).

$$v = V \times F / H$$

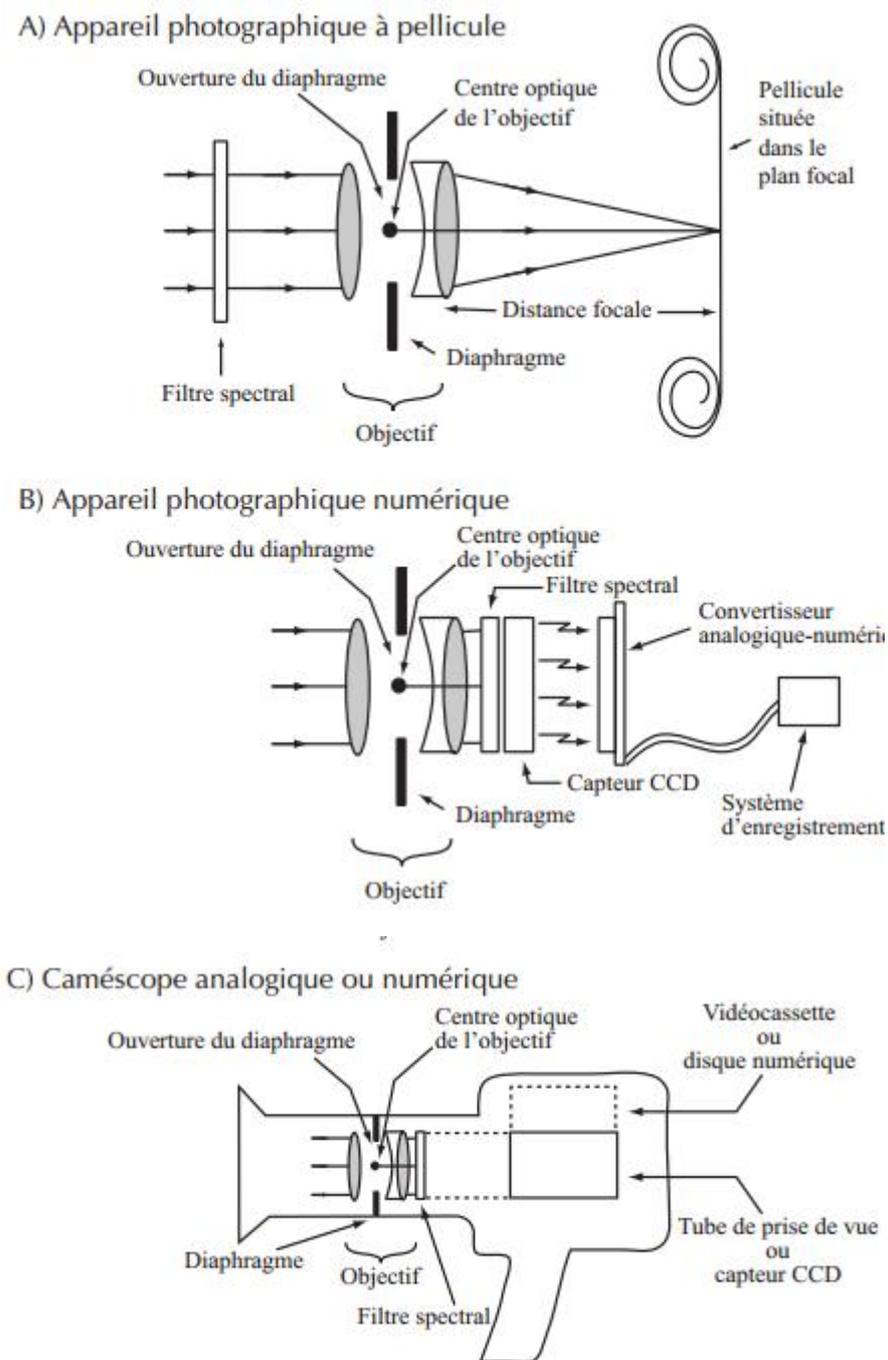
Avec : V vitesse de l'avion (par exemple, $V = 720$ Kms/h soit 200 m/s),

F focale de chambre métrique (par exemple, $F = 152,4$ mm),

H hauteur de l'avion au dessus du sol (par exemple, $H = 6\,096$ m).

On a alors $v = 5$ mm/s, et le plan focal doit se déplacer de 5/100 mm durant la prise de vues au 1/100 s. Les caméras (figure 08) sont munies d'un *objectif* qui comporte un obturateur, un *diaphragme* des *filtres* et un *objectif* qui dans la plupart des cas, est composé de nombreuses lentilles assemblées. L'objectif permet de définir la distance focale F . Elle varie couramment entre de 90 à 300 mm.

L'axe optique de l'objectif est perpendiculaire au plan du film, au centre du cliché. En conséquence, les photographies aériennes sont des projections coniques, dont le champ de vision est fonction de l'angle d'ouverture i et de l'altitude de l'avion H , et dont l'échelle E est fonction de la distance focale F et de l'altitude de l'avion. La mise au point est évidemment à l'infini: donc la distance entre le film et le centre optique de l'objectif est égale à la distance focale (Provencher et Dubois, 2007)



Source : (Provencher et Dubois, 2007)

Figure 08 : Principaux éléments constituant les appareils de prise de vue.

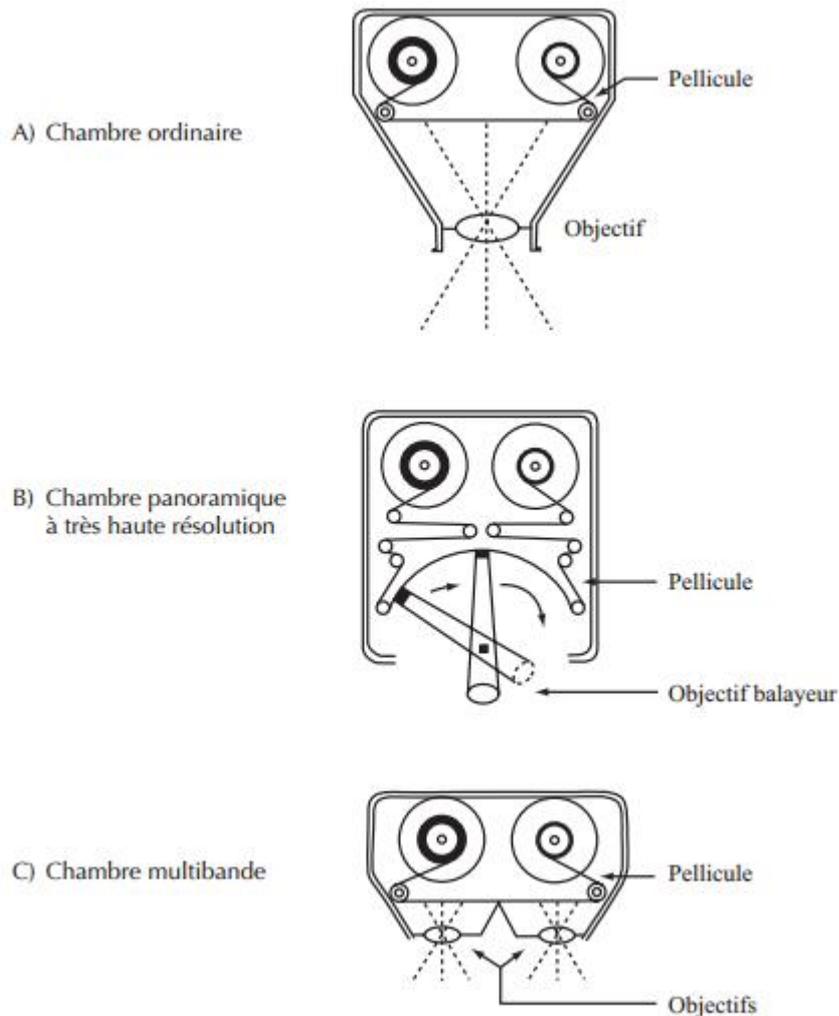


Figure 09 : Diverses chambres de prise de vue (Provencher et Dubois, 2007).

5. ORGANISATION ET RECOUVREMENT DES PHOTOGRAPHIES AERIENNES

Les missions régulières de prises de vues aériennes, se font sur des zones correspondant soit à des coupures de la feuille topographique au 1/50.000, soit à des régions (à la demande de l'inventaire forestier). Il s'agit d'un ensemble de photographies aériennes successives prises, sinon le même jour, du moins dans un temps le plus court possible. Les lignes de vol successives sont parallèles entre elles définissant ainsi des bandes de photographies (voir figure 10).

Afin de pouvoir offrir la vision stéréoscopique, les photographies doivent présenter un recouvrement (figure 11). Ce recouvrement successif (R), est de 55 à 60 % et peut aller jusqu'à 80 à 90 %, les photographies de chaque bande recouvrent un peu celles de la bande adjacente. Ce recouvrement latéral (r), varie de 10 à 20 %. Dans la plupart des cas, les bandes sont prises d'Ouest en Est. Dans ce sens le Nord est à gauche de l'avion alors que, lorsque l'avion a fait son demi-tour pour venir photographier la bande adjacente plus au Sud, il a le Sud à sa gauche.

Comme un certain nombre d'informations sont indiquées sur les bords du cliché (Voir figure 12), celles-ci se trouvent alternativement au Nord ou au Sud. Les missions de photographies aériennes se déroulent durant les journées ensoleillées de la période de mars à octobre, les belles journées d'hiver n'étant pas favorables en raison de la trop forte inclinaison des rayons solaires et de la longueur trop marquée des ombres qui en résultent.

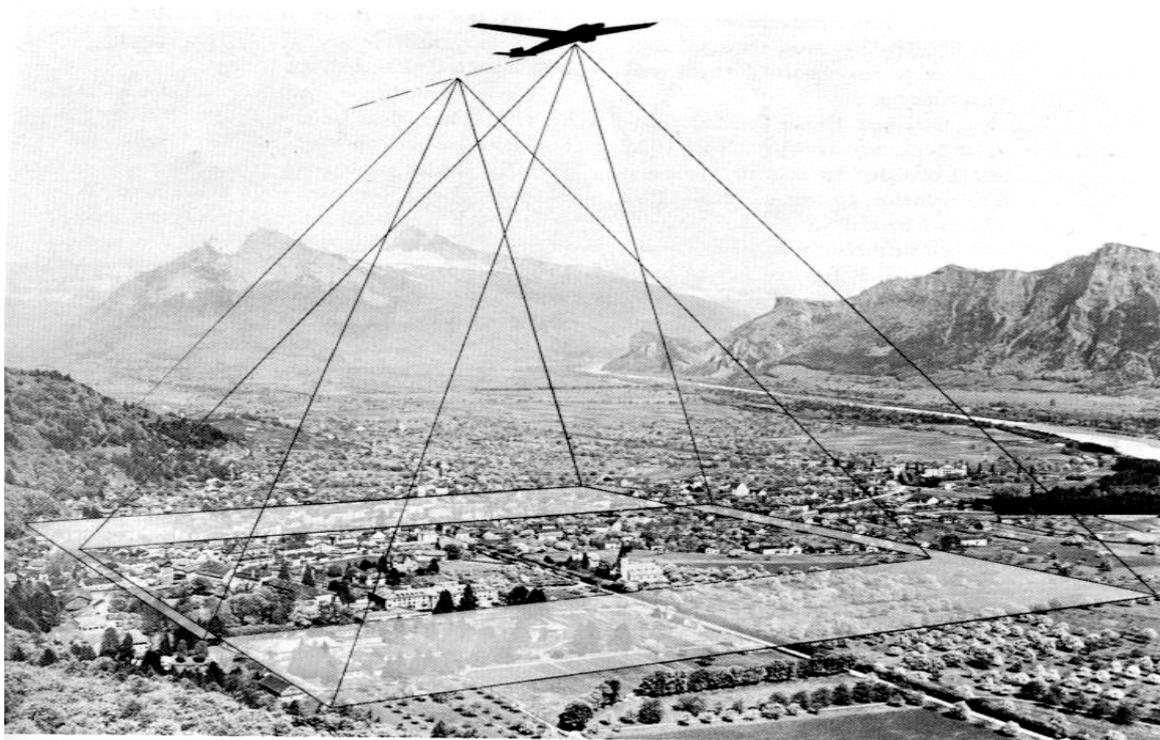
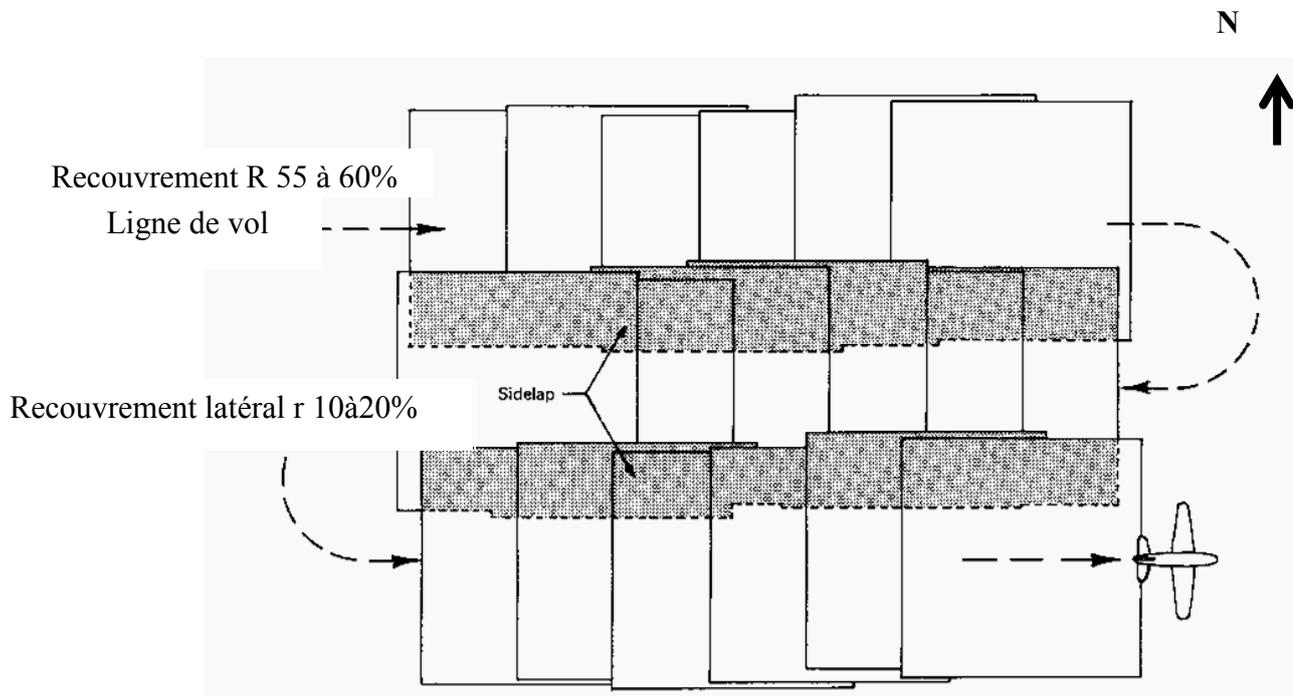
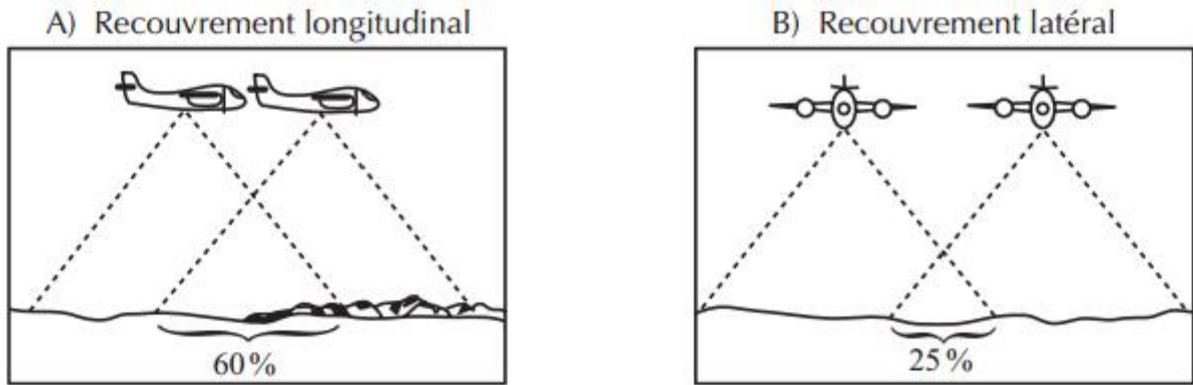
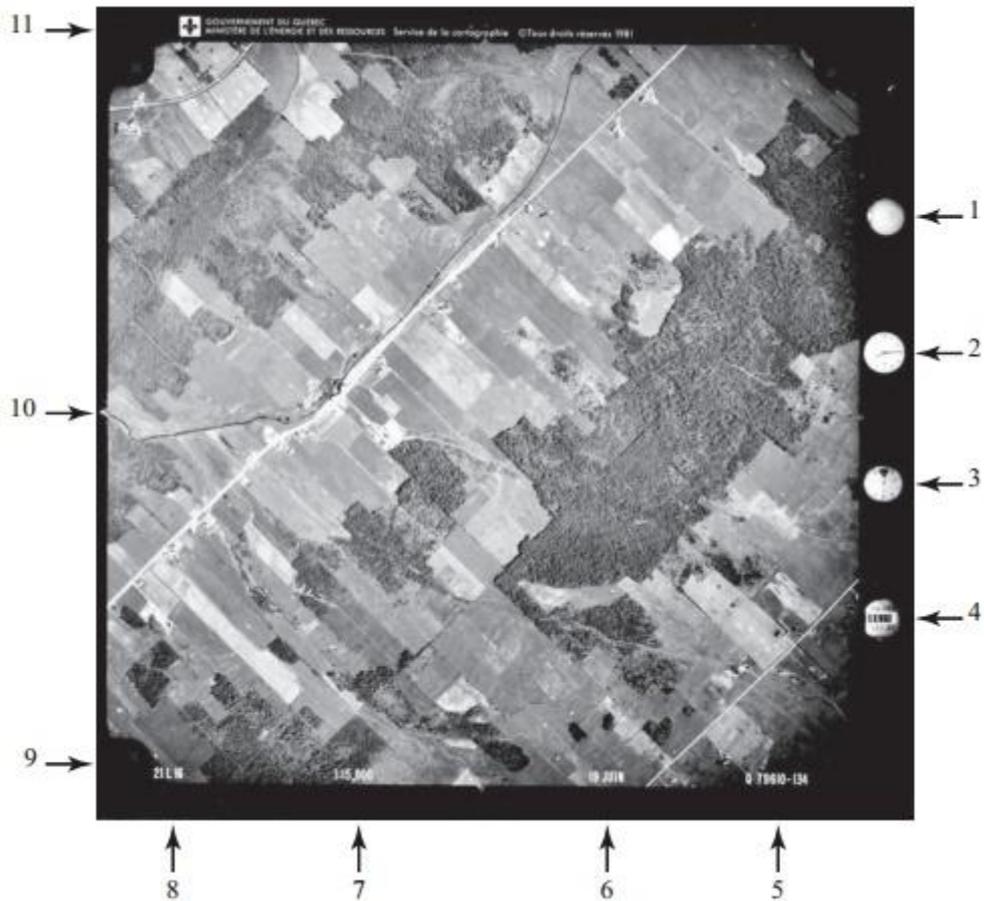


Figure 10 : Mission de prise de vues (Girard et Girard, 1989).



Modifié de Girard et Girard (1989)

Figure 11 : Organisation et recouvrement des photographies aériennes.



1 - Niveau à bulle



2 - Cadran horaire



3 - Altimètre



4 - Type d'appareil photographique, numéro de négatif et distance focale

5 - Ligne de vol (ou mission) et numéro de la photographie (ici 79 = l'année 1979)



6 - Date de prise de vue

7 - Échelle moyenne du survol

8 - Numéro de carte topographique à 1 : 50 000 (canadienne)

9 - Repère de collimation



10 - Repère de collimation

11 - Organisme responsable du survol ou de sa diffusion

Source : (Provencher et Dubois, 2007)

Figure 12 : Renseignements marginaux figurant autour d'une photographie aérienne.

Les missions aériennes présentent plusieurs inconvénients :

- Le choix de la date de prise de vues n'est pas certain, car les plans de vol sont dépendants des conditions météorologiques,
- Le territoire couvert est relativement limité pour une mission donnée;
- Le coût est relativement élevé.
- Modifications du champ couvert par les photographies aériennes (Roulis, tangage, lacet) (voir figure 13 et 14).

L'avantage tient surtout encore actuellement à la très bonne résolution géométrique que l'on peut obtenir sur photographie.

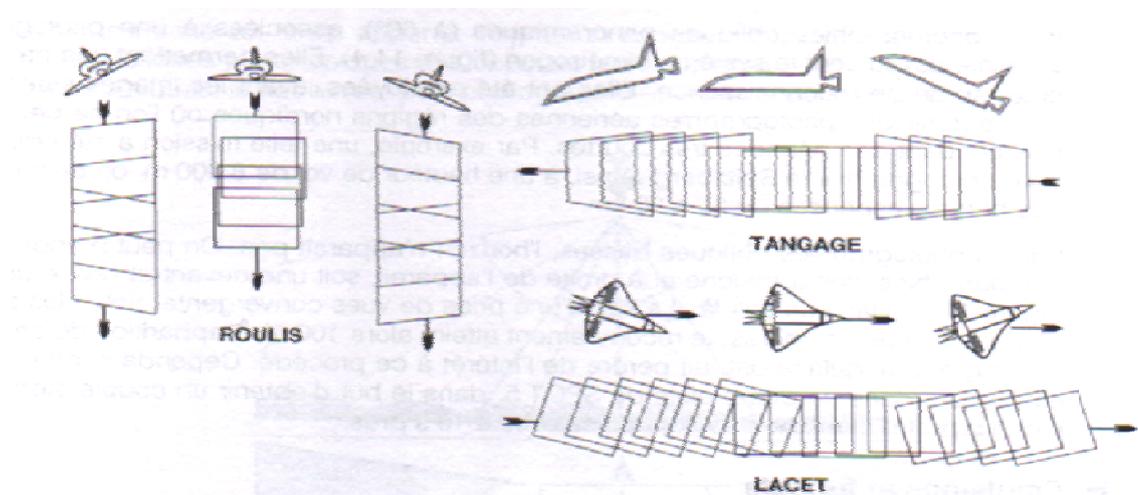
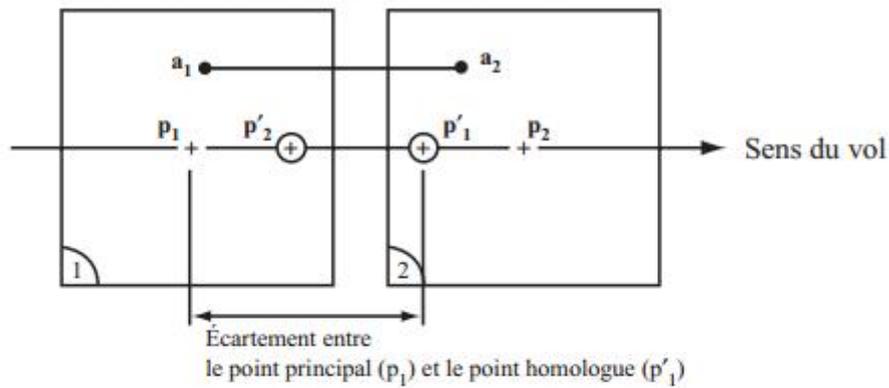
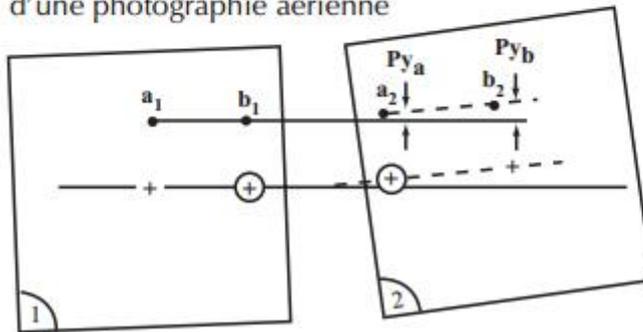


Figure 13 : Roulis, tangage et lacet : modifications du champ couvert par les photographies aériennes (Girard et Girard, 1989).

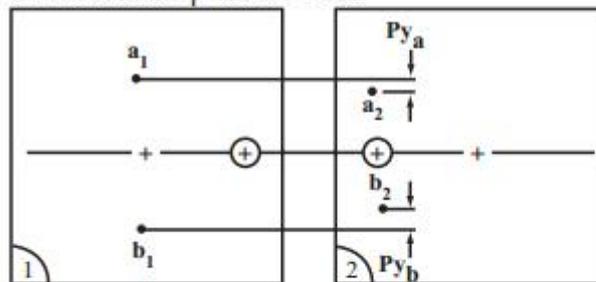
A - Couple stéréoscopique en position normale



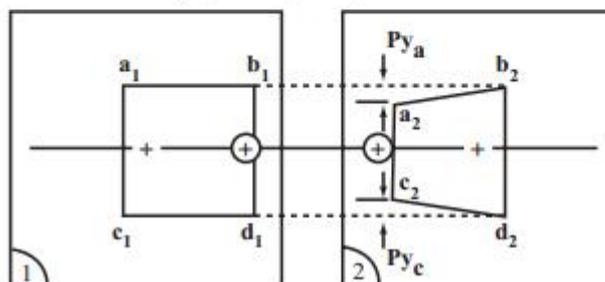
B - Parallaxe en y provoquée par une mauvaise orientation d'une photographie aérienne



C - Parallaxe en y provoquée par une variation de la hauteur de prise de vues



D - Parallaxe en y provoquée par le roulis de l'avion



P_y = parallaxe en y
a, b, c, d = objets

Source : (Provencher et Dubois, 2007)

Figure 14 : Exemples de parallaxe résiduelle en y provoquée par la mauvaise orientation d'une photographie aérienne (B), par la différence de hauteur de prise de vues (C) et par l'effet de roulis de l'avion (D).

6. VISION STEREOSCOPIQUE

Avec deux photographies recouvrant une même région où se trouvent des objets **A**, **B**, **C**, à la même altitude et **D** à une altitude différente, on remarque que sur les deux photographies, les quatre objets sont placés dans un ordre différent **a**, **b**, **d**, **c**, pour la photographie de gauche et **a**, **d**, **b**, **c** pour celle de droite (figure15).

Sur une même photographie, les segments **ab** et **bc** sont égaux car ils sont à la même altitude, mais ce n'est pas le cas pour les segments **ad**, **dc**.

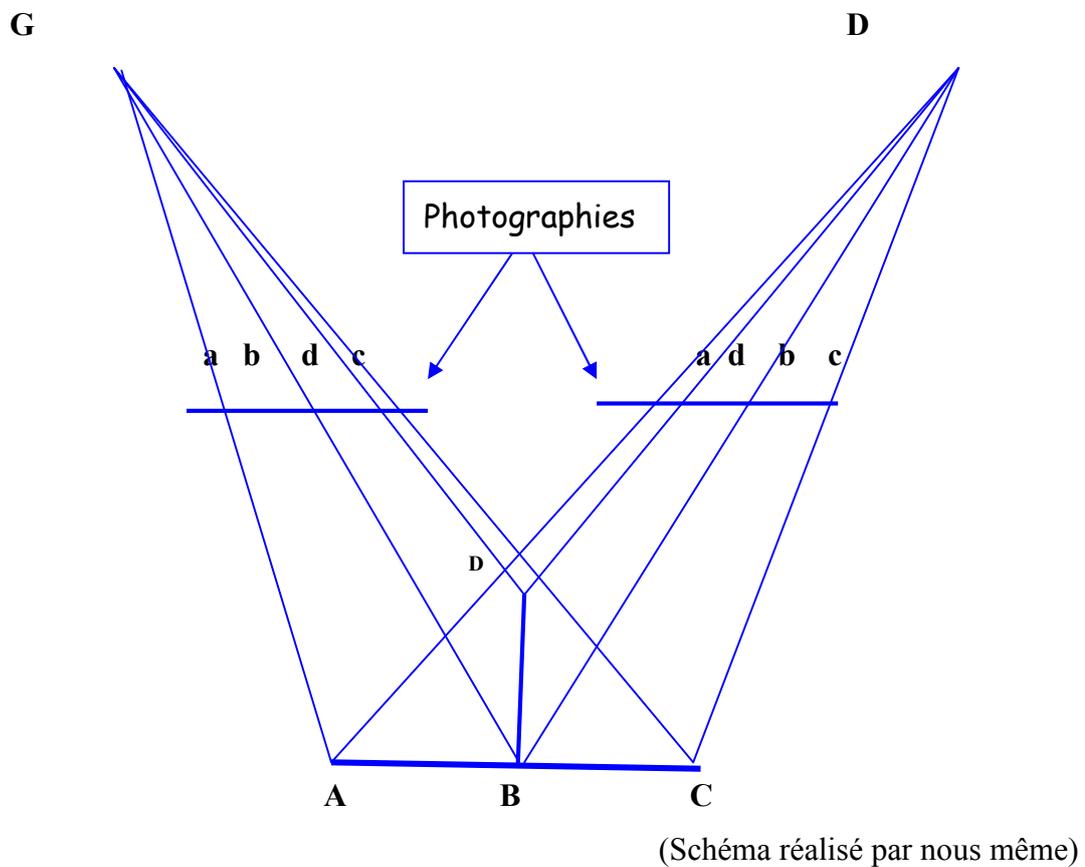


Figure 15 : Vision du relief à partir de deux photographies aériennes.

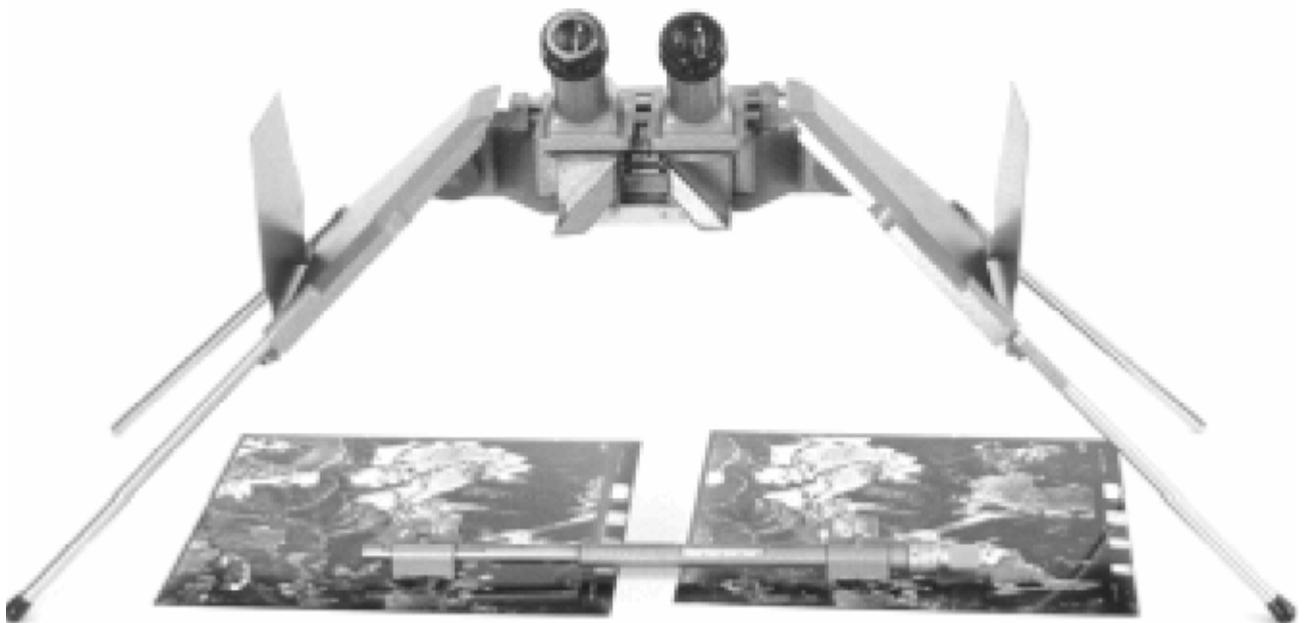
a. Les stéréoscopes

Le stéréoscope a pour but d'aider l'observateur à fixer un œil sur chaque photographie du couple et à ne voir qu'une seule photographie par œil. De plus la distance œil photographie, d , reste constante. Un stéréoscope (Figure 16) est constitué d'un double système optique (lentilles, miroirs, prismes, etc.) monté sur un cadre rigide assorti de pieds. De cette façon, la distance d est fixe.



Source : https://aqpc.com/produits/2339-photographies_aeriennes_orthophotos/16639-stereom-st_r_oscope_de_poche_peak_2x_.html

Figure 16 : Stéréoscope de poche "peak" (2x).



<http://mosersimon.free.fr/st%C3%A9r%C3%A9oscopie.html>

Figure 17 : Mise en couple stéréoscopique sous stéréoscope à miroirs.

b. Mise en place d'un couple stéréoscopique

Un couple stéréoscopique est composé de deux photographies ayant un certain recouvrement. Les deux photographies 1 et 2 doivent être place dans l'ordre dans lequel elles ont été prises lors de mission, sinon on obtient une pseudo stéréoscopique. On marque les centres A et B de chaque photographie 1 et 2, ou points principaux (voir Figure 17).

Sur chaque photographie, on marque les images correspondantes a et b des points principaux. On trace les droites Ab et Ba. On place les photographies de telle sorte que ces deux droites soient confondus. Pour avoir une bonne vision stéréoscopique, il faut que la distance Aa et Bb soit égale à la distance inter-oculaire y .

TP

PHOTOGRAPHIES AERIENNES

TPI :

CARACTERISTIQUES DES PHOTOGRAPHIES AERIENNES

Les caractéristiques de la prise de vue figurent soit sur la photographie elle même sous forme d'informations marginales, soit sur le tableau d'assemblage.

a) les références de la mission.

- ✍ Numéro de la mission (souvent numéro des coupures topographiques).
- ✍ Désignation de la région survolée ou du pays concerné simplement : ex ALG.
- ✍ Mention de l'organisme exécutant, parfois.

b) Les données de prise de vue.

- ✍ La date, mois et l'année seulement : ex 11-77, 73.
- ✍ L'heure lisible dans la marge sur l'image d'une montre.
- ✍ La distance focale de l'objectif photographique.
- ✍ L'échelle moyenne : ex $200 = 1/20.000^e$.
- ✍ Le numéro de cliché dans la bande de vol ou mission.

c) Les encoches marginales ou repères de centres.

L'intersection des droites joignant les encoches opposées définissent le centre optique de la photographie aérienne ou le point principal, ou point central ou point nadiral. Les chambres de prise de vue équipées des encoches marginales sont appelées chambre métrique.

d) Tableau d'assemblage.

Il est constitué par un fond topographique à une échelle donnée sur lequel sont reportées les limites des bandes de la mission de la couverture aérienne ou les contours des clichés ou leurs centres seulement.

On peut également établir un tableau d'assemblage en superposant les photographies, partie commune sur partie commune et en les ajustant de façon à réduire au maximum les discordances entre clichés d'une même bande et entre bandes, puis en réduisant l'ensemble photographiquement.

En Algérie les missions au $1/20.000^e$ (Algérie du Nord en 1972-1973) sont reportées sur un contre-calque des cartes topographiques au $1/50.000^e$.

Le tableau d'assemblage porte très souvent un certain nombre de données supplémentaires de la mission : altitude moyenne du vol, altitude moyenne de la région ...

Il s'écoule en moyenne quatre à cinq ans entre chaque mission au-dessus d'une même région durée réduite à deux à trois ans au-dessus des villes principales.

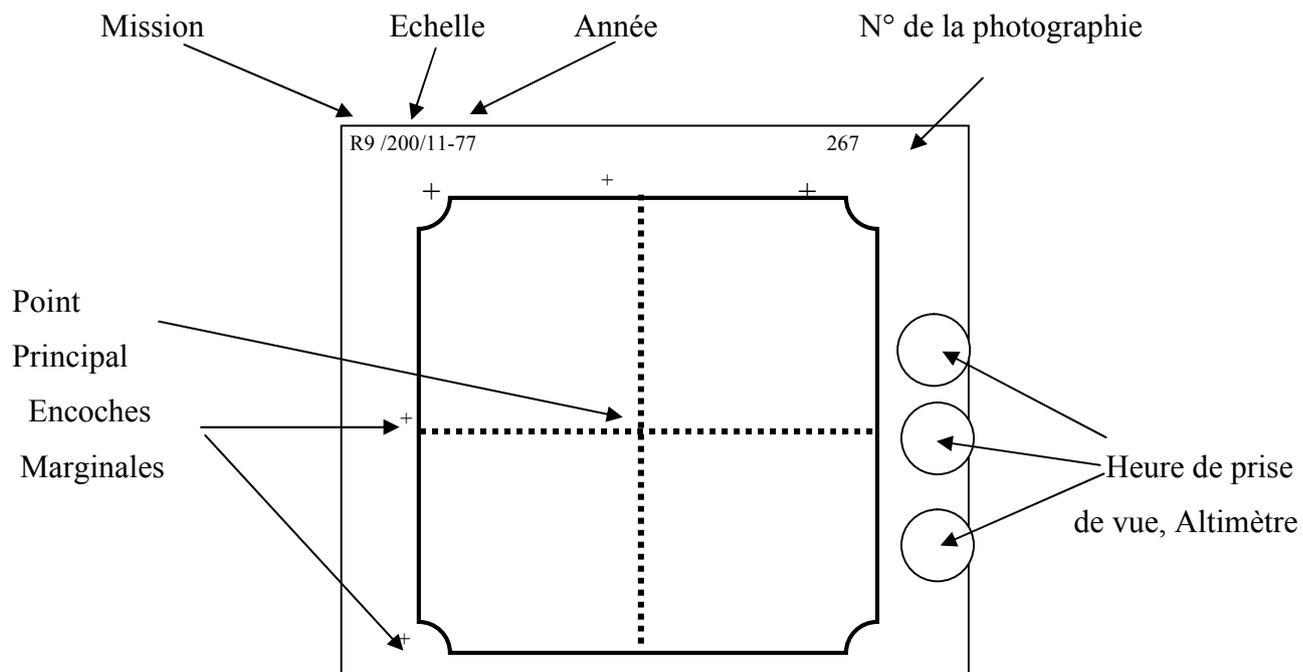


Figure 18 : Caractéristiques marginales d'une photo aérienne.

TP2 : PHOTO-INTERPRETATION

« La photo-interprétation est la science de l'examen d'une image photographique d'un objet dans le but d'identifier cet objet et de déduire sa signification » (Avery et Berlin, 1985).

Le processus mental pour la photo-interprétation se décompose en une série d'opérations distinctes mais reliées (voir figure 19)

- 1- Détection الاستكشاف
- 2- Identification التعرف
- 3- Analyse التحليل
- 4- Déduction الاستنباط
- 5- Classification التصنيف
- 6- Validation التأكيد

La détection

Distinguer un objet ou un élément parmi ceux qui l'entourent. En plus de voir l'objet, il faut aussi évaluer son importance par rapport à d'autres.

- Ex: Points blancs répétés
Zone claire près de l'eau
Points noirs serrés

Cette première étape dépend beaucoup de l'échelle et de la qualité de la photo.

L'identification

Consiste à identifier un ou plusieurs objets clairement visibles en raison de leur ressemblance avec des choses connues.

- Ex: Pierres dans les champs (voir exemple précédent)
Plage sableuse
Conifères

L'analyse

Groupement en zones d'objets ou d'éléments de même nature. C'est aussi la délimitation des différentes zones. Même l'identité de la zone n'est pas établie, elle est délimitée. Ex : délimitation d'une zone de teinte précise: boisé dans un champ

La déduction

L'information obtenue à cette étape n'est pas directement observable sur la photo. Ce sont les connaissances du photo interprète et les informations provenant d'autres sources qui interviennent. Ex : Identification d'une association végétale sur pente selon diverses observations.

1- Observations générales visibles : peuplement conifère

2- Observations spécifiques non-visibles : ces types de pente et de roches supportent mal l'épinette blanche.

3- Observations locales non-visibles: les pentes calcaires de la région sont couvertes en général de thuya et de sapin baumier

→ **Déduction:** le thuya et le sapin forment l'association végétale de cette zone.

Plus la déduction repose sur des éléments non-visibles, plus elle est incertaine. Elle doit donc s'appuyer par des vérifications sur le terrain.

La classification

Description précise et systématique des surfaces délimitées par l'analyse. On peut exclure les éléments mineurs mais il est nécessaire d'apporter une grande précision aux éléments jugés d'importance majeure.

- Description des différentes zones

- Présenter ces zones selon un schéma précis (implique une codification)

La validation

Consiste à effectuer un contrôle sur le terrain. Il s'agit ici de vérifier l'identification de certains éléments non-connus, ou encore de vérifier une déduction reposant majoritairement sur des éléments non-visibles. Après avoir effectué la validation, il sera important de revoir la classification pour vérifier son exactitude.

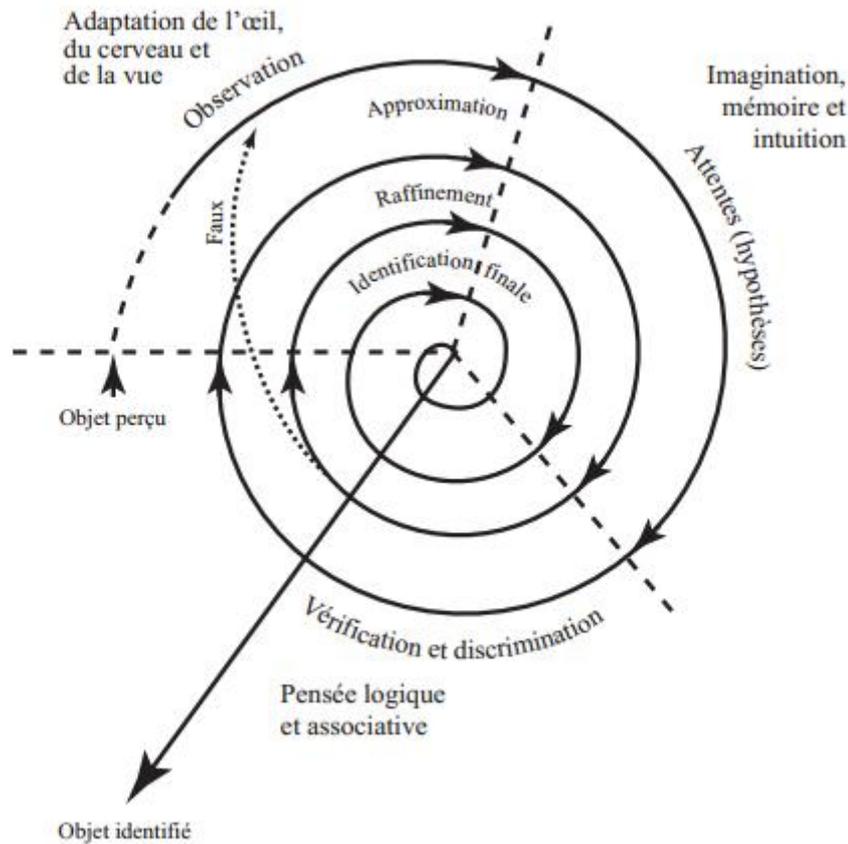


Figure 19 : Démarche psychologique itérative d'identification d'un objet perçu (Provencher et Dubois, 2007).

CRITERES DE PHOTO-INTERPRETATION

L'interprétation de la photo aérienne est rendue possible grâce à la présence simultanée de plusieurs variables de base représentant un objet ou une zone déterminée. Ces éléments multiformes qui varient d'un phénomène à l'autre et dont la combinaison peut être illimitée peuvent être décomposés ainsi: la tonalité, la texture, le pattern (arrangement), la taille, l'ombre la forme et l'association de formes (Avery, 1962 ; Avery et Berlin, 1985).

1. La teinte ou la couleur

La teinte de gris (photo en noir et blanc) nous permet de distinguer les objets par leur brillance. L'œil humain a cependant une capacité limitée de distinguer de tonalités différentes de gris (12 teintes selon certains auteurs, une trentaine pour d'autres). Pour certaines applications On peut distinguer ici les tons de gris (photo noir et blanc) et la teinte (photo fausses couleurs). Les tons de gris aident grandement à l'analyse des cultures, de la forêt, du drainage et de la géologie. La photo en noir et blanc traduit la brillance des objets allant de très pâle à très foncé.

Il existe plusieurs facteurs qui influencent la tonalité :

2. Facteurs de terrain

- a) La topographie et la texture
- b) Les sols : nature des sols, degré d'humidité
- c) Le couvert végétal: les conifères sont de teinte foncée alors que les décidus sont de teinte claire et les graminées de teinte très claire.
- d) Nature des roches
- e) Nature des eaux de surface: les eaux très pures apparaissent en noir alors que les eaux argileuses sont de teinte claire.

3. Facteurs techniques

- a) Qualité de la reproduction photographique: temps d'exposition et de développement.
- b) La latitude du lieu et l'angle d'incidence du soleil sont importants en raison de l'ombre portée des objets.

4. Facteurs météorologiques et climatiques

- a) Chute de neige ou de pluie juste avant la prise de vue
- b) Brouillard, nuages et ombres de nuages

5. Saison de la photographie

- a) Angle solaire
- b) Couvert de neige et glaces
- c) Stade phénologique (stade de croissance du couvert végétal)

6. Texture

La texture est reliée à la fréquence des changements de tons de gris dans une image. Il va de soi que l'échelle joue un rôle important car des objets qui peuvent présenter une texture très uniforme à petite échelle, ils peuvent avoir une texture rugueuse ou ouatée ou irrégulière à grande échelle. On décrira la texture comme étant: grossière, fine, rugueuse, tachetée, striée, ouatée, rubanée, etc.

7. Pattern ou arrangement:

C'est la disposition d'ensemble que présente l'organisation anthropique ou naturelle des phénomènes photographiés. Par exemple, le tracé laissé sur les parcelles par les machines lors des récoltes ou des semences. L'arrangement fait souvent référence à l'organisation des espaces par

l'homme. Ainsi cet élément devient particulièrement important en milieu urbain. Il permet entre autres de dégager les fonctions des quartiers, ou encore de détecter les zones récréatives. La différence entre texture et pattern est largement déterminée par l'échelle de la photo.

8 .Taille

La taille est également un élément important d'identification. Elle permet par la comparaison avec certains objets de dimensions connues une évaluation précise des dimensions spatiales des phénomènes. Ainsi, la largeur d'une route de 35 pieds (10,50 m) permettra d'évaluer d'autres distances par comparaison avec cette route. Souvent, en milieu urbain, des surfaces à dimensions connues permettent des évaluations très précises: un terrain de football (canadien: 330 pieds, 99 m), un losange de base-ball (120 pieds, 36 m) dans le grand axe, etc.

9. Ombre

Elle donne de la profondeur à la photographie sans faire appel au stéréoscope. Elle permet de faire des mesures verticales et d'évaluer la topographie ainsi que la hauteur de certains bâtiments en milieu urbain.

10. Forme et association de formes

La forme permet immédiatement de reconnaître plusieurs détails significatifs. On distingue les routes à leur tracé rectiligne aux courbes régulières, les chemins de fer à leur tracé droit en bande étroite aux longues courbes à faible gradient. Les champs cultivés ont des formes carrées ou rectangulaires très régulières. Les réservoirs de pétrole se distinguent par leur circularité. La forme est un élément indispensable pour découvrir la fonction des édifices en milieu urbain, les arbres quant à eux, s'identifient par leur couronne.

**TP3 :
Mesures sur photographie aérienne**

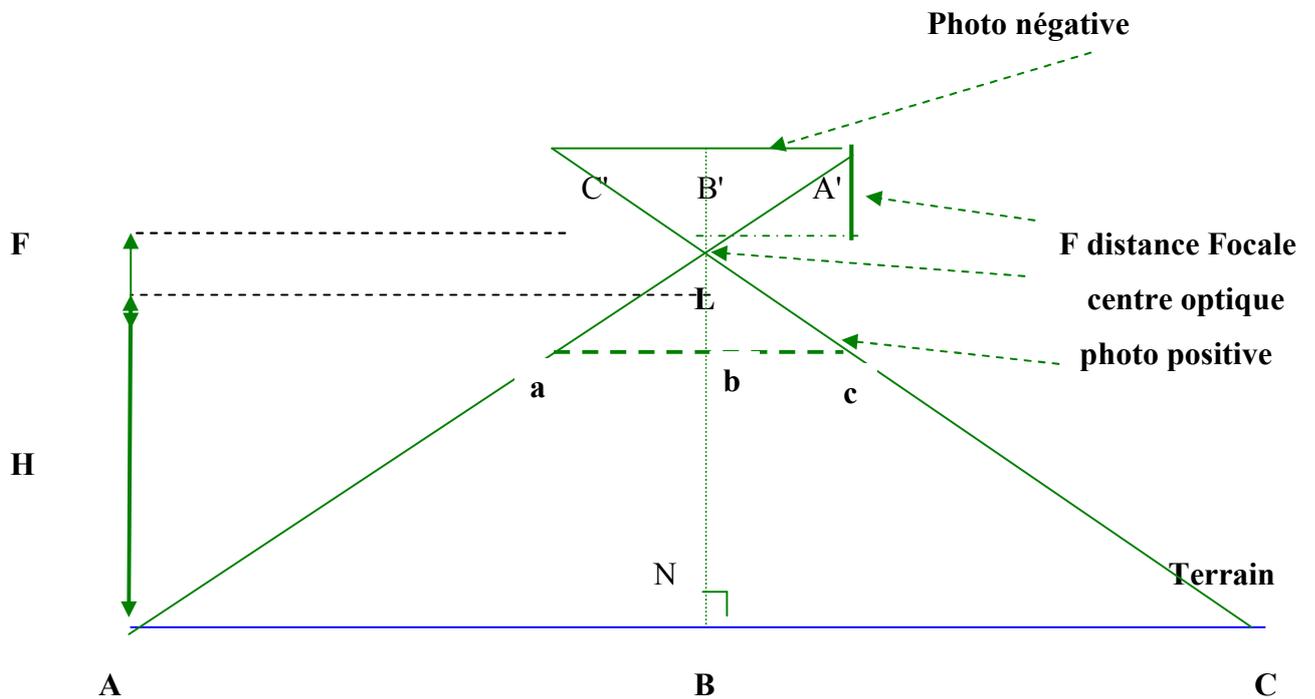


Figure 20 : Prise de vue verticale.

1/ CALCUL D'ECHELLE

1-1/ A partir d'un objet terrestre connu :

L'échelle d'une image ou d'une carte ou d'une photo aérienne, est par définition : la relation entre une distance prise sur cette image et la distance correspondante dans la réalité.

Par exemple dans le cas de la figure (1) on appellera échelle E :

$$E = \frac{ab}{AB} \dots\dots\dots(01).$$

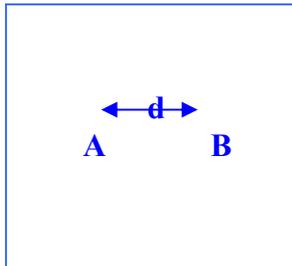
1-2/ A partir des informations marginales (distance focale)

Comme on peut le voir à partir des triangles semblables acl et ACL l'échelle de la photographie peut être déterminée à partir de la relation entre la distance focale F de l'appareil de prises de vue et l'altitude H de cette appareil au dessus du sol à l'instant de la photographie, on a :

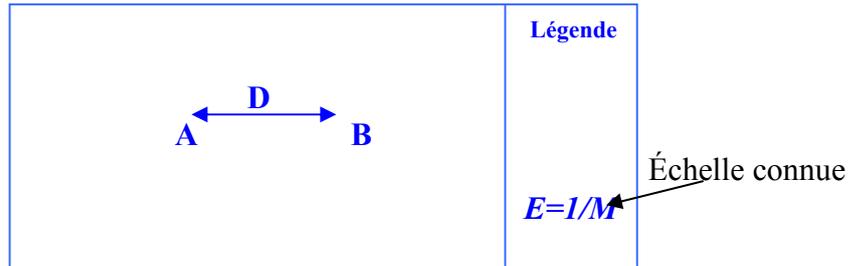
$$E = \frac{ab}{AB} = \frac{F}{H} \quad \text{donc} \quad E = \frac{F}{H} \dots\dots\dots(2)$$

1-3/ A partir d'une carte

L'échelle de la photographie peut être déterminée à partir d'une carte topographique de la même zone.



a) une photographie

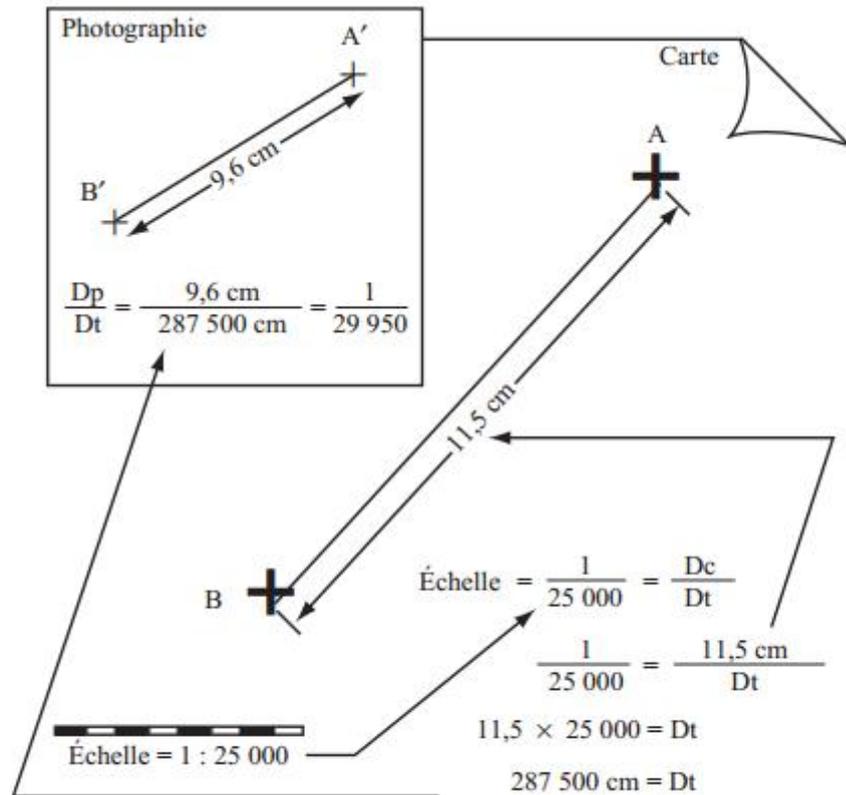


b) une carte

$$E = \frac{d}{M \times D} \dots\dots\dots(3) \quad \text{où} \quad \left\{ \begin{array}{l} d: \text{ distance entre les deux objets dans la photographie} \\ D: \text{ " " " " la carte} \\ M: \text{ échelle de la carte} \end{array} \right.$$

Nota :

L'altitude est habituellement indiquée par rapport au niveau moyen de la mer, en conséquence pour utiliser l'équation (2) on doit utiliser l'altitude du terrain et la soustraire de l'altitude de vol pour obtenir la hauteur H au dessus du sol.



Dc = distance sur la carte
Dt = distance sur le terrain
Dp = distance sur la photographie

Figure 21 : Exemple de mesure indirecte de l'échelle d'une photographie aérienne verticale à l'aide d'une carte topographique à échelle connue

2/ CALCUL DES DISTANCES HORIZONTALES

Lorsque l'échelle d'une photographie verticale est connue, elle peut être utilisée pour calculer une distance horizontale au sol par une simple transposition de l'équation (1) :

$$AB = \frac{ab}{E} \dots\dots\dots(4)$$

Une photographie aérienne peut être considérée comme une vue perspective réelle ou comme une projection centrale puisque tous les rayons lumineux joignant l'objet à l'image passent par un point unique (centre optique).

3/ CALCUL DES DISTANCES VERTICALES

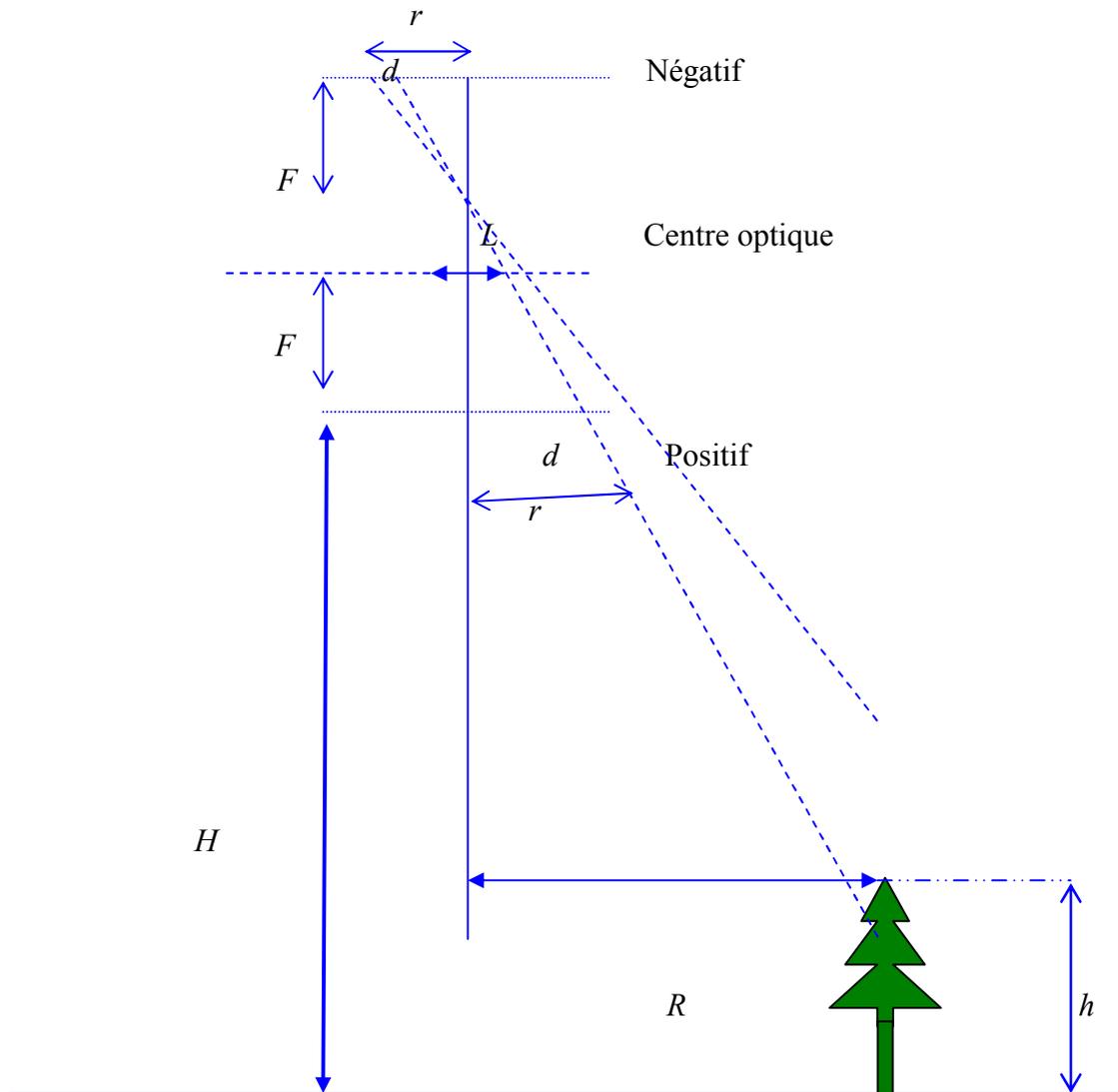


Figure 22 : Mesure d'une distance verticale (hauteur d'objet).

On à $\frac{r}{d} = \frac{H}{h}$ donc $h = \frac{dH}{r}$ (5) où

- d : distance entre le sommet et le pied
- r : distance entre le sommet et le centre
- H : altitude au dessus du sol

h : hauteur de l'objet

Cette forme est fréquemment utilisée pour trouver la hauteur d'un objet, par exemple, un arbre, une cheminée ou un bâtiment.

Références bibliographiques

- Avery, T.E. (1962) Interpretation of aerial photographs. Burgess Publishing Company, Minneapolis, 193 p.
- Avery, T.E. et Berlin, G.L. (1985) Interpretation of aerial photographs. 4e éd., Burgess Publishing Company, Minneapolis, 536 p.
- Bariou, R. et Lecamus, D. (1978) Manuel de télédétection : photographies aériennes, images radar, thermographies, satellites. Éditions Sodipe, Paris, 349 p.
- Bérard, J. (1977) Photo-interprétation. Notes de cours, École polytechnique de Montréal, Montréal, 161 p.
- Bérard, J. (1977) Photo-interprétation. Notes de cours, École polytechnique de Montréal, Montréal, 161 p.
- Bonn, F. et Rochon, G. (1992) Précis de télédétection, vol. I : Principes et méthodes. Presses de l'Université du Québec/AUPELF, Sainte-Foy et Montréal, 485 p.
- Cahen, O. (1990) L'image en relief : de la photographie stéréoscopique à la vidéo 3D. Masson, Paris, 183 p.
- Caloz, R. et Collet, C. (2001) Précis de télédétection. Vol. 3 : Traitement numérique d'image de télédétection. Presses de l'Université du Québec et l'Agence universitaire de la Francophonie, Sainte-Foy et Montréal, 386 p.
- Campbell, J.B. (1996) Introduction to Remote Sensing. 2e éd., The Guilford Press, New York, 622 p.
- Carré, J. (1971) Lecture et exploitation des photographies aériennes. Tome 1 : lecture des photographies. Éditions Eyrolles, Paris, 213 p.
- Chevallier, R. (1971) La photographie aérienne. Armand Colin, Paris, 233 p.
- Colwell, R.N. (1984) From photographic interpretation to remote sensing. Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, vol. 50, n° 9, pp : 1305-1307.
- Gagnon, H. (1974) La photo aérienne : son interprétation dans les études de l'environnement et de l'aménagement du territoire. Les Éditions HRW, Montréal, 278 p.
- Girard, M.C. et Girard, C.M. (1989) Télédétection appliquée : zones tempérées et intertropicales. Collection Sciences agronomiques, Masson, Paris, 260 p.
- Provencher, L. et Dubois J.M.M. (2007). Précis de télédétection, Volume 4 : Méthodes de photo-interprétation et d'interprétation d'image. Presses de l'Université du Québec, 468p.
- Sabins, F.F. (1987) Remote sensing : principles and interpretation. 2e éd., W.H. Freeman, San Francisco, 449 p.
- Sine (1970) Interprétation des photos aériennes, Notes de cours, INA Hassan-Badi (El harrach), Alger, 270 p.

Annexe 1 :

Faits marquants reliés au développement de la photo-interprétation (Provencher et Dubois, 2007).

L'annexe 1 est de 11 pages (pp : 14 -24) du deuxième chapitre (Historique) de l'ouvrage « précis de télédétection » Volume 4 : Méthodes de photo-interprétation et d'interprétation d'image.

TABEAU 1
Faits marquants reliés au développement de la photointerprétation

Année	Domaine	Événement	Responsables
1783 à 1858 : photographie terrestre et stéréoscopique			
1783	Aviation	Premier vol en aérostat (montgolfière) à Annonay, près de Paris	Joseph et Étienne Montgolfier (France)
1816	Photographie	Premier appareil photographique et premier cliché photographique	Joseph Nicéphore Niepce (France)
1822	Photographie	Premier tirage photographie (héliographie)	Joseph Nicéphore Niepce (France)
1832	Stéréoscopie	Invention du stéréoscope	Charles Wheatstone (G.-B.)
Années 1830	Stéréoscopie	Popularisation du stéréoscope d'amusement (Stereoscopic Viewer)	Oliver Wendell Holmes (U.S.A.)
1834	Terminologie	Création du terme <i>photographie</i>	R. Florence (France)
1835	Photographie	Premier daguerréotype (processus qui permet de fixer l'image sur une plaque d'argent)	Louis Jacques Mandé Daguerre (France)
1836	Terminologie	Création du terme <i>photography</i>	John William Herschel (G.-B.)
1838	Stéréoscopie et terminologie	Création du prototype du stéréoscope à réflexion pour l'observation de dessins ; création du terme <i>stéréoscope</i>	Charles Wheatstone (G.-B.)
1839	Terminologie	Première utilisation publique des termes <i>photography</i> et <i>photographie</i>	Charles Wheatstone (G.-B.) et Dominique François Arago (France)
1939	Physique	Découverte du spectre électromagnétique	James Clark Maxwell (Écosse)
1840	Photographie	Premier cliché photographique sur pellicule (calotype)	William Henry Fox Talbot (G.-B.)
1840	Cartographie	Première application de la photographie terrestre à la réalisation d'une carte topographique à Paris	Dominique François Arago (France)
1841	Photographie	Premiers stéréogrammes (talotypes) pour le stéréoscope de Wheatstone	William Henry Fox Talbot (G.-B.) et Henry Collen (U.S.A.)
1844	Stéréoscopie	Premier stéréoscope à lentilles pour photographies	Sir David Brewster (U.S.A.)
1845	Photographie	Premier appareil photographique panoramique	Friedrich von Martens (Allemagne)

1846	Photogrammétrie	Début de la photogrammétrie terrestre (utilisation de perspectives dessinées dans les levés topographiques)	Capitaine Aimé Laussedat (France) : père de la photogrammétrie
1852	Aviation	Premier vol en dirigeable à Dupuy de Lôme	Henri Giffard (France)
1855	Photographie	Mise au point des assises théoriques pour la production de photographies en couleurs	James Clark Maxwell (Écosse)
1857	Stéréoscopie	Premier stéréoscope à miroirs	Hermann von Helmholtz (Allemagne)
1858-1903 : photographies aériennes avant l'avion			
1858	Photographie	Premiers essais de prise de photographies aériennes à l'aide de cerfs-volants et de ballons	Capitaine Aimé Laussedat (France)
1858	Photographie	Première photographie aérienne, prise à Petit Bicêtre, au sud de Paris, à partir d'un ballon captif, à des fins topographiques	Gaspar Félix Tournachon dit Nadar (France)
1860	Photographie	Première photographie aérienne, qui subsiste encore, prise au-dessus de Boston, à partir d'un ballon captif	James Wallace Black (photographe) et Samuel Arthur King (aéronef) (U.S.A.)
1861	Photographie	Premières expériences de photographies trichromes	James Clark Maxwell (Écosse)
1862-1865	Photographie	Reconnaissance à partir de ballons captifs et, possiblement, prise de photographies pendant la Guerre de sécession	U.S.A.
1864	Vidéographie	Mise au point de la base théorique et brevet pour le cinématographe	Louis Ducos du Hauron (France)
1867-1868	Photographie	Premières photographies en couleurs	Charles Cros et Louis Ducos du Hauron (France)
1870	Photogrammétrie	Développement d'applications militaires de la photogrammétrie	Europe
Vers 1882	Photographie	Première photographie aérienne à partir d'un ballon	E.D. Archibald, météorologue (G.-B.)
1883	Photographie	Première photographie aérienne, à Halifax au Canada, à partir d'un ballon captif	Capitaine Henry Elsdale (G.-B.)
1887	Cartographie	Des photographies aériennes sont prises à l'aide d'un ballon pour la cartographie forestière	Allemagne
1887-1888	Photographie	Premières photographies aériennes prises à partir d'un cerf-volant	Arthur Batut (France) et E.D. Archibald, météorologue (G.-B.)

TABEAU 1 (suite)
Faits marquants reliés au développement de la photointerprétation

Année	Domaine	Événement	Responsables
1888	Photographie	Premier appareil photographique à pellicule pour amateur (Kodak)	George Eastman (U.S.A.)
1889	Photographie	Invention du film de nitrocellulose	George Eastman (U.S.A.)
1890	Aviation	Invention de l'avion (terme créé en 1875) avec moteur à vapeur (Éole); vol de 50 m seulement	Clément Ader (France)
1890	Manuel	Premier ouvrage en français sur les principes de la photographie aérienne	Arthur Batut (France)
1890-1919	Cartographie	Photographies terrestres prises du sommet des montagnes pour dresser des cartes	Capitaine Édouard Deville, arpenteur (Canada)
1891	Photographie	Premier appareil photographique propulsé par une fusée	Ludwig Rahrman (Allemagne)
1893	Terminologie	Première utilisation du terme <i>photogrammétrie</i>	A. Meydenbauer (Allemagne)
1897	Photographie	Premier appareil photographique à chambres multiples (sept lentilles obliques autour d'une lentille verticale centrale)	Capitaine Theodor Scheimpflug (Autriche)
1898	Couverture aérienne	Première série continue de photographies aériennes, prises avec un appareil photographique multichambre (panoramographe), à partir d'un ballon pour fin de cartographie topographique	R.Y. Thièle (Russie)
1902	Photogrammétrie	Premier planigrphe stéréoscopique (<i>stereo-planigraph</i>) pour photographies terrestres prises à partir des sommets de montagnes pour dresser des cartes	Capitaine Édouard Deville (Canada)
1903-1919: photographies aériennes à partir d'avions			
1903	Aviation	Début de l'aviation avec le premier vol significatif d'un avion (Flyer 1) à Kitty Hawk	Wilbur et Orville Wright (U.S.A.)
1903	Photographie	Premier procédé commercial pour photographie couleur	Auguste et Louis Lumière (France)
1903	Photographie	Mise au point d'un harnais pour retenir un appareil photographique sous un pigeon	Julius Neubronner (U.S.A.)

1906	Photographie	Première photographie aérienne prise à partir d'une fusée à air comprimé (retour de l'appareil photographique à l'aide d'un parachute)	Albert Maul (Allemagne)
1907	Photographie	Premières photographies aériennes prises pour observation stéréoscopiques	R.Y. Thièle (Russie)
1908-1909	Photographie	Premières photographies aériennes prises par avion au-dessus de Le Mans en France (1908) et de Centocelli en Italie (1909)	Wilbur Wright (U.S.A.)
1909	Organisme	Fondation de la Société internationale de photogrammétrie (S.I.P.)	Édouard Dolezal (Autriche)
1911	Photogrammétrie	Premier photoestimeur (fabriqué par Carl Zeiss)	Von Orel (Allemagne)
1913	Photogrammétrie	Début de la photogrammétrie aérienne (production de cartes à partir de photographies aériennes)	Italie
1914-1915	Aviation	Fin de l'utilisation de cerfs-volants pour la prise de photographies aériennes	Mondial
1914-1918	Aviation	Développement rapide de la navigation aérienne pendant la Première Guerre mondiale	Mondial
1915	Photographie	Premier appareil photographique spécifiquement construit pour la photographie aérienne	Lt. Col. J.T.C. Moore Brabazon, RAF, en collaboration avec la Cie Thornton Pickard Ltd
1915	Cartographie	Première utilisation de la photographie aérienne en cartographie stratégique par l'Armée britannique	Angleterre
1915-1918	Photographie	Prise de dizaines de milliers de photographies aériennes de reconnaissance	Forces aériennes françaises et RAF
1917	Organisme	Fondation d'une école de photographie aérienne à Kodak Park	Eastman Kodak et Armée américaine
1919-1930 : photographies aériennes pour fins cartographiques			
1919	Photogrammétrie	Premier prototype de stéréostimeur (photocartographe)	Umberto Nistri (Italie)
1919-1921	Cartographie	Première utilisation de la photographie aérienne dans le cadre du programme de cartographie forestière au Canada (Québec et Ontario)	Canadian Forest Service

TABLEAU 1 (suite)
Faits marquants reliés au développement de la photointerprétation

Année	Domaine	Événement	Responsables
1919-1923	Cartographie	Cartographie de 1 500 communes pour fin de remembrement cadastral	France
1920	Appareil photographique	Développement de l'appareil photographique Eagle pour fin de relevé topographique aérien	Royal Aircraft Establishment (Angleterre)
1920	Stéréoscopie	Premier stéréoscope de la compagnie Zeiss	Allemagne
1920	Manuel	Premier manuel de photointerprétation en langue française (<i>Applications de la photographie aérienne</i>), publié chez Octave Doin à Paris	Louis-Philippe Clerc (France)
1921	Photogrammétrie	Premier photorestituteur pour photographies terrestres et aériennes (Hugershoff Aerocartograph)	Reinhard Hugershoff (Allemagne)
1922	Manuel	Premier manuel de photointerprétation en langue anglaise (<i>The Face of the Earth as Seen from the Air</i>), publié par la New York Geographical Society	Willis T. Lee (U.S.A.)
1922-1925	Cartographie	Utilisation de la Canadian Oblique Method (permet la réalisation de 77 cartes topographiques à 1:253 440 pour la Topographical Survey Branch)	Canadian Air Board Committee
1923	Cartographie	Première utilisation de la photographie aérienne dans les inventaires forestiers, pédologiques et géologiques	Allemagne et U.S.A.
1923	Vidéographie	Premier caméscope	Vladimir Kosma Zworykin (U.S.A.)
1924	Couvertures aériennes	Création de la Compagnie aérienne franco-canadienne (couvertures aériennes sur plus de 80 000 km ² dans le sud du Québec, entre 1926 et 1931)	Québec
1925	Organisme	Fondation de la Photothèque nationale de l'air	Canada
1930-1946 : photogrammétrie et photointerprétation			
1931	Organisme	Fondation de la Société belge de photogrammétrie (S.B.P.)	Belgique
1934	Organisme	Fondation de l'American Society of Photogrammetry (A.S.P.)	U.S.A.

1934	Revue	Fondation de la revue <i>Photogrammetric Engineering</i>	American Society of Photogrammetry (U.S.A.)
1935	Photographie	Premier film en couleurs commercial (Kodachrome)	Kodak (Leopold Mennes et Leopold Godowsky, U.S.A.)
1936	Terminologie	Création du terme <i>photogéologie</i>	Royal Dutch Shell (G.-B.)
1938	Revue	Fondation de la revue <i>Photogrammetria</i>	International Society of Photogrammetry (mondial)
1938	Photographie	Prédiction à l'effet que c'est le pays qui utilisera le mieux la photographie aérienne à des fins de reconnaissance qui gagnera la prochaine guerre	Général Werner von Fritsch (Allemagne)
1939-1940	Photographie	Succès militaires des Allemands dus à la reconnaissance, à l'aide de photographies aériennes	Allemagne
1939-1945	Photographies	Plusieurs millions de photographies des zones de combat pendant la Deuxième Guerre mondiale	Forces alliées et de l'Axe
1940	Organisme	Fondation de l'Institut géographique national (I.G.N.)	France
Début des années 1940	Organisme	Développement d'écoles de photointerprétation	U.S.A., France, Grande-Bretagne
1942	Photographie	Premier film en infrarouge en noir et blanc et en fausses couleurs, appelé <i>camouflage detection film</i> , évalué par l'Armée américaine	Kodak (U.S.A.)
1943	Photointerprétation	Première clé développée pour l'identification de la végétation et des caractéristiques du milieu	U.S. Navy Photo Interpretation Center
1944	Fusée	Premier vol des fusées V2	Allemagne
1945	Revue	Fondation de la revue <i>ITC Journal</i>	International Training Center (Pays-Bas)
1945	Photogrammétrie	Invention du <i>Sketchmaster</i>	Talbert Abrams (U.S.A.)
1946-1972 : couvertures aériennes et inventaires régionaux			
1946	Stéréoscopie	L'examen stéréoscopique en photointerprétation remplace l'examen monoscopique utilisé auparavant	Mondial
1946	Formation	Premiers cours de photointerprétation à Paris et à Montréal (Université McGill, géographie, en anglais)	France et Québec

TABEAU 1 (suite)
Faits marquants reliés au développement de la photointerprétation

Année	Domaine	Événement	Responsables
1946	Photographie	Premières photographies prises en haute atmosphère à partir de fusées V2	U.S.A.
1948	Ordinateur	Premier ordinateur électronique	John von Neumann (U.S.A.)
1948-1952	Couverture aérienne	Première couverture complète de photographies aériennes de la France	I.G.N. (France)
1950	Organisme	Fondation de l'Institut international de photogrammétrie et de photointerprétation (I.T.C.)	Universités technique de Delft et d'agriculture de Wageningen (Pays-Bas)
1951	Organisme	Établissement de la Commission (VII) on Photographic Interpretation	International Society of Photogrammetry (mondial)
1951	Formation	Premier cours de photointerprétation en français au Québec	Université de Montréal
1953	Couverture aérienne	Complétion de la couverture aérienne canadienne	Canada
1954	Radar	Premier radar à ouverture latérale (SLAR)	Westinghouse (U.S.A.)
1955	Politique	Décret américain de l' <i>Open Skies Policy</i> (décrété à la suite des succès des missions de l'avion espion U2 en 1954 et 1955)	Président Eisenhower (U.S.A.)
1956	Couverture aérienne	Fin des levés aériens par l'Aviation royale du Canada (fin de l'ère militaire au Canada)	Canada
1956	Photographie	Première utilisation de l'infrarouge à des fins civiles	R.N. Colwell (U.S.A.)
1957	Satellite	Lancement du premier satellite artificiel (Spoutnik-1)	U.R.S.S.
1959	Organisme	Fondation de la Société française de photogrammétrie (S.F.P.)	France
1959-1972	Photographie	Premières photographies satellitaires de la Terre à partir de la série de 6 satellites espions Corona (KH-1 à KH-4B) avec des résolutions de 1,8 à 7,5 m	U.S.A.
1960	Satellite	Premier satellite météorologique Tiros-1	U.S.A.
1960	Manuel	Première édition du <i>Manual of Photographic Interpretation</i> publié par l'A.S.P.	R.N. Colwell (U.S.A.)

1960-1962	Cartographie	Création du premier SIG (et du nom)	Roger Tomlinson (Canada) et Inventaire canadien des terres
1961	Revue	Fondation du <i>Bulletin de la S.F.P.</i>	France
1961	Terminologie	Création du terme <i>remote sensing</i> à l'Office of Naval Branch	E.L. Pruitt et W.H. Bailey, géographes (U.S.A.)
1962	Colloque	1 ^{er} Symposium international de photo-interprétation tenu à Delft	Pays-Bas
1962	Revue	Fondation de la revue <i>Photo-Interprétation</i>	Éditions Technip (France)
1962	Appareil photographique	Mise au point d'un prototype d'appareil photographique multibande	Zaitor et Tsuprun (U.S.A.)
1962	Organisme	Fondation du Centre national d'études spatiales (CNES)	France
1963	Organisme	Fondation de la Photocartotheque du Québec	Canada
1963-1968	Cartographie	Inventaire du territoire canadien par photointerprétation pour produire les cartes de potentiel d'utilisation (3 200 000 km ²)	Inventaire canadien des terres
1965-1972	Photographie	Photographies de la Terre prises à partir des cabines habitées de Gemini et Apollo	U.S.A.
1966	Colloque	2 ^e Symposium international de photo-interprétation tenu à Paris	France
1970	Photogrammétrie	Invention du <i>Zoom transferscope</i>	Bausch and Laumb (Allemagne)
1971	Terminologie	Début de l'utilisation du terme <i>télétection</i> qui sera reconnu officiellement en 1973 (remplace le terme <i>détection à distance</i>)	Centre national d'étude spatiale (France)
1971	Organisme	Fondation du Centre canadien de télédétection	Canada
1972-1986 : imagerie à faible et moyenne résolutions			
1972	Satellite	Lancement du premier satellite d'observation de la Terre (ERTS-1, renommé Landsat) pour utilisation civile courante avec capteur MSS à résolution de 57 × 79 m	U.S.A.
1972-1973	Photographie	Prise de 45 000 photographies de la Terre à partir de Skylab	U.S.A.
1973	Organisme	Fondation de la Société canadienne de télédétection	Canada

TABLEAU 1 (suite)
Faits marquants liés au développement de la photointerprétation

Année	Domaine	Événement	Responsables
1973	Géo-positionnement	Début du programme GPS (<i>Global Positioning System</i>) par l'Armée américaine	U.S.A.
1973	Micro-informatique	Premier micro-ordinateur : Micral N	Société RZE (France)
1973	Organisme	Fondation du Groupement pour le développement de la télédétection aérospatiale	CNES et IGN (France)
1975	Revue	Fondation du <i>Journal canadien de télédétection</i>	Société canadienne de télédétection
1975	Revue	La revue <i>Photogrammetric Engineering</i> devient <i>Photogrammetric Engineering and Remote Sensing</i>	American Society for Photogrammetry (U.S.A.)
1975	Organisme	Fondation de l'Association québécoise de télédétection (A.Q.T.)	Canada
1975	Organisme	Fondation de l'Agence spatiale européenne	Europe
1977	Organisme	La Société française de photogrammétrie (S.F.P.), fondée en 1959, devient la Société française de photogrammétrie et de télédétection (S.F.P.T.)	France
1977	Revue	Le <i>Bulletin de la S.F.P.</i> devient le <i>Bulletin de la S.F.P.T.</i>	France
Fin des années 1970	Appareil photographique	Prototypes d'appareils photographiques numériques	U.S.A.
1978	Satellite	Lancement du premier capteur d'observation des océans (SEASAT) à résolution de 25 m	U.S.A.
1980	Organisme	La Société internationale de photogrammétrie (S.I.P.), fondée en 1910, devient la Société internationale de photogrammétrie et de télédétection (S.I.P.T.)	Mondial
1980	Ordinateur	Mise sur le marché du premier ordinateur personnel (PC)	IBM (U.S.A.)
1980	Revue	Fondation de la revue <i>International Journal of Remote Sensing</i> (possibilité d'articles en français)	Université de Dundee (Écosse)
1981	Imagerie	Lancement du premier capteur radar imageur (SIR-A) à bord d'une navette spatiale	U.S.A.

1981	Organisme	La Société belge de photogrammétrie (S.B.P.), fondée en 1931, devient la Société belge de photogrammétrie et de télédétection (S.B.P.T.)	Belgique
1982	Imagerie	Lancement du satellite Landsat-4 avec le capteur Thematic Mapper à résolution de 30 m	U.S.A.
1982	Vidéographie	Premiers caméscopes professionnels (Betacam de Sony et Thompson, Quarter-cam de Bosch, Hawk-Eye de RCA)	U.S.A. et Allemagne
1984	Photographie	Photographies grand format à l'échelle de 1:800 000, prises, à partir de la navette spatiale, à l'aide d'une chambre grand format (LFT) construite en 1980	U.S.A.
1985	Organisme	L'American Society of Photogrammetry (A.S.P.), fondée en 1934, devient l'American Society of Photogrammetry and Remote Sensing (A.S.P.R.S.)	U.S.A.
1985	Organisme	La Société belge de photogrammétrie et télédétection (S.B.P.T.) devient la Société belge de photogrammétrie-télédétection et cartographie (S.B.P.T.C.)	Belgique
1986-1999 : imagerie à haute résolution spatiale et géomatique			
Milieu des années 1980	Ordinateur et logiciel	Début de l'utilisation généralisée des ordinateurs personnels et de logiciels conviviaux	Pays développés
1986	Géo-positionnement	Développement du GPS à usage civil	U.S.A.
1986	Imagerie	Lancement de SPOT-1 avec le capteur HRV(P) à résolution de 10 m (stéréoscopie possible)	France
1988	Appareil photographique	Premier appareil photographique numérique (Fujix DS-IP) commercial	Fuji et Toshiba (Japon)
1988	Organisme	Fondation du réseau de télédétection de l'Agence universitaire de la Francophonie	International
1989	Appareil photographique	Premier appareil photographique magnétique analogique IONRC 560	Canon (U.S.A.)
1989	Revue	La revue <i>Photogrammetria</i> devient <i>ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing</i>	Mondial

TABEAU 1 (suite)
Faits marquants liés au développement de la photointerprétation

Année	Domaine	Événement	Responsables
1993	Internet	Facilité de rechercher et d'obtenir des données multisources avec mise en service du WWW	International
1995	Politique	Démilitarisation des photographies aériennes et des images satellitaires à vocation militaire acquises avant 1980	U.S.A.
1995	Vidéographie	Premiers caméscopes numériques (JVC, Panasonic et Sony)	U.S.A.
1995	Imagerie	Lancement de RADARSAT-1 (stéréoscopie possible)	Canada
Depuis 1999 : imagerie à très haute résolution spatiale et retour à l'interprétation visuelle			
1999	Imagerie	Lancement de Landsat-7 (bande panchromatique à 15 m) avec le capteur ETM+	U.S.A.
1999	Imagerie	Lancement d'Earth Observing System (EOS) Terra : MODIS, ASTER, MISR	U.S.A.
1999	Imagerie	Lancement d'Ikonos-2 avec capteurs à résolution de 1 m en panchromatique et de 4 m en multibande	U.S.A.
2001	Imagerie	Lancement de Quickbird-2 avec capteurs à résolution au nadir de 0,61 m en panchromatique et de 2,24 m en multibande	U.S.A.
2003	Imagerie	Lancement d'OrbView-3 avec capteur panchromatique de 1 m	U.S.A.
2006	Photographie	Lancement d'EROS-B avec appareil photographique numérique de 0,7 m au nadir	U.S.A.

L. Provencher et J.-M. Dubois, Université de Sherbrooke (2006) ; principaux auteurs consultés : Bellone (1996), Blachut et Burkhardt (1988), Cahen (1990), Colwell (1984, 1997), Desjardins (2000), Estes *et al.* (1997), Estes et Hemphill (2003), Gruner (1977), McGlone (2004), Parry (1973), Paul *et al.* (1991), Philipson (1997), Roose (2005) et Scanvic (2006)

Annexe 2 :

Caractéristiques des principaux capteurs optiques utilisés en télédétection. Ordre par intervalle d'échantillonnage croissant. (Provencher et Dubois, 2007).

L'annexe 2 est composé de 6 pages (pp : 67 - 66) du quatrième chapitre (*photographie aérienne*) de l'ouvrage « précis de télédétection » Volume 4 : Méthodes de photo-interprétation et d'interprétation d'image.

TABEAU 4
Caractéristiques des principaux capteurs optiques utilisés en télédétection. Ordre par intervalle d'échantillonnage croissant

Capteur	Description	Bande	Résolution			Stéréoscopie	Espace représenté
			Longueur d'onde (µm)	Domaine spectral	Intervalle d'échantillonnage (m)		
Appareil photographique à pellicule	Photographies analogiques panchromatiques		Environ 0,3 – 0,7 0,7 – 0,9	Visible PIR	n/a (plutôt granularité)	Oui	Variable en fonction de l'échelle
Appareil photographique numérique	Imagerie RVB	1 2 3	0,45 – 0,52 0,52 – 0,62 0,63 – 0,69	Bleu Vert Rouge	Variable	Oui	Variable en fonction de l'échelle
Appareil vidéographique numérique	Imagerie multibande	1 2 3 4 5	459,8 nm ± 7,1 550,3 nm ± 4,3 569,1 nm ± 4,3 601,2 nm ± 4,3 650,5 nm ± 4,4	Bleu Jaune Jaune Orange Rouge	Variable	Possible avec logiciel approprié	Variable en fonction de l'échelle
Balayer linéaire Quickbird-2 (2001)	Imagerie satellitaire : – panchromatique	5	0,45 – 0,90		0,61 (nadir), 0,72 (–25°)	Possible par visée latérale de ±45° ou avant-arrière de ±30° Non Non Non Non	17 × 17 km 17 × 17 km
Appareil photographique numérique EROS-B (2006)	Panchromatique		0,45 – 0,52 0,52 – 0,60 0,63 – 0,69 0,76 – 0,89	Bleu Vert Rouge PIR	2,44 (nadir), 2,8 (–25°) 2,44 (nadir), 2,8 (–25°) 2,44 (nadir), 2,8 (–25°) 2,44 (nadir), 2,8 (–25°)	Oui, visée latérale de ±45°	13 × 13 km à 30 × 100 km
Appareil photographique numérique Ikonos-2 (depuis 1999)	Imagerie satellitaire : – panchromatique – multibande	1 2 3 4	0,45 – 0,90 0,45 – 0,52 0,52 – 0,60 0,63 – 0,69 0,76 – 0,85	Visible et PIR Bleu Vert Rouge PIR	1 4 4 4 4	Possible par visée latérale de ±45° ou avant-arrière de ±30° Non Non Non Non	13 × 13 km 13 × 13 km

OrbView-3 (depuis 2003)	Imagerie satellitaire : - panchromatique - multibande	0,45 - 0,90	Visible et PIR	1	Possible par visée latérale de $\pm 45^\circ$	8 x 8 km 8 x 8 km
		0,45 - 0,52		4		
		0,52 - 0,60		4		
		0,63 - 0,69		4		
		0,76 - 0,85		4		
Appareil photographique numérique EROS-AI (2000)	Panchromatique	0,50 - 0,90	Visible et PIR	0,7 (nadir) à 4	Oui, visée latérale de $\pm 45^\circ$	13 x 13 km à 30 x 100 km
Appareil photographique Corona (1959-1972)	Panchromatique	0,50 - 0,90	Visible et PIR	7,5 1,8 et 2,75	Non	
CASI	Imagerie multibandes aériennes	459,8 nm \pm 7,1	Visible et PIR	2	Non	Variable en fonction de la hauteur de vol
		550,3 nm \pm 4,3		2		
		569,1 nm \pm 4,3		2		
		601,2 nm \pm 4,3		2		
		650,5 nm \pm 4,4		2		
		679,0 nm \pm 4,4		2		
		699,0 nm \pm 5,3		2		
		711,4 nm \pm 4,4		2		
		730,5 nm \pm 4,4		2		
		750,6 nm \pm 5,3		2		
		759,2 nm \pm 4,4		2		
		780,3 nm \pm 4,4		2		
		803,3 nm \pm 4,4		2		
		847,4 nm \pm 4,4		2		
Appareil photographique SPI N-2 (1998)	Photographie satellitaire panchromatique numérisée			2 10	Non Oui	180 x 180 km 200 x 200 km
HRG de SPOT-5 (2002)	Imagerie satellitaire : - panchromatique - multibande	0,51 - 0,73	Visible	2,1 à 3,0 et 5	Possible par visée latérale de $\pm 27^\circ$	En visée nadirale : 60 x 60 km 60 x 60 km Possibilité de 60 x 110 km
		0,50 - 0,59		10		
		0,61 - 0,68		10		
		0,79 - 0,89		10		
		1,58 - 1,75		20		

TABEAU 4 (suite)
Caractéristiques des principaux capteurs optiques utilisés en télédétection. Ordre par intervalle d'échantillonnage croissant

Capteur	Description	Bande	Résolution			Stéréoscopie	Espace représenté
			Longueur d'onde (μm)	Domaine spectral	Intervalle d'échantillonnage (m)		
PAN de IRS-1C (1995) et IRS-1D (1997)	Imagerie satellitaire panchromatique		0,50 – 0,75	Visible et PIR	5,8	Oui, par visée latérale de $\pm 26^\circ$	70 x 70 km
HRV de SPOT-5 (2002)	Imagerie satellitaire panchromatique (pour MIN.A.)		0,50 – 0,70	Visible et PIR	10	Oui, par visée avant-arrière	120 x 120 km
HRV de SPOT-1 à 3 (1986 à 1996)	Imagerie satellitaire : – panchromatique – multibande	HRV 1 HRV 2 HRV 3	0,51 – 0,73 0,50 – 0,59 0,61 – 0,68 0,79 – 0,89	Visible et PIR Bleu Vert Rouge	10 20 20 20	Possible par visée latérale de $\pm 30^\circ$ Non Non Non	En visée nadirale : 60 x 60 km 60 x 60 km Possibilité de 60 x 110 km
HRVIR de SPOT-4 (depuis 1999)	Imagerie satellitaire : – panchromatique – multibande	HRVIR 1 HRVIR 2 HRVIR 3 HRVIR 4	0,51 – 0,73 ou ? 0,45 – 0,90 0,50 – 0,59 0,59 – 0,75 0,79 – 0,89 1,58 – 1,75	Visible et PIR Vert Rouge PIR IRM	10 20 20 20 20	Possible par visée latérale de $\pm 27^\circ$ Non Non Non Non	En visée nadirale : 60 x 60 km 60 x 60 km Possibilité de 60 x 110 km
ETM+ de Landsat-7 (depuis 1999)	Imagerie satellitaire : – panchromatique – multibande	ETM 1 ETM 2 ETM 3 ETM 4 ETM 5 ETM 6 ETM 7	0,50 – 0,90 0,45 – 0,52 0,52 – 0,60 0,63 – 0,69 0,76 – 0,90 1,55 – 1,75 2,08 – 2,35 10,4 – 12,5	Visible Bleu Vert Rouge PIR PIR IRM IRT	15 30 30 30 30 30 30 60	Non Non Non Non Non Non Non	172 x 185 km 172 x 185 km

ASTER de TERRA (1999)	Imagerie satellitaire multibande	1	0,52 - 0,60	Vert Rouge PIR PIR IRM IRM IRM IRM IRM IRM IRT IRT IRT IRT IRT	15 15 15 15 30 30 30 30 30 30 90 90 90 90	Oui, visée latérale $\pm 24^\circ$ Oui, visée arrière Oui, visée latérale $\pm 9^\circ$ Oui, visée latérale $\pm 9^\circ$	60 x 60 km 60 x 60 km 60 x 60 km
		2	0,63 - 0,69				
		3	0,76 - 0,86				
		4	0,76 - 0,86				
		5	1,60 - 1,70				
		6	2,14 - 2,19				
		7	2,18 - 2,23				
		8	2,23 - 2,29				
		9	2,29 - 2,37				
		10	2,36 - 2,43				
		11	8,12 - 8,48				
		12	8,47 - 8,83				
		13	8,92 - 9,28				
		14	10,25 - 10,95 10,95 - 11,65				
OPS de IERS-1 (1992 à 1995)	Imagerie satellitaire multibande		0,52 - 0,60	Vert Rouge PIR PIR (vue arrière) IRM IRM IRM	18 18 18 18 18 18 18	Non Non Non Non Non Non Non	75 x 75 km
			0,63 - 0,69				
			0,76 - 0,86				
LISS-III de IRS-1C (1995) et IRS-1D (1997)	Imagerie satellitaire multibande		0,52 - 0,59	Vert Rouge PIR IRM Rouge	23 23 23 70 188	Non Non Non Non Non	141 x 141 km
			0,62 - 0,68				
			0,77 - 0,86				
TM de Landsat-4 et 5 (depuis 1983)	Imagerie satellitaire multibande		1,55 - 1,70	Bleu Vert Rouge PIR PIR IRT PIR	30 30 30 30 30 120 30	Non Non Non Non Non Non Non	172 x 185 km
			0,62 - 0,68				
			0,45 - 0,52				
			0,52 - 0,60				
			0,63 - 0,69				
			0,76 - 0,90				
			1,55 - 1,75				
	10,4 - 12,5 2,08 - 2,35						
MSS de Landsat-1 à 5 (depuis 1972)	Imagerie satellitaire multibande		0,5 - 0,6	Bleu et vert Rouge PIR PIR IRT	57 x 79 57 x 79 57 x 79 57 x 79 120	Non Non Non Non Non	172 x 185 km
			0,6 - 0,7				
			0,7 - 0,8				
			0,8 - 1,1				
			10,4 - 12,6				

TABEAU 4 (suite)
Caractéristiques des principaux capteurs optiques utilisés en télédétection. Ordre par intervalle d'échantillonnage croissant

Capteur	Description	Bande	Résolution				Stéréoscopie	Espace représenté
			Longueur d'onde (µm)	Domaine spectral	Intervalle d'échantillonnage (m)			
WiFS de IRS-1C (1995) et IRS-1D (1997)	Imagerie satellitaire		0,77 – 0,86	PIR	188	Non	774 × 774 km	
MODIS de TERRA (1999)	Imagerie satellitaire multibande	1	0,62 – 0,67	Rouge	250	Non	10 × 2 330 km	
		2	0,84 – 0,88	PIR	250	Non	10 × 2 330 km	
		3	0,46 – 0,48	Bleu	500	Non		
		4	0,54 – 0,57	Vert	500	Non		
		5	1,23 – 1,25	IRM	500	Non		
		6	1,63 – 1,65	IRM	500	Non		
		7	2,10 – 2,16	IRM	500	Non		
		8	0,40 – 0,42	Violet	1 000	Non		
		9	0,44 – 0,45	Bleu	1 000	Non		
		10	0,48 – 0,49	Bleu	1 000	Non		
		11	0,52 – 0,54	Vert	1 000	Non		
		12	0,55 – 0,56	Vert	1 000	Non		
		13	0,66 – 0,67	Rouge	1 000	Non		
		14	0,67 – 0,68	Rouge	1 000	Non		
		15	0,74 – 0,75	PIR	1 000	Non		
		16	0,86 – 0,88	PIR	1 000	Non		
		17	0,89 – 0,92	PIR	1 000	Non		
		18	0,93 – 0,94	PIR	1 000	Non		
		19	0,92 – 0,97	PIR	1 000	Non		
		20	3,66 – 3,84	IRM	1 000	Non		
		21	3,93 – 3,99	IRM	1 000	Non		
		22	3,93 – 3,99	IRM	1 000	Non		
		23	4,02 – 4,08	IRT	1 000	Non		
		24	4,43 – 4,50	IRT	1 000	Non		
		25	4,48 – 4,55	IRT	1 000	Non		
		26	1,36 – 1,39	IRM	1 000	Non		
		27	6,53 – 6,90	IRT	1 000	Non		
		28	7,17 – 7,48	IRT	1 000	Non		
		29	8,40 – 8,70	IRT	1 000	Non		
		30	9,58 – 9,88	IRT	1 000	Non		
		31	10,78 – 11,28	IRT	1 000	Non		
		32	11,77 – 12,27	IRT	1 000	Non		
		33	13,18 – 13,44	IRT	1 000	Non		
		34	13,48 – 13,79	IRT	1 000	Non		
		35	13,78 – 14,09	IRT	1 000	Non		
		36	14,08 – 14,39	IRT	1 000	Non		

<p>VGT de SPOT-4 (depuis 1998)</p>	<p>Imagerie satellitaire multibande</p>	<p>VGT 1 VGT 2 VGT 3 VGT 4 VGT 5</p>	<p>0,43 – 0,47 0,50 – 0,59 0,61 – 0,68 0,79 – 0,89 1,58 – 1,75</p>	<p>Bleu Vert Rouge PIR IRM</p>	<p>1 100 1 100 1 100 1 100 1 100</p>	<p>Non Non Non Non Non</p>	<p>2 200 × 2 200 km</p>
<p>VGT de SPOT-5 (2002)</p>	<p>Imagerie satellitaire multibande</p>	<p>VGT 1 VGT 2 VGT 3 VGT 4 VGT 5</p>	<p>0,43 – 0,47 0,50 – 0,59 0,61 – 0,68 0,79 – 0,89 1,58 – 1,75</p>	<p>Bleu Vert Rouge PIR IRM</p>	<p>1 100 1 100 1 100 1 100 1 100</p>	<p>Non Non Non Non Non</p>	<p>2 250 × 2 250 km</p>
<p>AVHRR de NOAA-6 à 14 (depuis 1979)</p>	<p>Imagerie satellitaire multibande</p>	<p>1 2 3 4 5</p>	<p>0,58 – 0,68 0,72 – 1,10 3,55 – 3,93 10,3 – 11,3 11,4 – 12,4</p>	<p>Rouge PIR IRT IRT IRT</p>	<p>1 100 1 100 1 100 1 100 1 100</p>	<p>Non Non Non Non Non</p>	<p>2 400 × 2 400 km</p>

ASTER : Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer

AVHRR : Advanced Very High Resolution Radiometer

CASI : Compact Airborne Spectrographic Imager

EROS : Earth Resources Observation Systems

ETM : Enhanced Thematic Mapper

HRG : High Resolution Geometric

HRS : High Resolution Stereoscopic

HRV : Haute résolution visible

HRVIR : Haute résolution visible et infra-rouge

IRS : Indian Remote Sensing Satellite

LISS : Linear Imaging Self Scanner

MODIS : Moderate-resolution Imaging Spectroradiometer

MSS : Multi Spectral Scanner

OPS : Optical Sensors

PAN : Panchromatic

TM : Thematic Mapper

VGT : Vegetation