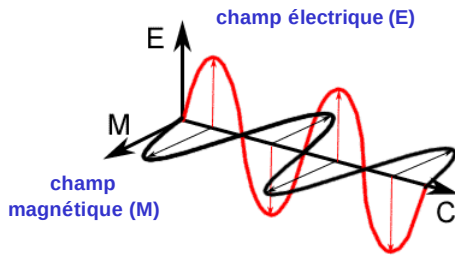


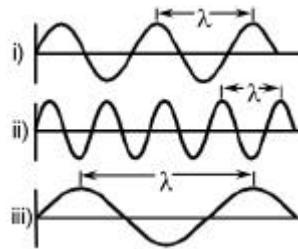
Rayonnement électromagnétique



G. Davian (CEPAM - CNRS)

7

Longueur d'onde et la fréquence



$$c = n \cdot \lambda$$

avec

λ = longueur d'onde

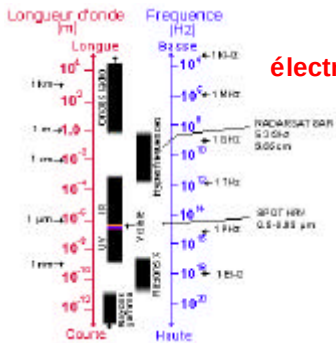
n = la fréquence

c = vitesse de la lumière

G. Davian (CEPAM - CNRS)

8

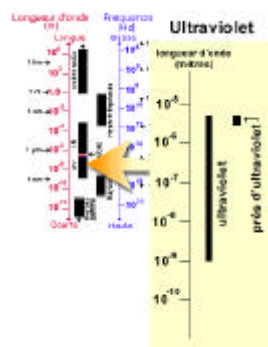
Spectre électromagnétique



G. Davian (CEPAM - CNRS)

9

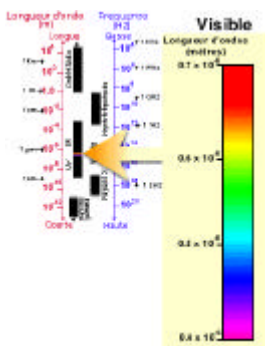
Spectre électromagnétique



G. Davian (CEPAM - CNRS)

10

Spectre électromagnétique



G. Davian (CEPAM - CNRS)

11

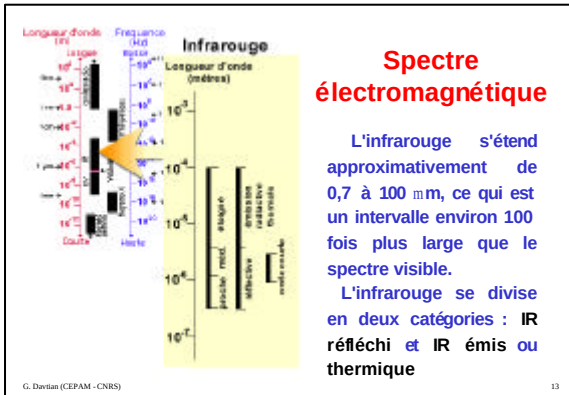
Spectre électromagnétique



- violet : 0.4 - 0.446 μm
- bleu : 0.446 - 0.500 μm
- vert : 0.500 - 0.578 μm
- jaune : 0.578 - 0.592 μm
- orange : 0.592 - 0.620 μm
- rouge : 0.620 - 0.7 μm

G. Davian (CEPAM - CNRS)

12



Photographie ou image?

Processus photographique utilise une réaction chimique sur une surface sensible à la lumière pour capter et enregistrer les variations d'énergie

Une image est une représentation graphique, quels que soit la longueur d'onde ou le dispositif de télédétection qui ont été utilisés pour capter et enregistrer l'énergie électromagnétique

G. Davtian (CEPAM - CNRS)

Photographie ou image?

170	236	85	255	221	0
56	136	17	170	119	68
221	0	236	136	0	255
119	255	85	170	136	236
236	17	221	68	119	255
85	170	119	221	17	136

Une photographie peut être présentée et affichée en format numérique en divisant l'image en petits morceaux de taille et de forme égales, que nous nommons **pixels**. La luminosité de chaque pixel est représentée par une valeur numérique

G. Davtian (CEPAM - CNRS)

Photographie ou image?

L'information d'une gamme étroite de longueur d'onde est captée et emmagasinée sous forme numérique dans un fichier représentant la bande de longueurs d'onde. Il est ensuite possible de combiner et d'afficher de ces bandes d'information numérique en utilisant les trois couleurs primaires (**rouge**, **vert**, **bleu**).

Les données de chaque bande sont représentées comme une couleur primaire et, selon la luminosité relative de chaque pixel dans chaque bande, les couleurs se combineront en proportions différentes pour produire des couleurs distinctes.

G. Davtian (CEPAM - CNRS)

Image numérique

Parce que la luminosité de chaque pixel est la même pour chaque couleur primaire, les couleurs se combinent et produisent une image en noir et blanc. L'image est donc affichée avec ses différentes teintes de gris, de noir à blanc

G. Davtian (CEPAM - CNRS)

Image numérique

Lorsque on affiche plus d'une bande, chaque bande ayant une couleur primaire différente, le niveau de luminosité peut être différent pour chaque combinaison de bandes ou de couleurs primaires, et les couleurs se combinent pour former un composé couleurs

G. Davtian (CEPAM - CNRS)

Enregistrement de l'énergie par le capteur

Pour enregistrer adéquatement l'énergie réfléchie ou émise par une surface ou une cible donnée, on doit installer un **capteur** sur une **plate-forme distante de la surface ou de la cible observée**.

Ces plates-formes peuvent être situées près de la surface terrestre (par ex. au sol, dans un avion ou un ballon un cerf-volant), ou à l'extérieur de l'atmosphère terrestre (par ex. sur un véhicule spatial ou un satellite

Enregistrement de l'énergie par le capteur

Navette
spatial



Capteur
au sol



Enregistrement de l'énergie par le capteur



Les **satellites** sont les plates-formes placées en orbite de la Terre pour les besoins de la télédétection, des communications et de la télémétrie (positionnement et navigation).

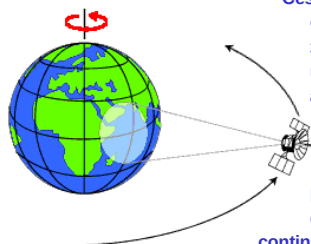
Caractéristiques d'un satellite : l'orbite et sa fauchée

La trajectoire effectuée par un satellite autour de la Terre est appelée **orbite**.

L'orbite d'un satellite est choisie en fonction de la capacité des capteurs qu'il transporte et des objectifs de sa mission.

Le choix d'une orbite est déterminé par l'altitude (la hauteur du satellite au-dessus de la surface de la Terre), l'orientation et la rotation du satellite par rapport à la Terre

Caractéristiques d'un satellite



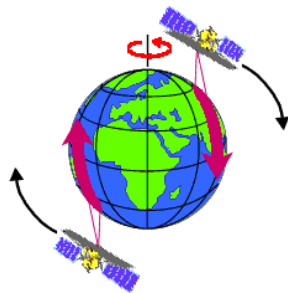
Ces satellites géostationnaires ont une altitude d'environ 36000 km et se déplacent à une vitesse qui correspond à celle de la Terre, donnant ainsi l'impression qu'ils sont stationnaires. Cette configuration orbitale permet au satellite d'observer et d'amasser continuellement de l'information sur une région spécifique.

Caractéristiques d'un satellite



D'autres plates-formes spatiales suivent une orbite (appelé **orbite quasi polaire** à cause de l'inclinaison de l'orbite par rapport à une ligne passant par les pôles Nord et Sud de la Terre) allant pratiquement du nord au sud ou vice versa. Cette configuration, combinée à la rotation de la Terre (ouest-est), fait qu'au cours d'une certaine période, les satellites ont observé la presque totalité de la surface de la Terre.

Caractéristiques d'un satellite



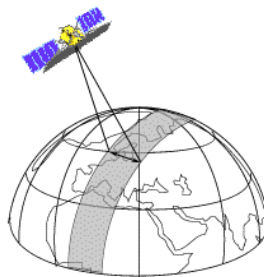
La plupart des plates-formes satellitaires sont placées sur orbite quasi-polaire. Elles se déplacent donc vers le nord d'un côté de la Terre, et vers le sud dans l'autre moitié de leur orbite. Ces deux types de passage du satellite se nomment respectivement :

- orbite ascendante
- orbite descendante

G. Davtian (CEPAM - CNRS)

25

Caractéristiques d'un satellite



Lorsqu'un satellite est en orbite autour de la Terre, le capteur "observe" une certaine partie de la surface. Cette surface porte le nom de **couloir-couvert ou scène**. Les capteurs sur plate-forme spatiale ont une fauchée dont la largeur varie généralement entre une dizaine et une centaine de kilomètres

G. Davtian (CEPAM - CNRS)

26

Caractéristiques d'un satellite : l'orbite et sa fauchée

Vue de la Terre, la trajectoire du satellite semble avoir une composante vers l'ouest à cause de la rotation de la Terre.

Ce mouvement apparent du satellite permet à la fauchée du capteur d'observer une **nouvelle région à chacun des passages consécutifs** du satellite.

L'orbite du satellite et la rotation de la Terre travaillent donc de concert, permettant une couverture complète de la surface de la planète après un cycle orbital complet

G. Davtian (CEPAM - CNRS)

27

Caractéristiques d'un satellite : cycle de passage

Les points sur la surface de la Terre qui se trouvent directement en dessous de la trajectoire du satellite sont appelés les points **nadir**.

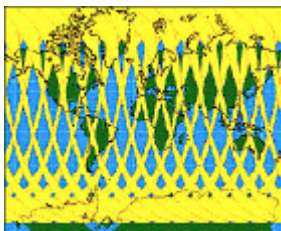
On définit le **cycle de passage** du satellite comme étant la période de temps nécessaire pour que le satellite revienne au-dessus d'un point nadir pris au hasard.

Le satellite aura alors effectué un cycle orbital complet

G. Davtian (CEPAM - CNRS)

28

Caractéristiques d'un satellite

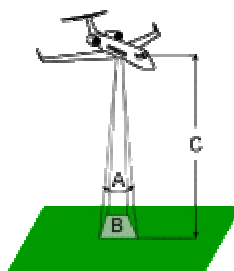


Les satellites à orbite quasi-polaire ont une couverture plus fréquente des régions de latitude élevée par rapport à la couverture des zones équatoriales. Cette plus grande couverture est due à l'élargissement, vers les pôles, de la zone de **chevauchement entre deux couloir-couvert adjacents**

G. Davtian (CEPAM - CNRS)

29

Résolution spatiale



Le détail qu'il est possible de discerner sur une image dépend de la **résolution spatiale** du capteur utilisé.

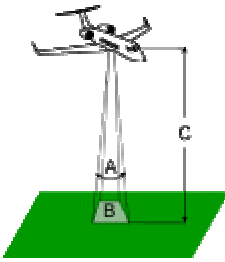
La résolution spatiale est fonction de la dimension du plus petit élément qu'il est possible de détecter.

La résolution spatiale d'un capteur dépend de son **champ de vision instantanée (CVI)**

G. Davtian (CEPAM - CNRS)

30

Résolution spatiale



Le CVI est défini comme étant le cône visible du capteur (A) et détermine l'aire de la surface "visible" à une altitude donnée et à un moment précis (B).

La grandeur de cette aire est obtenue en multipliant le CVI par la distance de la surface au capteur (C).

Cette aire est appelée la superficie de résolution ou cellule de résolution et constitue une étape critique pour la détermination de la résolution spatiale maximale du capteur

G. Davtian (CEPAM - CNRS)

31

Résolution spatiale



Les images sur lesquelles seuls les grands éléments sont visibles ont une résolution "grossière" ou "basse"

G. Davtian (CEPAM - CNRS)

32

Résolution spatiale

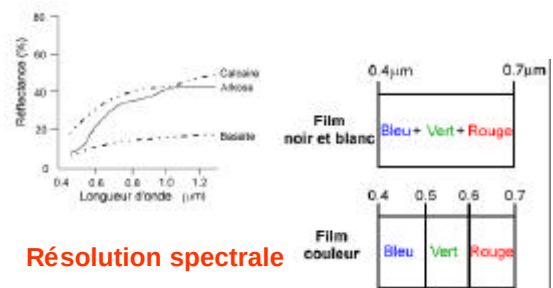


Les images à résolution fine ou élevée permettent l'identification d'éléments de plus petites dimensions.

Les capteurs utilisés par les militaires par ex., sont conçus pour obtenir le plus de détails possible.

G. Davtian (CEPAM - CNRS)

33



Résolution spectrale

G. Davtian (CEPAM - CNRS)

34

Résolution radiométrique

La résolution radiométrique d'un système de télédétection décrit sa capacité de reconnaître de petites différences dans l'énergie électromagnétique

Plus la résolution radiométrique d'un capteur est fine, plus le capteur est sensible à de petites différences dans l'intensité de l'énergie reçue

La gamme de longueurs d'onde à l'intérieur de laquelle un capteur est sensible se nomme plage dynamique

G. Davtian (CEPAM - CNRS)

35

Résolution radiométrique

Les données images sont représentées par une valeur numérique variant entre 0 et 2ⁿ à une certaine puissance moins un. Cet intervalle correspond à un nombre de bits utilisés pour encoder des valeurs en format binaire. Chaque bit représente un exposant de la base 2 (1 bit = 2¹ = 2).

Par ex., un capteur utilisant 8 bits pour enregistrer les données aura 2⁸ = 256 niveaux d'intensité disponibles car il aura 256 valeurs numériques disponibles allant de 0 à 255.

Si seulement 4 bits sont utilisés, alors seulement 2⁴ = 16 valeurs allant de 0 à 15 seront disponibles. La résolution radiométrique sera donc plus faible.

G. Davtian (CEPAM - CNRS)

36

Résolution radiométrique

Comparaison d'une image de 2 bits à une image de 8 bits



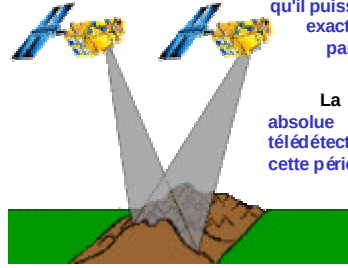
G. Davtian (CEPAM - CNRS)

37

Résolution temporelle

Il faut quelques jours à un satellite pour qu'il puisse observer de nouveau exactement la même scène à partir du même point dans l'espace.

La résolution temporelle absolue du système de télédétection est donc égale à cette période



G. Davtian (CEPAM - CNRS)

38

Photographies aériennes dans le spectre électromagnétique

Domaines spectraux	Longueurs d'onde	Appareil de télédétection
Ultraviolet	200 nm (*)	Scanner ultraviolet
Visible	400 nm	Photographies noir et blanc, couleur
	700 nm	Photographies multibandes
Infrarouge	Proche: 900 nm, 1100 nm	Infrarouge noir et blanc
	Moyen: 2000 nm, 5500 nm	Fausse couleur (CIR)
	Lointain: 8000 nm, 14000 nm	Photographies multibandes
		Scanner infrarouge et thermographie infrarouge

(*) nm = 10^{-9} m (nanomètre)

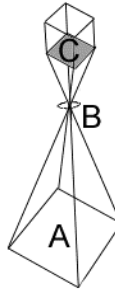
G. Davtian (CEPAM - CNRS)

39

Appareils photographiques

Les appareils photographiques sont des systèmes qui enregistrent un cliché presque instantané d'une région (A) de la surface.

Ces appareils sont des capteurs optiques passifs qui utilisent une lentille (B) (ou un système de lentilles) afin de former une image sur le plan focal (C), plan sur lequel l'image est bien définie



G. Davtian (CEPAM - CNRS)

40

Appareils photographiques

La photographie couleur et pseudo-couleur (ou couleur infrarouge (CIR)) nécessite l'utilisation de trois niveaux de sensibilité dans la pellicule, chaque niveau étant sensible à trois bandes de longueurs d'onde. Pour une **photographie couleur normale** les niveaux sont sensibles à la lumière bleue, verte et rouge, comme notre œil.



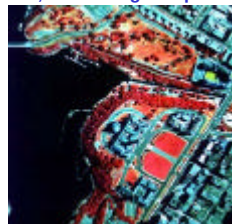
Ces photos nous apparaissent de la même façon que notre œil perçoit l'environnement et les couleurs apparaissent normales.

G. Davtian (CEPAM - CNRS)

41

Appareils photographiques

Pour les photographies couleur infrarouge, les trois niveaux de sensibilité enregistrent le vert, le rouge et une portion du proche infrarouge qui sont ensuite traités pour apparaître bleu, vert et rouge respectivement.



Pour les **photographies pseudo-couleur**, les cibles ayant une forte réflectivité dans le proche infrarouge apparaissent rouges, celles qui ont une forte réflectivité dans le rouge apparaissent vertes et celles avec une forte réflectivité dans le vert apparaissent bleues

G. Davtian (CEPAM - CNRS)

42

Appareils photographiques

Les appareils photographiques peuvent être installés sur plusieurs types de plates-formes (terrestre, aérienne ou spatiale). Des photographies très détaillées sont prises à partir d'avions et sont utilisées là où l'identification de petits détails est nécessaire.

La superficie couverte par une photo dépend de différents facteurs dont la distance focale de la lentille, l'altitude de la plate-forme et la dimension de la pellicule.

La distance focale typique pour ces appareils est de 152 mm, mais on utilise aussi des lentilles de distance focale de 90 mm et 210 mm. Plus la distance focale est grande, plus la superficie couverte au sol est petite mais plus il y a de détails (c-à-d. une échelle plus grande).

Appareils photographiques

Les appareils photographiques numériques qui enregistrent l'énergie électromagnétique de façon électronique sont très différents des appareils photographiques utilisant une pellicule.

Dans ces appareils numériques, la pellicule est remplacée par une grille de CCD (charge coupled devices, ou en français : dispositifs de couple de charges).

Les CCD réagissent individuellement à la radiation électromagnétique les atteignant et produisent une charge électronique proportionnelle à l'intensité de l'énergie provenant de la surface.

Une valeur numérique correspondante est ensuite assignée à chaque pixel pour chacune des bandes spectrales utilisées.

Les émulsions photographiques

Panchromatiques (noir et blanc) avec une sensibilité couvrant le spectre visible (400 – 700 nm). Les teintes vont du blanc (objets très réfléchissants) au noir (objets très réfléchissants), en passant par différentes nuances de gris.



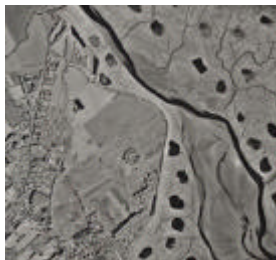
Les émulsions photographiques

Couleurs naturelles avec une sensibilité de 400 – 700 nm, mais l'intensité des radiations traduit par une couleur qui est la combinaison de trois couches sensibles dans les bandes rouge, vert et bleu.



Les émulsions photographiques

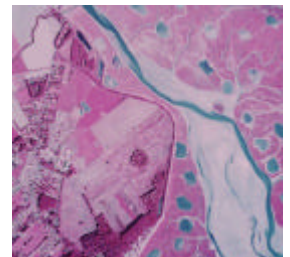
Infrarouge noir et blanc avec une sensibilité comprise entre 700 – 900 nm. Les teintes vont du blanc au noir en passant par une échelle de gris.

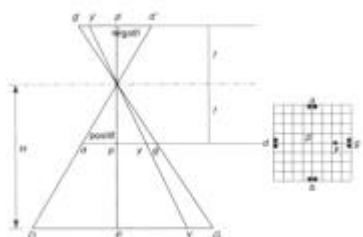


Les émulsions photographiques

Infrarouge couleur : avec une sensibilité plus large allant de 500 à 900 nm.

Les couches sensibles correspondent aux domaines vert, rouge et proche infrarouges ce qui permet de différencier plus facilement les végétaux chlorophylliens, traduits par diverses nuances de rouge.





Les types de photos aériennes

Photo verticale : l'axe optique de la caméra est vertical et passe par le nadir(P). Le rapport H/f , où H est la hauteur de la caméra au-dessus du terrain et f la focale de la caméra, est égal à l'inverse de l'échelle.

G. Davtian (CEPAM - CNRS)

49

Les types de photos aériennes

Les photographies verticales prises avec un appareil photographique à lentille unique sont les photos aériennes les plus communes en télédétection et en cartographie.

Ces appareils photographiques sont spécialement faits pour exécuter rapidement une série de clichés, en limitant la distorsion géométrique.

Ils sont souvent reliés à un système de navigation à bord de l'avion, ce qui permet une identification précise des coordonnées géographiques qui sont automatiquement assignées à chaque photographie. La plupart de ces systèmes ont aussi un mécanisme qui compense pour l'effet du déplacement de l'avion par rapport au sol, de façon à limiter, encore une fois, toutes distorsions dans l'image.

G. Davtian (CEPAM - CNRS)

50

Les types de photos aériennes

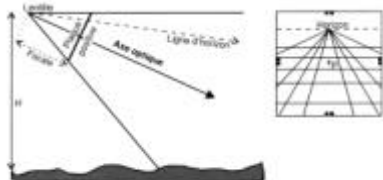
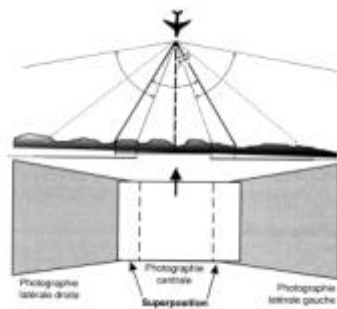


Photo oblique panoramique : l'axe optique de la caméra fait un angle de plus 5° avec la verticale. Un carré tracé sur le sol apparaît comme un trapèze. Le nadir n'est plus photographié et l'horizon est visible sur le cliché.

G. Davtian (CEPAM - CNRS)

51

Les types de photos aériennes

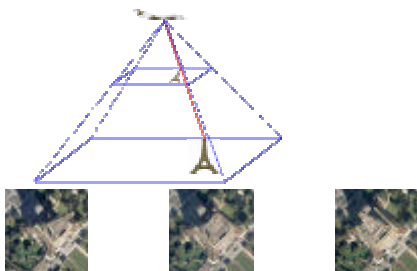


Deux photos obliques panoramiques associées à une photo verticale constituent le système trim érogon.

Elle permettent une cartographie rapide de reconnaissance.

G. Davtian (CEPAM - CNRS)

52



Représentation en géométrie perspective des rapports entre les objets au sol, les trois images et leurs emprises au sol ainsi que la position de l'avion

G. Davtian (CEPAM - CNRS)

53

Les types de photos aériennes

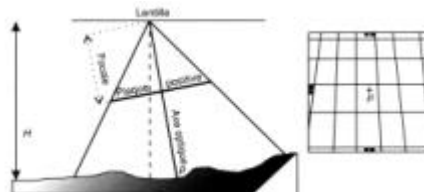
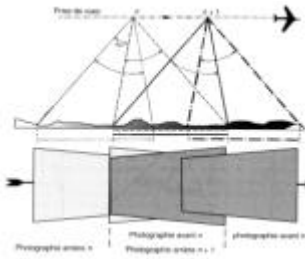


Photo oblique basse : l'axe optique de la caméra fait un angle de plus 5° avec la verticale. Un carré tracé sur le sol apparaît comme un trapèze. Le nadir n'est plus photographié et l'horizon n'apparaît pas.

G. Davtian (CEPAM - CNRS)

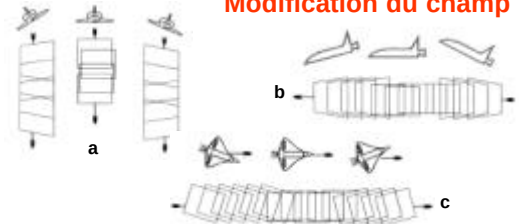
54

Les types de photos aériennes



On peut prendre deux photos, soit à gauche et à droite de l'appareil, soit une devant et l'autre derrière. Il s'agit d'une prise de vues convergente. Selon les angles d'inclinaison des caméras, le recouvrement atteint alors 100%.

Modification du champ



Les roulis(a), les tangages(b) et les lacets(c) modifient la trajectoire de l'avion et donc celle de la caméra, ce qui modifie la surface couverte au sol. Ainsi, sur chaque cliché, un niveau sphérique donne l'écart de l'axe de la chambre métrique avec verticale.

Les types de photos aériennes



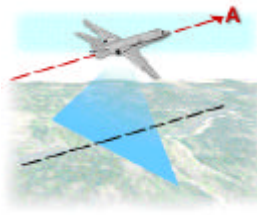
Photo verticale



Photo oblique

Organisation et recouvrement

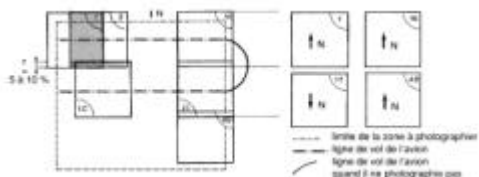
Afin d'obtenir des photographies aériennes verticales, l'avion survole la surface terrestre le long de lignes appelées **lignes de vol**. Les photos sont prises rapidement, l'appareil photographique étant pointé directement vers le sol.



Deux photos successives ont un pourcentage de chevauchement de 50% à 60% (A) et peut aller jusqu'à 90%.

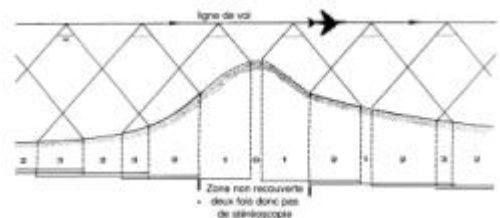
Ce chevauchement entre les images assure une couverture totale de la superficie le long de la ligne de vol et facilite la visualisation stéréoscopique des photographies

Organisation et recouvrement



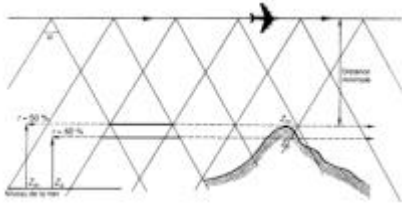
Les lignes de vol successives sont parallèles entre elles définissant ainsi des bandes de photos. Afin de pouvoir offrir la vision en relief, les photos doivent présenter un recouvrement. Les photos de chaque bande recouvrent un peu celles de bande adjacente. Le recouvrement latéral(r) varie de 10 à 20%.

Divers recouvrement d'une zone



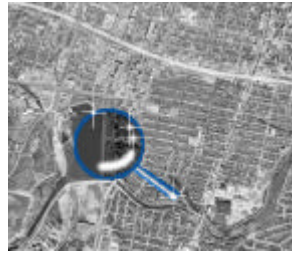
a est l'angle d'ouverture de la caméra, les chiffres 3, 2, 1 et 0 indiquent le nombre de clichés couvrant la zone délimitée par un trait horizontal.

Divers recouvrement d'une zone



A une altitude différente on déduit la distance minimale devant exister la ligne de vol et l'altitude maximale Z_m , pour que le recouvrement soit au minimum de 50%. Z_0 correspond à l'altitude au-dessous de laquelle, en tous points, le recouvrement sera au moins de 60%.

L'imagerie est présentée dans un **format photographique**, indépendamment du type de capteurs et de la manière dont les données sont acquises.



Analyse d'image format analogique

Les images de télédétection sont représentées au moyen d'un **ordinateur** par une matrice de pixels, où chaque **pixel** correspondant à un nombre, représentant le niveau d'intensité du pixel



Analyse d'image format numérique

Analyse d'image

- Éléments d'interprétation visuelle
- Traitement numérique des images
 - pré-traitement
 - rehaussement de l'image
 - transformation de l'image
 - classification et analyse de l'image

Éléments d'interprétation visuelle

Ton réfère à la clarté relative ou la couleur (teinte) des objets dans une image

La nuance de **ton** est l'élément fondamental pour différencier les cibles et les structures. Les variations de **ton** permettent aussi la différenciation des **formes**, **textures** et **patrons** des objets



Éléments d'interprétation visuelle

Forme réfère à l'allure générale, la structure ou le contour des objets individuellement pris

