



## ***NEPAD CENTRES OF EXCELLENCE ON WATER SCIENCES AND TECHNOLOGY - PHASE II***

***“Human Capacity Development Programme addressing Junior Professional and Technician level capacity challenges”***

### **Module de cours n°4**

# **Initiation à la Photogrammétrie et à la cartographie numérique**

#### **Animateurs :**

**Prof. Awa NIANG FALL**

**Dr. El Hadji Abdou Karim KEBE**

*Université Cheikh Anta Diop de Dakar, Senegal*

# Objectifs du cours

## Au terme de ce cours, vous serez en mesure:

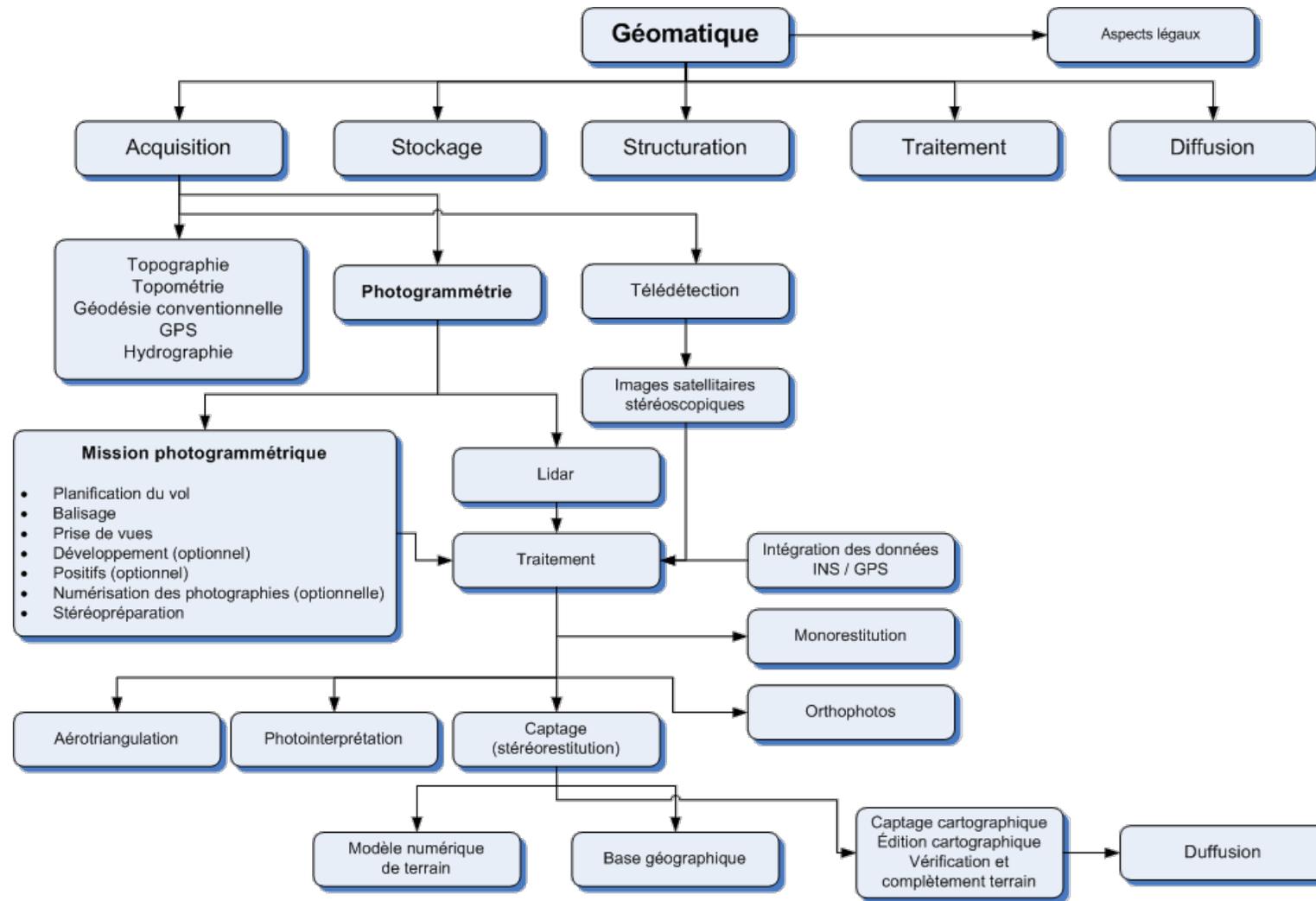
- de situer la photogrammétrie par rapport à d'autres techniques d'acquisition des données;
- de définir ce qu'est la photogrammétrie;
- de saisir les différences entre la géométrie de l'image et celle de la carte;
- de décrire les étapes menant à la réalisation d'une carte de base;
- d'expliquer la technique utilisée pour l'orientation absolue d'une image;
- de décrire les méthodes d'observation stéréoscopique.

# Contenu du cours

- Situation de la photogrammétrie par rapport à la géomatique
- Définition et domaines d'application
- Géométrie de la photographie aérienne
- Étapes de production d'une carte de base et normes
- Modèle numérique de terrain
- Ortho-image

# **SITUATION DE LA PHOTOGRAMMÉTRIE PAR RAPPORT À LA GÉOMATIQUE**

# Situation de la photogrammétrie par rapport à la géomatique



# **DÉFINITIONS ET DOMAINES D'APPLICATIONS**

# Définitions et domaines d'applications

	Photo	gram	métrie
<i>Grec</i>	<i>(photos)</i>	<i>(gramma)</i>	<i>(métron)</i>
	Lumière	Écriture	Mesure

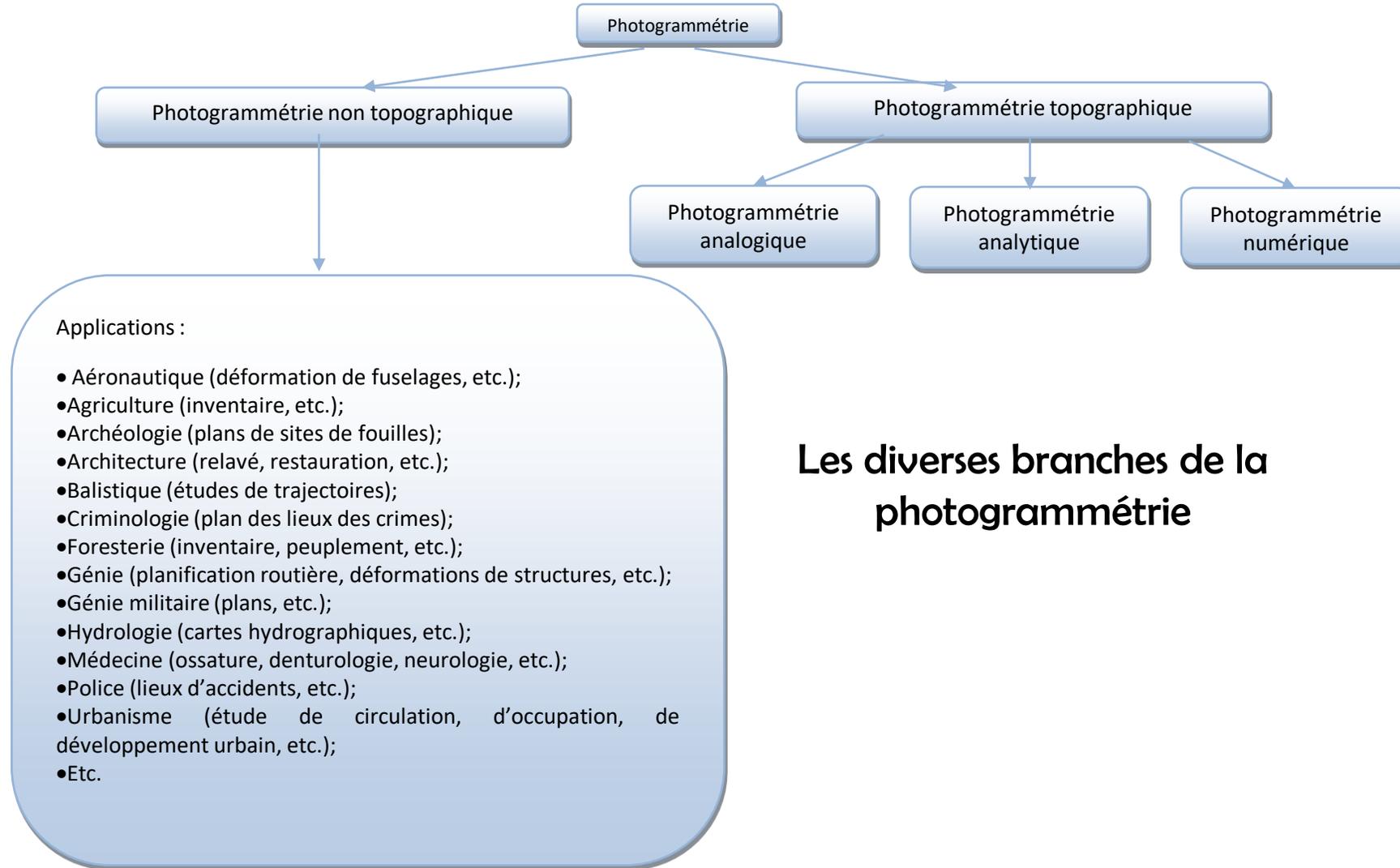
Science dont le but est d'obtenir des informations **quantitatives** et **qualitatives** à partir d'images (de photographies ou de tout autre enregistrement du **spectre électromagnétique**).

# Définitions et domaines d'applications

Par rapport aux autres moyens de captage, la photogrammétrie offre plusieurs avantages:

- une gamme d'échelle allant de la microscopie aux images prises à haute altitude;
- la collecte d'une infinité de points se trouvant sur l'image;
- ne requiert pas de contact avec l'objet ou le terrain à mesurer;
- la possibilité de mesurer des données temporelles;
- une solution de captage économique;
- n'est pas soumise aux contraintes de la circulation, aux aléas de la température, l'accès, la topographie du terrain, etc.

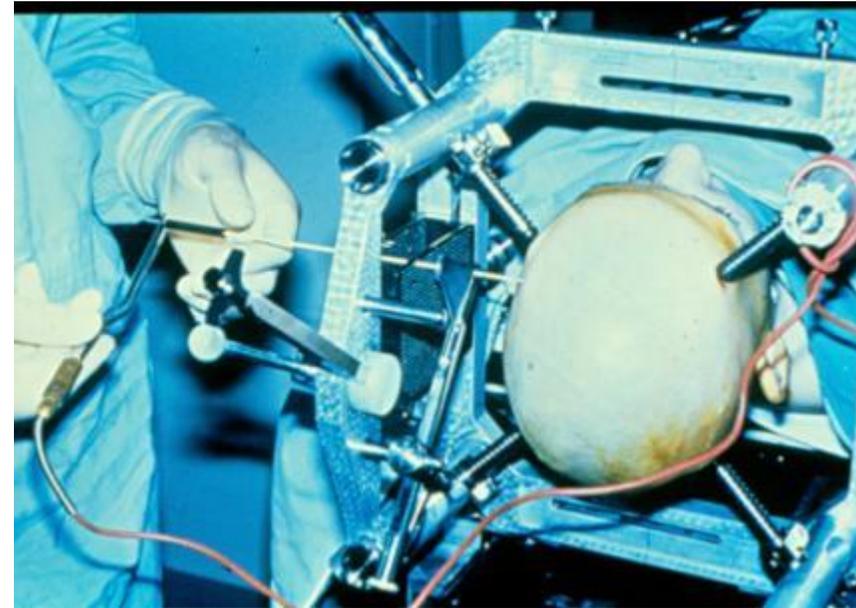
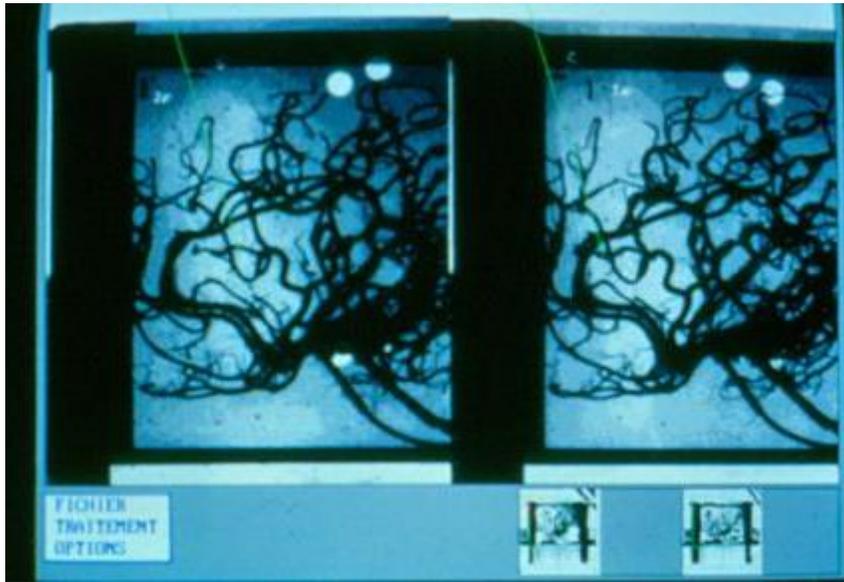
# Définitions et domaines d'applications



**Les diverses branches de la photogrammétrie**

# Définitions et domaines d'applications

Photogrammétrie médicale: intervention en 3D au niveau du cerveau



Courtoisie de Michel Boulianne (Université Laval)

# Définitions et domaines d'applications

## Photogrammétrie médicale: Technique Moiré

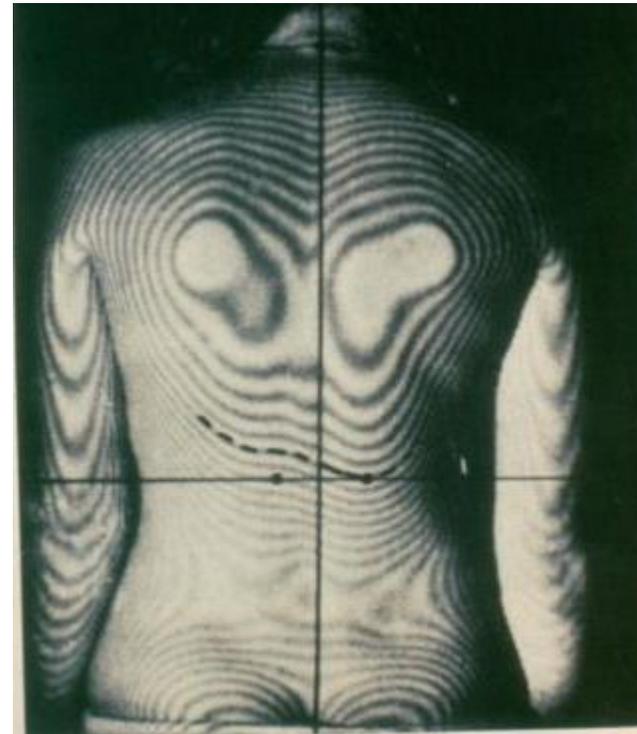
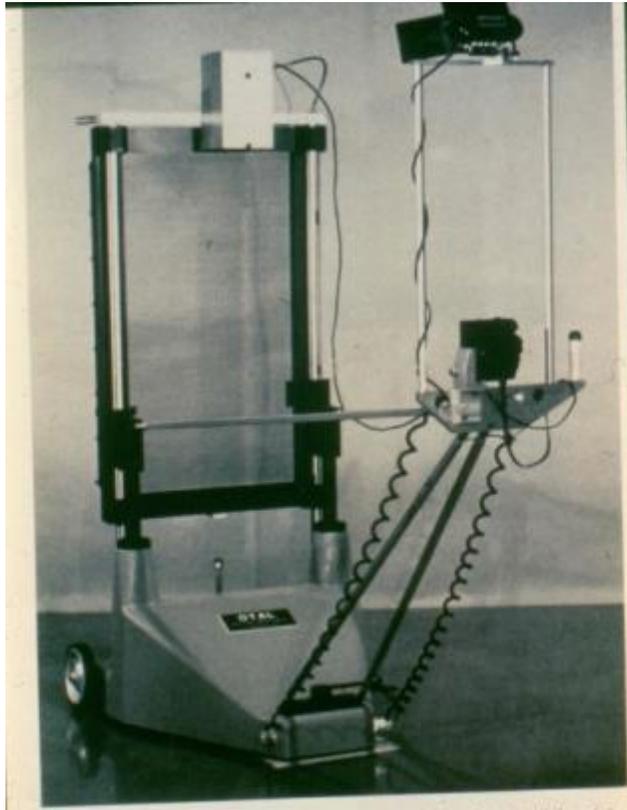


Figure 15-80. Fringe counting to assess pattern asymmetry: right convex thorac-lumbar scoliosis of 20° with a deviation of two moiré (J. C. Willner, 1981).

Courtoisie : Conseil national de la Recherche du  
Canada

# Définitions et domaines d'applications

Photogrammétrie dans le domaine policier : Lieux d'accidents ou de crimes



Courtoisie : Michel Boulianne (Université Laval)

# Définitions et domaines d'applications

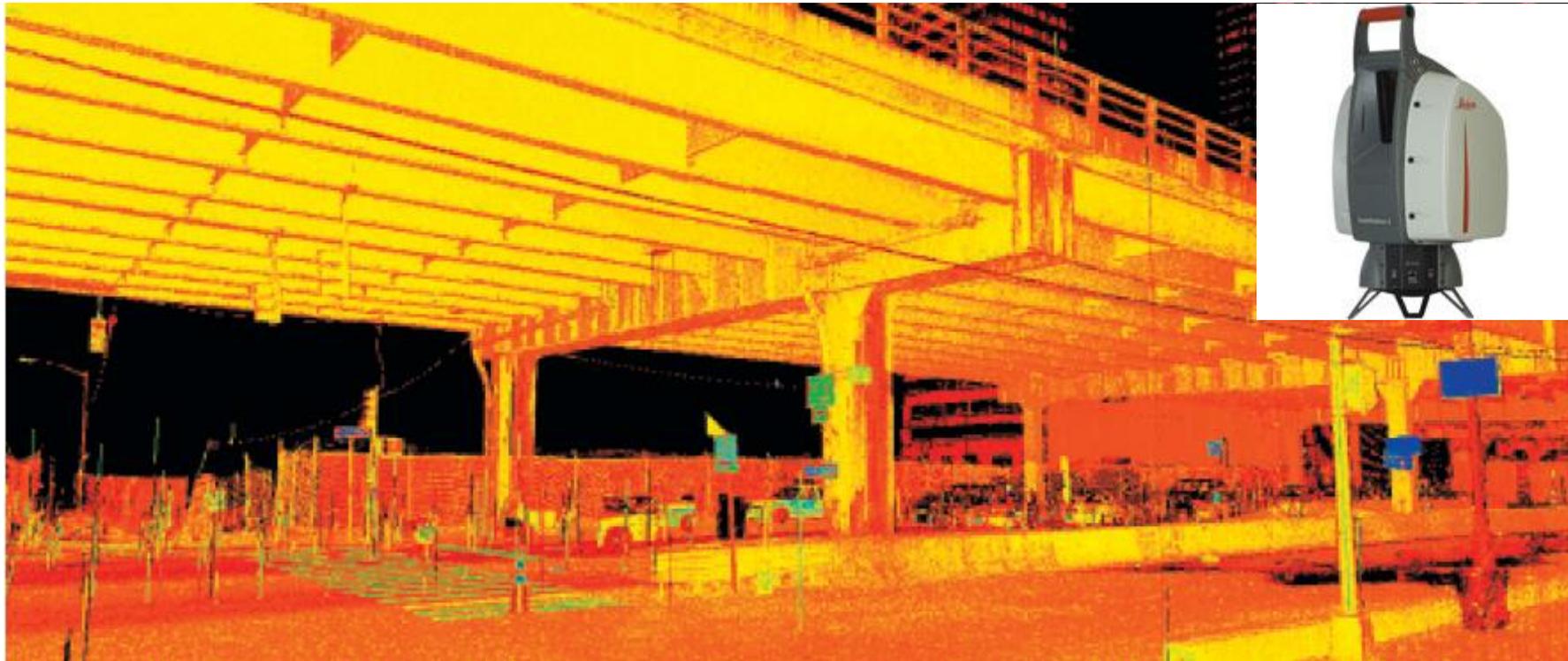
Photogrammétrie dans le domaine policier : Lieux d'accidents ou de crimes



Courtoisie : Michel Boulianne (Université Laval)

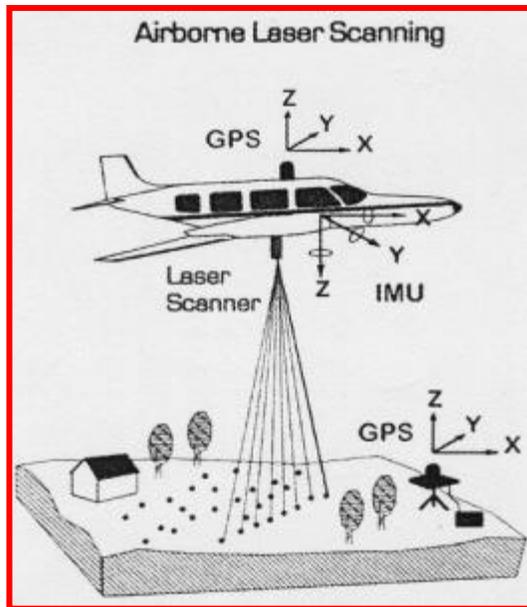
# Définitions et domaines d'applications

Génie par lidar: planification routière, déformations de structures, etc.



# Définitions et domaines d'applications

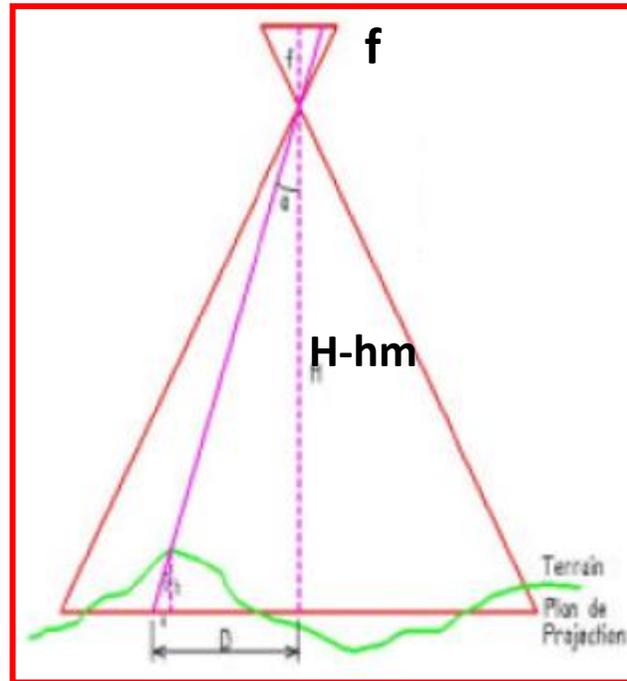
Lidar aéroporté: représentations topographiques en trois dimensions



# **Principe de base de la Géométrie sur la photographie aérienne**

# Principe de base de la Géométrie de la photographie aérienne

L'échelle de la photographie aérienne est fonction du rapport entre l'**altitude de vol** et la **distance focale** de la caméra.



$$E = \frac{d \text{ (photo)}}{D \text{ (terrain)}} = \frac{f}{H - hm}$$

où

**E** = échelle photographique

**f** = distance focale

**H** = altitude de vol

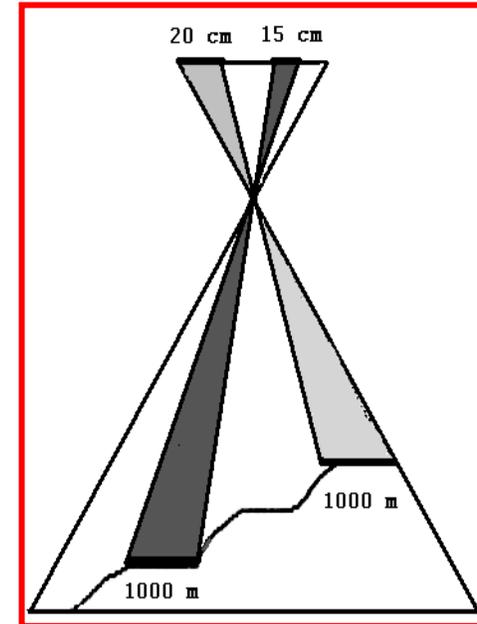
**hm** = élévation moyenne du terrain

# Principe de base de la Géométrie de la photographie aérienne

L'échelle de la photographie n'est cependant pas exacte; elle variera **en fonction du relief**.

La figure ci-contre montre deux échelles différentes sur une même photographie et ce, pour une même distance sur le terrain parce que le relief varie.

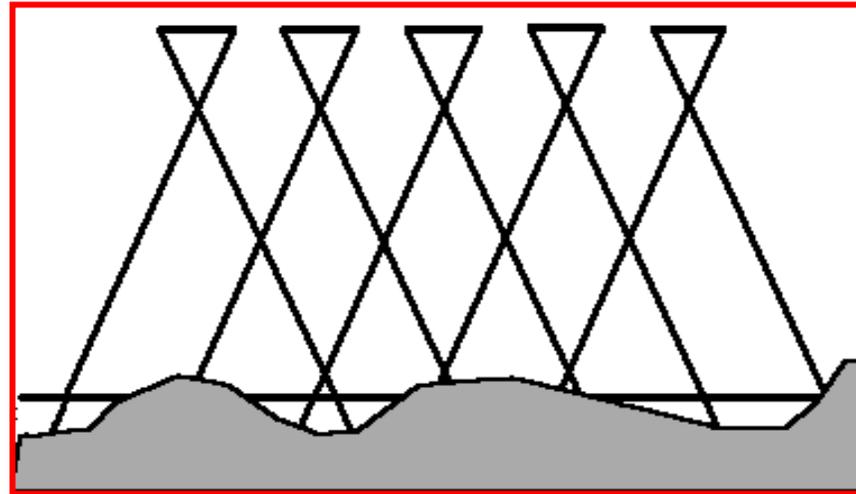
On parle alors d'**échelles locales**.



# Principe de base de la Géométrie de la photographie aérienne

Puisque le relief peut varier considérablement pour un ensemble de photographies, on tiendra compte de **l'élévation moyenne du territoire** à couvrir.

L'échelle des photographies sera alors dite **approximative**.

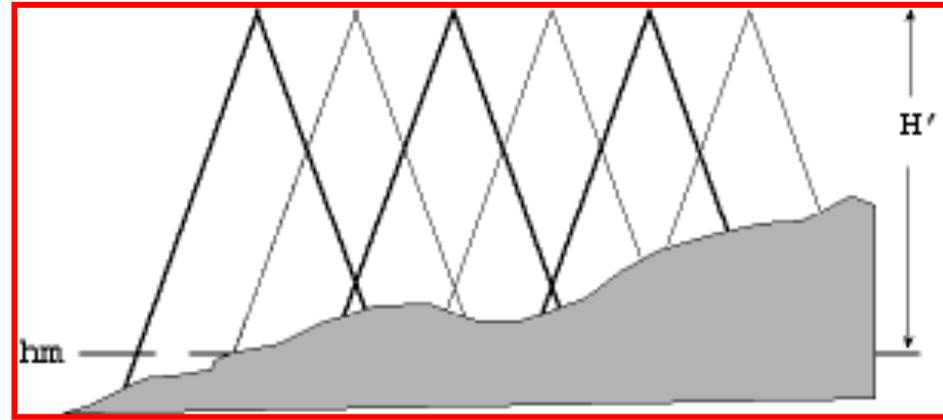


L'échelle approximative d'une photographie **non corrigée** ne peut donc se comparer à une échelle cartographique dite exacte.

# Principe de base de la Géométrie de la photographie aérienne

L'échelle approximative des photographies est donc déterminée *avant la prise de photographies*, selon l'usage auquel elles sont destinées.

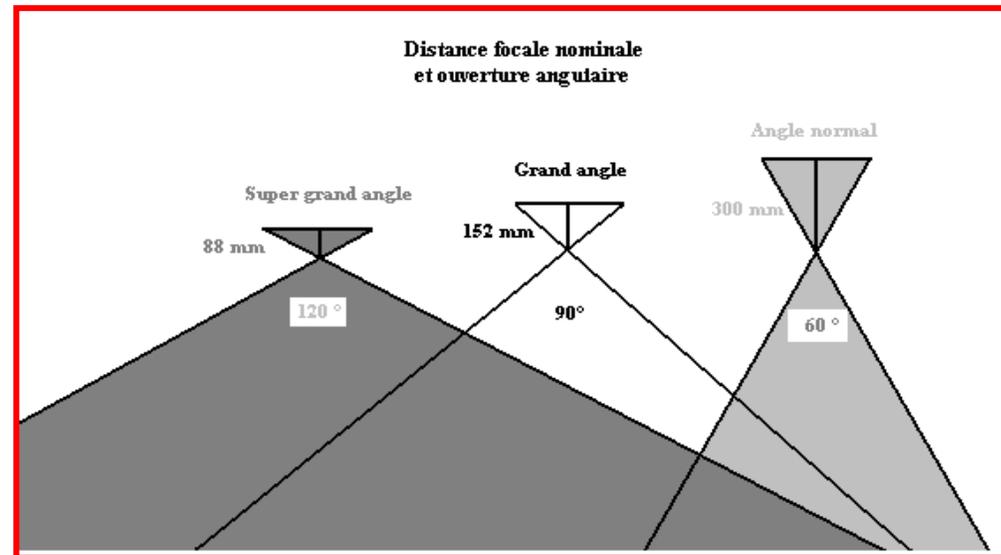
L'avion volera en conséquence à une altitude donnée par rapport au niveau moyen du terrain.



Comme le montre le croquis, certaines photographies pourront voir leur échelle moyenne s'éloigner considérablement de l'échelle approximative souhaitée.

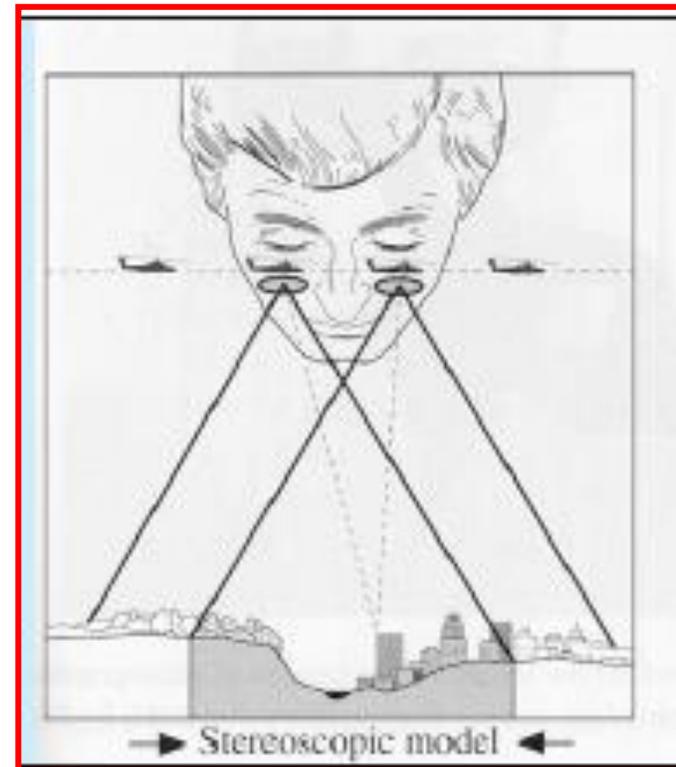
# Principe de base de la Géométrie de la photographie aérienne

En photographiant un territoire à une **même altitude**, mais avec **une distance focale de longueur différente**, la superficie de terrain représentée différera. Pour un même format de photographie, l'échelle sera donc différente.



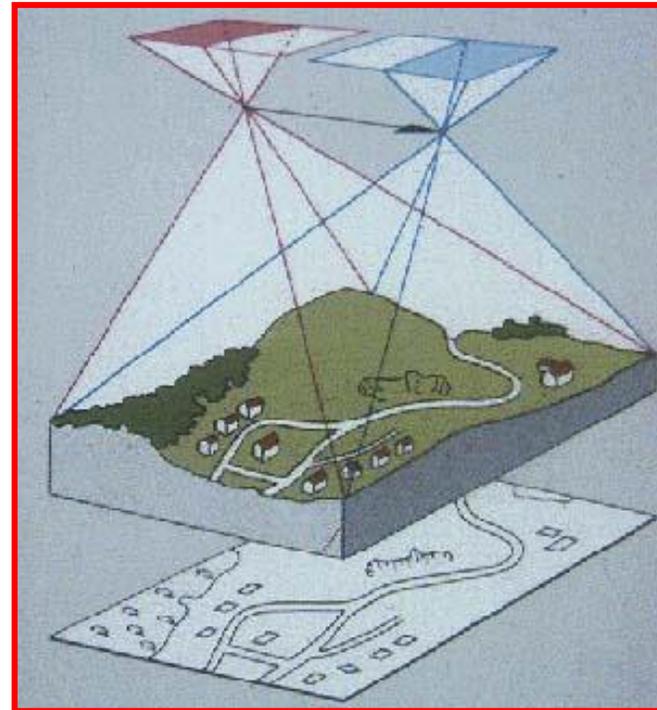
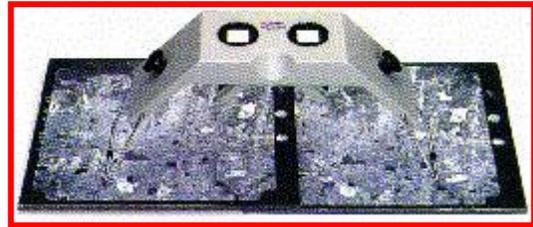
# Principe de base de la Géométrie de la photographie aérienne

Prises selon les règles, les photographies aériennes permettent l'observation de la **troisième dimension**, phénomène qu'on nomme **vision stéréoscopique**.



# Principe de base de la Géométrie de la photographie aérienne

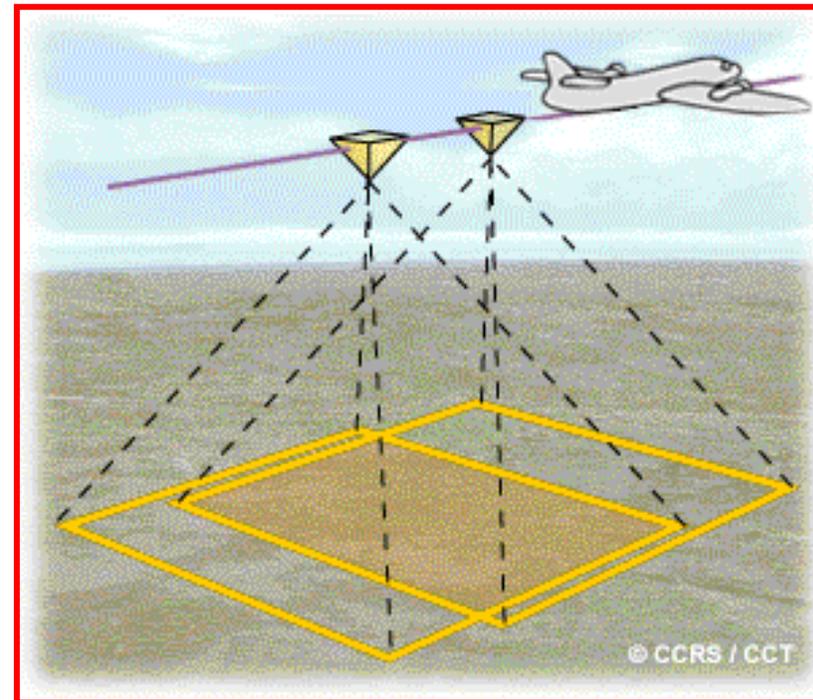
C'est cette caractéristique qui permettra de visualiser le **relief** du terrain, de prendre des mesures d'élévation et, ultérieurement, de produire les **courbes de niveau** du terrain.



# Principe de base de la Géométrie de la photographie aérienne

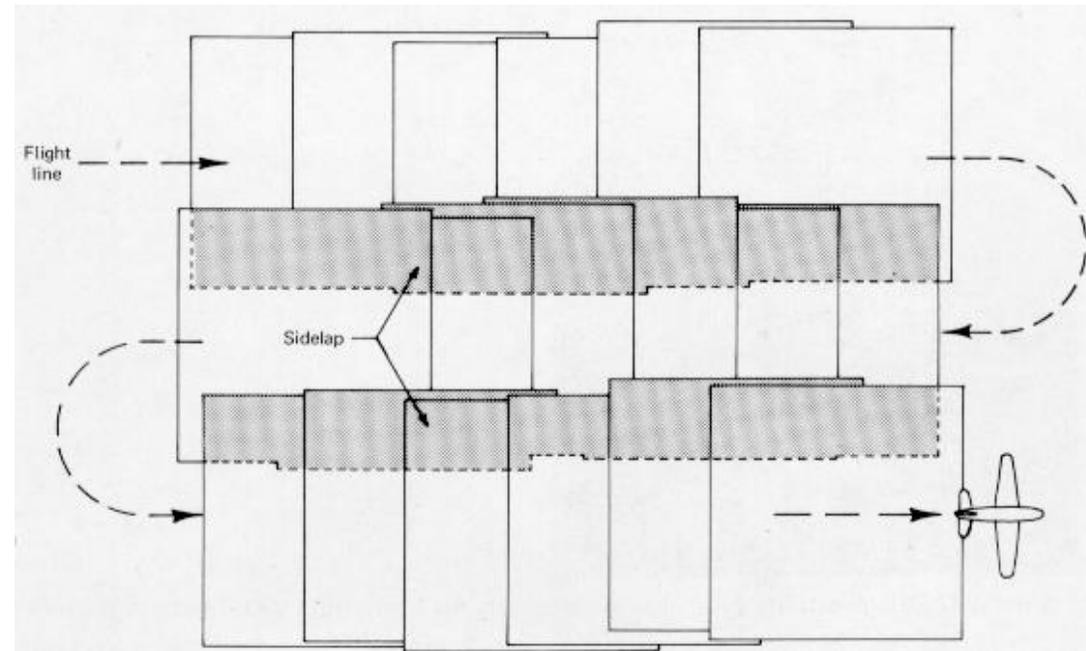
Pour permettre la stéréoscopie, une même portion de terrain doit apparaître sur plus d'une photographie.

La partie commune à deux photographies se nomme **recouvrement** stéréoscopique.



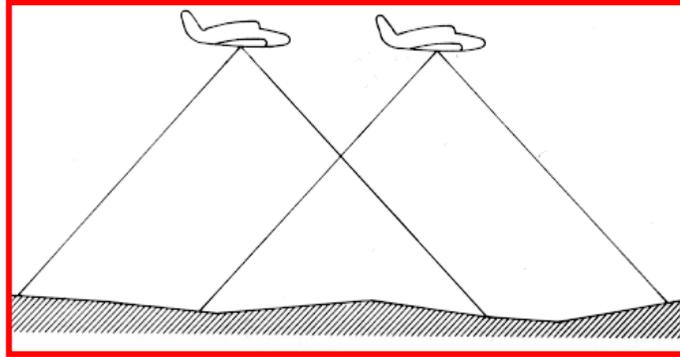
# Principe de base de la Géométrie de la photographie aérienne

Voici un avion survolant le terrain

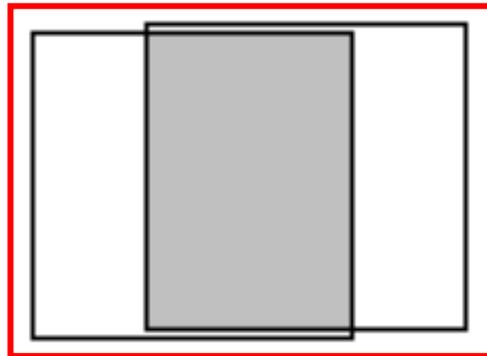


Noter la présence des **recouvrements** stéréoscopiques longitudinaux et latéraux.

# Principe de base de la Géométrie de la photographie aérienne

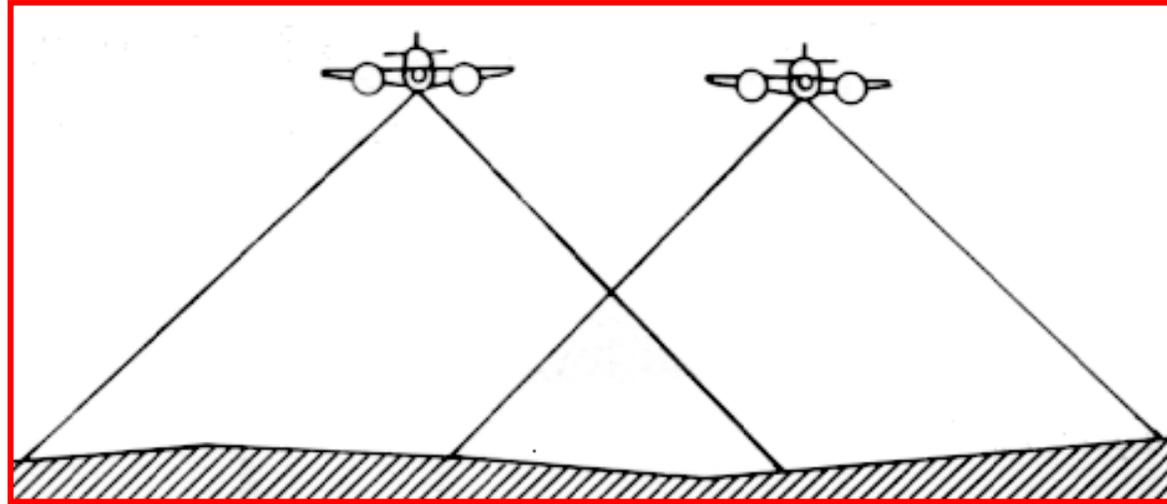


Le recouvrement **longitudinal** suit la direction de l'avion et est le plus souvent de **60 %** (parfois de **80 %**) de la largeur d'une photographie.



Deux photographies consécutives offrant une telle partie commune sont aussi appelées **couple stéréoscopique** et permettent l'observation en 3 D.

# Principe de base de la Géométrie de la photographie aérienne



Le recouvrement **latéral** se situe entre les lignes de vol et assure une continuité dans la couverture du territoire. Il se situe le plus souvent autour de **30 %**.

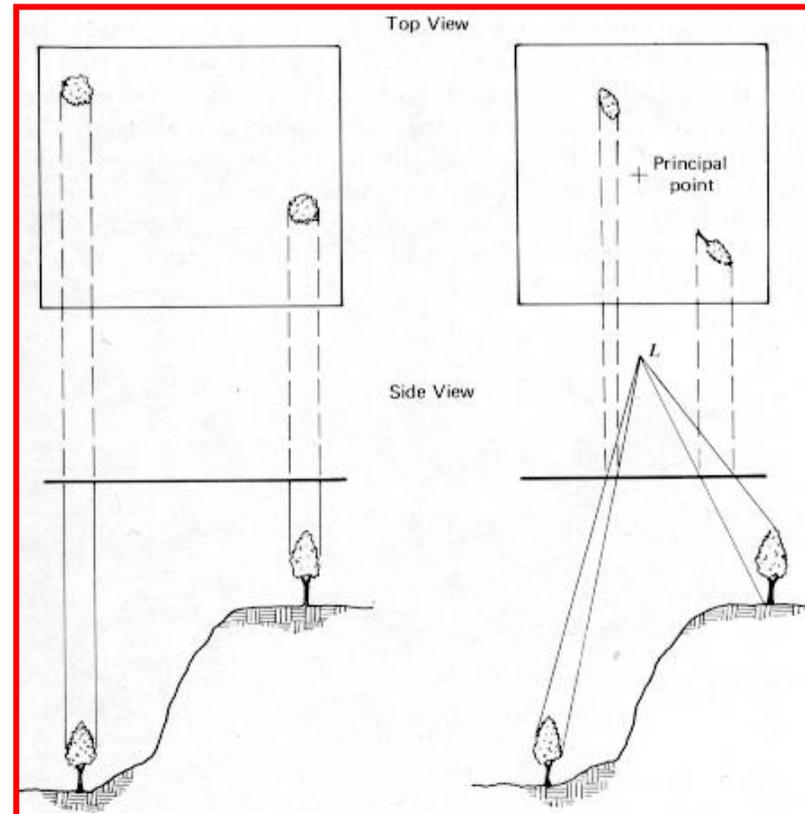
# Principe de base de la Géométrie de la photographie aérienne

Sur une carte, les objets sont vus à la verticale.

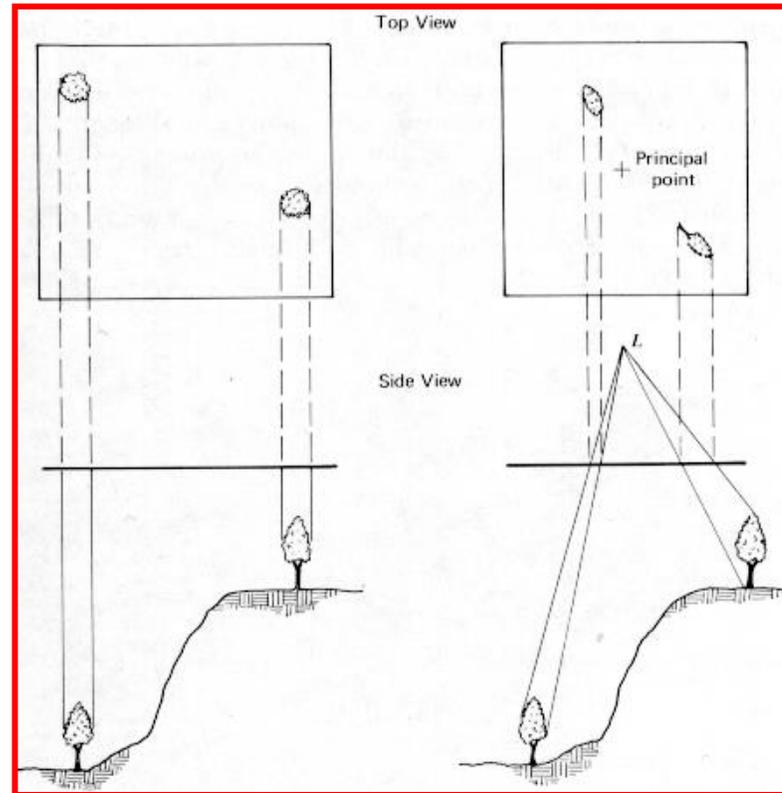
Les distances sont ainsi respectées.

L'échelle est constante.

On parle de projection orthogonale.



# Principe de base de la Géométrie de la photographie aérienne



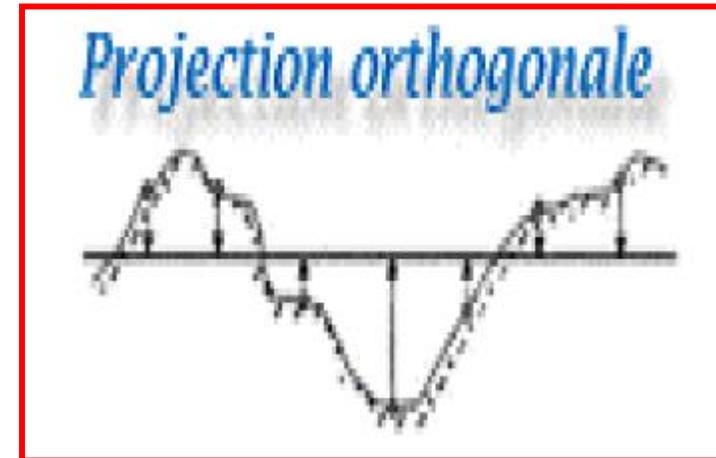
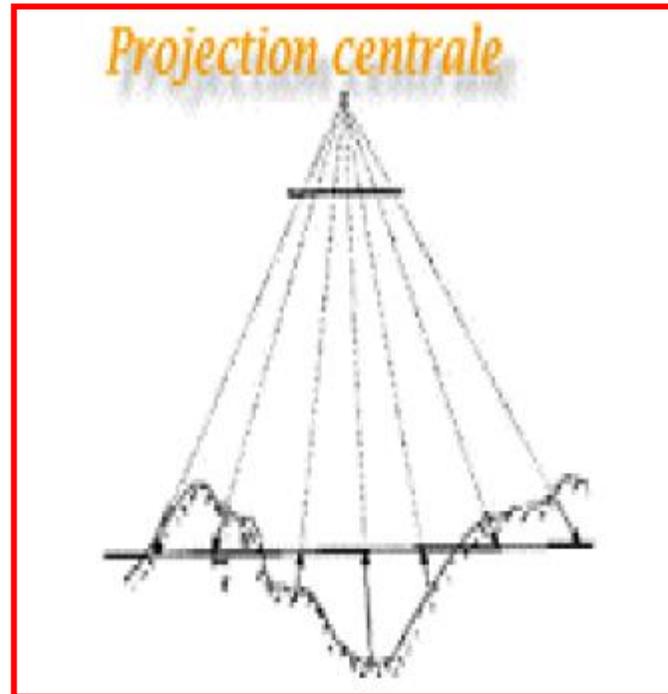
Sur une photographie aérienne conventionnelle, les objets convergent tous vers le centre de perspective de la lentille.

Plus on s'éloigne du centre de la photographie, plus les objets semblent **s'étirer** et ce, de façon radiale.

L'échelle est **faussée**.

On parle de **projection centrale**.

# Principe de base de la Géométrie de la photographie aérienne

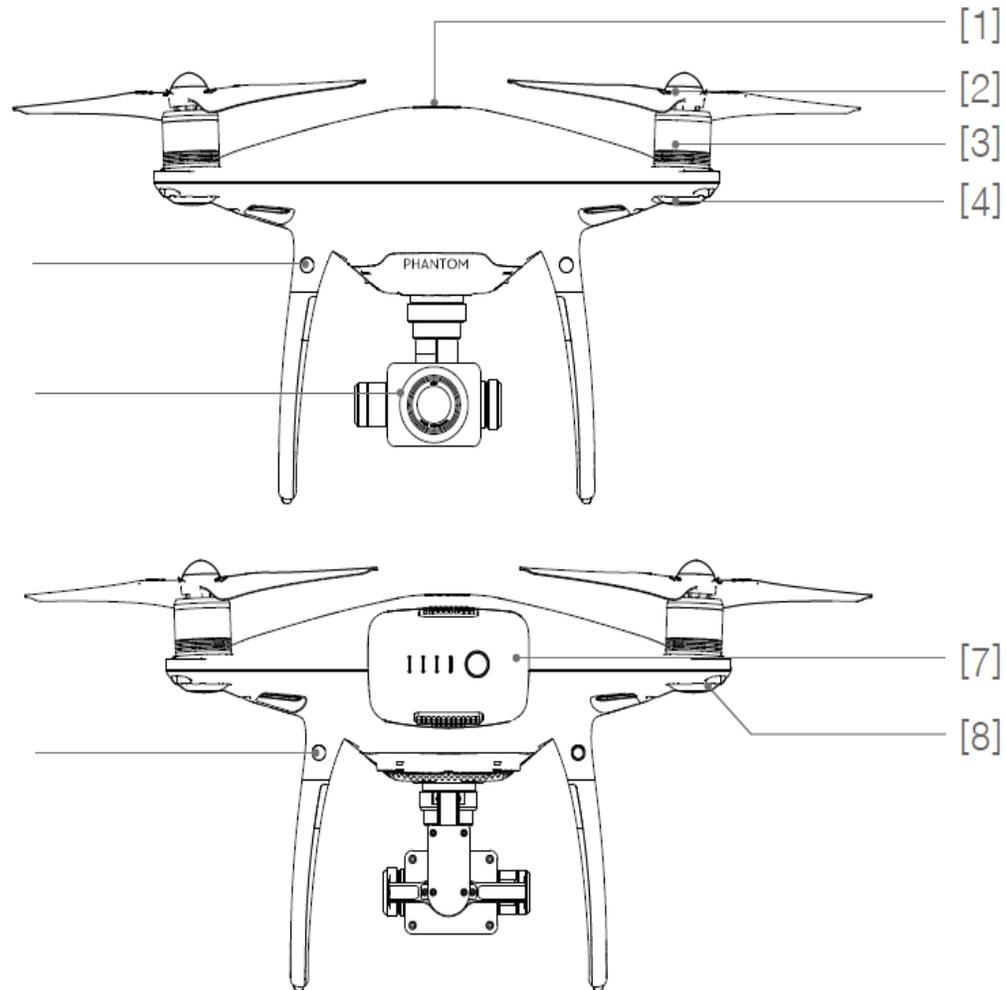


Ainsi, seule la projection orthogonale permet une **échelle constante** et un respect des distances.

# **Les composants et types de drones**

# Les composants et types de drones

## Schéma de l'appareil



[1] GPS

[2] Hélices

[3] Moteurs

[4] Voyants LED avant

[5] Nacelle et caméra

[6] Système optique avant

[7] Batterie de Vol Intelligente

[8] Voyant d'état de l'appareil

[9] Système optique arrière

1. Caméra et Nacelle

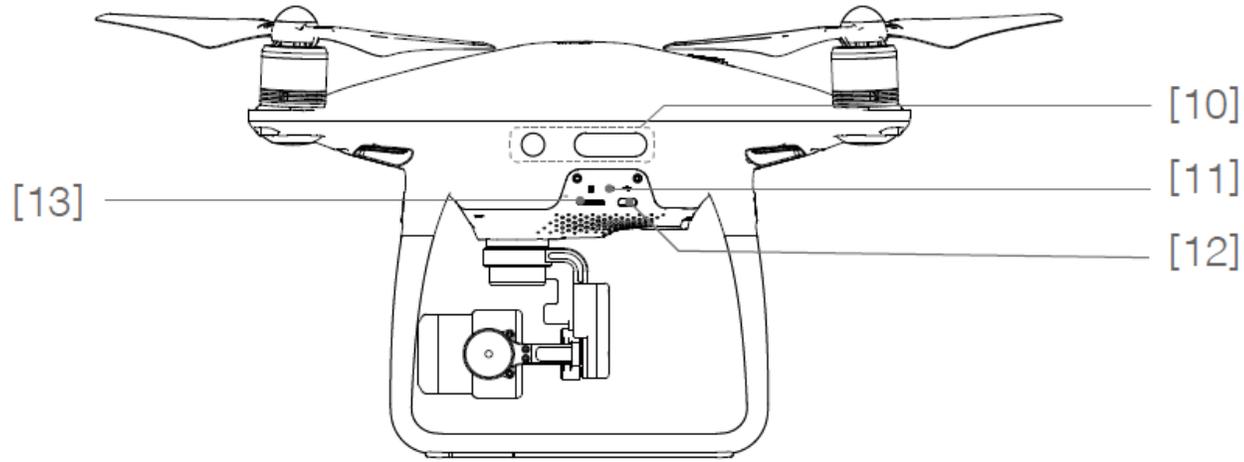
2. Contrôleur de vol

3. Liaison descendante de vol

4. Radiocommande

5. Batterie de vol intelligente

# Les composants et types de drones

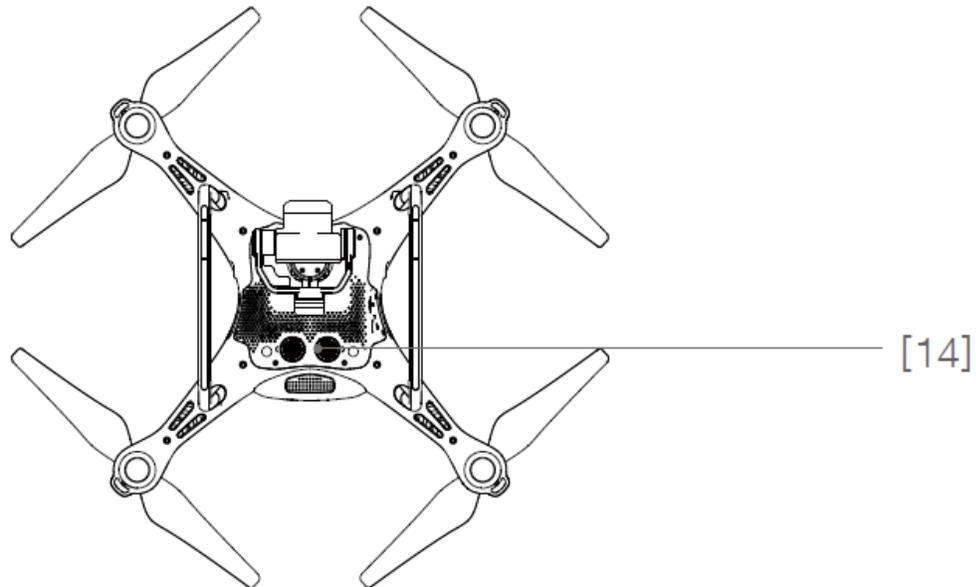


[10] Système de détection infrarouge

[11] Voyant d'état de la caméra/  
de l'appairage et bouton  
d'appairage

[12] Port Micro USB

[13] Logement de la carte Micro SD  
de la caméra

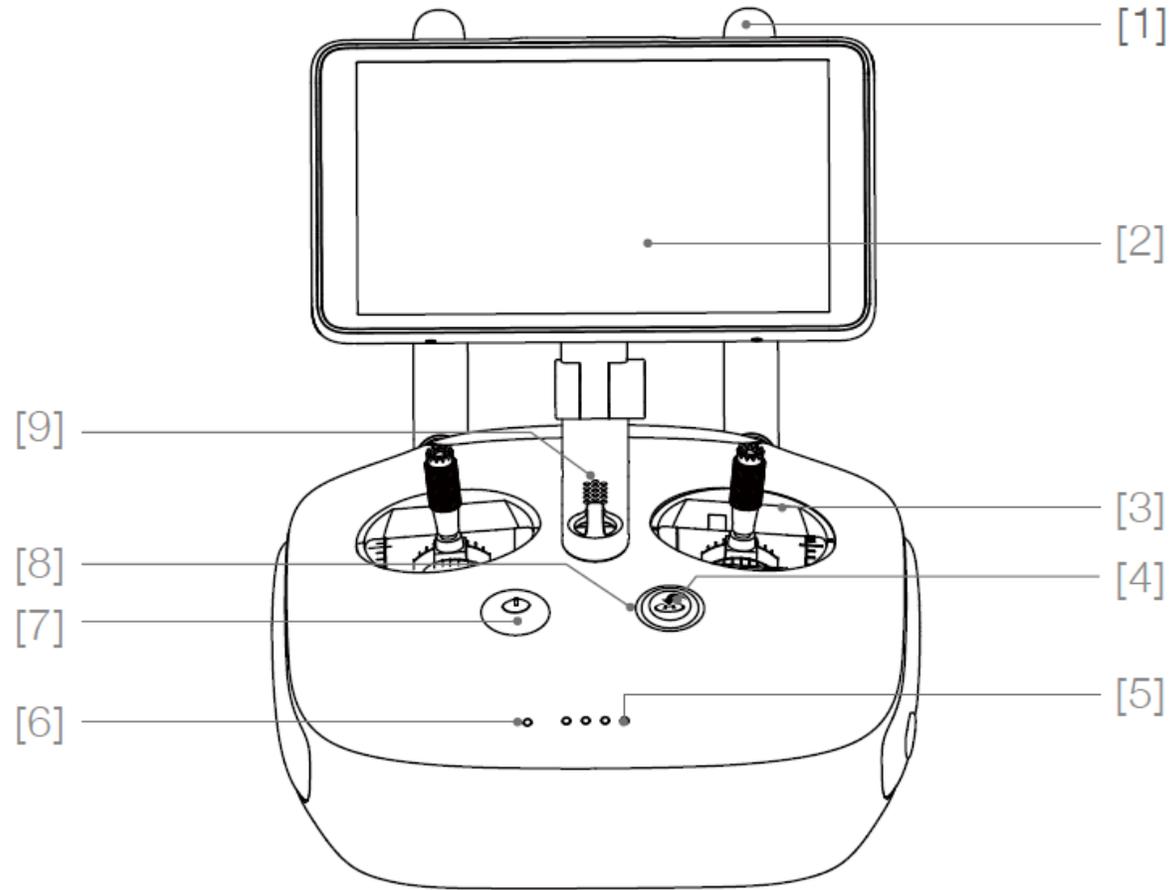


[14] Système optique inférieur

# Les composants et types de drones

## Schéma de la radiocommande

Phantom 4 Pro+ (modèle : GL300E)



- [1] **Antennes**  
Transmet les signaux vidéo et de contrôle de l'appareil.
- [2] **Écran d'affichage**  
Périphérique d'affichage avec système Android pour exécuter l'application DJI GO 4.
- [3] **Manche de contrôle**  
Contrôle l'orientation et les mouvements de l'appareil.
- [4] **Bouton RTH (Return Home, Retour au point de départ)**  
Maintenez ce bouton enfoncé pour activer la fonction RTH (Return to Home).

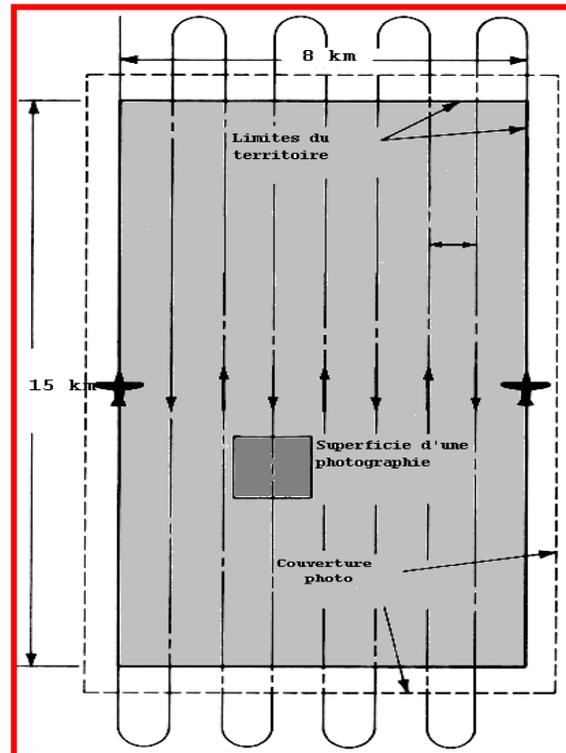
# **Planification d'une mission de captation**

# Étapes de Planification d'une mission de captation (Pix4D capture)

<b>Production numérique conventionnelle</b>	<b>Production à partir d'un système inertiel</b>
1) La planification	1) La planification
2) Le contrôle photogrammétrique *	2) Le contrôle photogrammétrique*
3) La prise de photographies aériennes	3) La prise de photographies aériennes
4) L'aérotriangulation	4) L'intégration des données INS/GPS
5) L'orientation absolue et le captage	5) La vérification de l'orientation absolue et le captage
6) L'édition cartographique	6) L'édition cartographique
7) La vérification et le complètement-terrain.	7) La vérification et le complètement-terrain.

# Étapes de production d'une carte de base

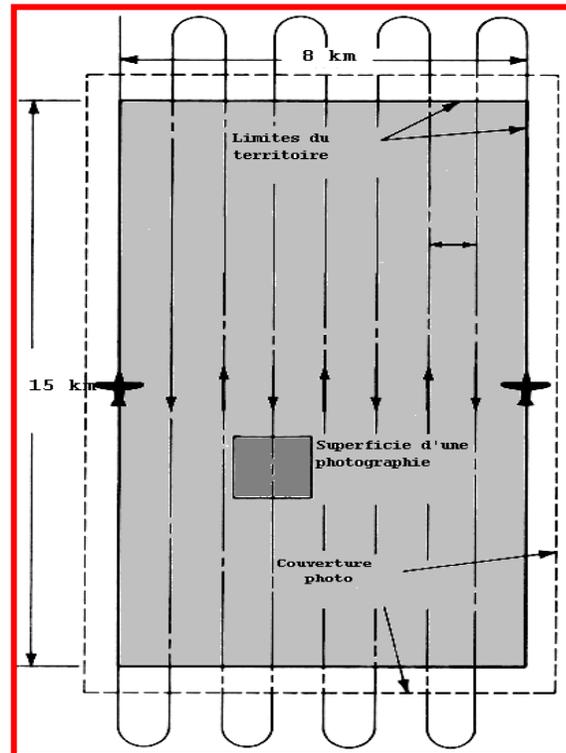
## 3) La prise de photographies aériennes



### Paramètres du plan de vol:

- Élévation moyenne du terrain
- Altitude de vol
- Distance focale
- Gain par cliché (distance séparant deux centres de photos ou base)

# Étapes de production d'une carte de base



Suite...

- Intervalle d'exposition
- Distance entre les lignes de vol
- Temps d'exposition
- Heures permises de photographies



# Étapes de production d'une carte de base

Le pixel est donc la plus petite unité de l'image. Sa dimension s'exprime habituellement en **microns ( $\mu m$ )**, chaque micron valant **0,001 mm**.

Il suffit de ramener la dimension du pixel à l'échelle pour trouver la largeur qu'il occupe sur le terrain.



Geodatenservice

# Étapes de production d'une carte de base

L'image de gauche, issue d'une photo de 23 cm X 23 cm, offre une meilleure résolution et contiendra inévitablement plus de points (pixels), nécessitant plus d'espace de stockage.



Il faudra donc tenir compte de la **précision** recherchée, de **l'échelle** originelle de la photographie, de **l'espace disponible en mémoire** et des **performances informatiques** (temps d'affichage, etc.).

# Étapes de production d'une carte de base

Une fois les photographies numérisées, on peut procéder aux **corrections** destinées à faire une **représentation exacte du terrain** à partir des images.

En pratique, cette étape doit être précédée par l'**aérotriangulation** qui nous permettra d'ajuster l'ensemble des photographies d'un projet en un seul bloc et aboutira à la détermination des coordonnées X,Y et Z terrain d'un certain nombre de points utilisés lors de l'orientation absolue.

Mais, pour bien comprendre le processus, nous allons débiter en ajustant **un couple d'images**, comme cela se fait parfois pour des projets de moindre envergure.

# Étapes de production d'une carte de base

## 5) Orientation absolue et captage

### Orientation absolue

Préparer un couple stéréoscopique pour reproduire le terrain de façon exacte porte le nom **d'orientation absolue**.

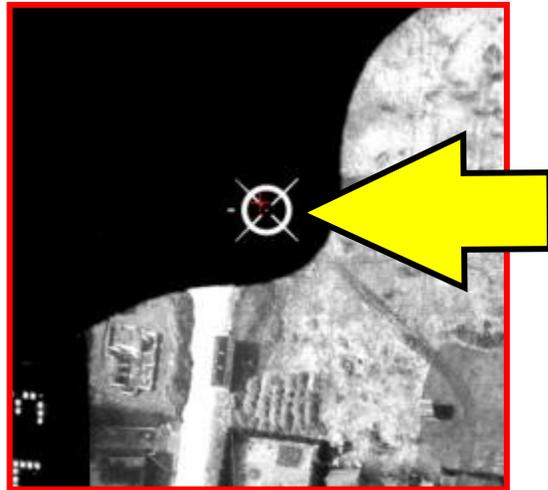
Elle comprend trois étapes:

1. L'orientation intérieure (O.I)
2. L'orientation relative (O.R)
3. L'orientation absolue (O.A)

# Étapes de production d'une carte de base

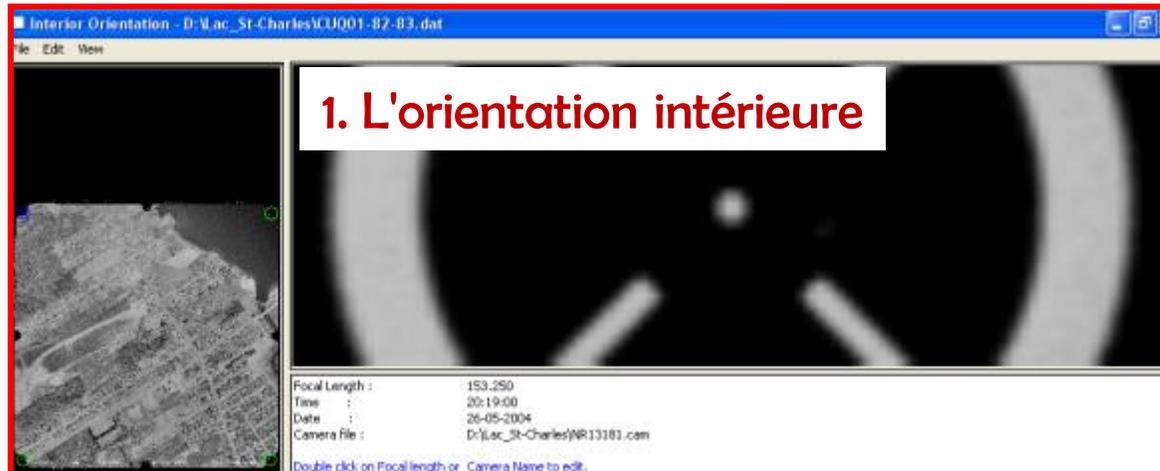
## 1. L'orientation intérieure

Reconstitution de la perspective intérieure de la photographie telle qu'elle était au moment de la prise de vue par la caméra.



Il faudra mesurer à l'écran, avec précision et avec le logiciel approprié, l'emplacement de chaque **repère de caméra** (4 à 8) et préciser la **distance focale** de cette caméra (*152 mm par exemple*).

# Étapes de production d'une carte de base



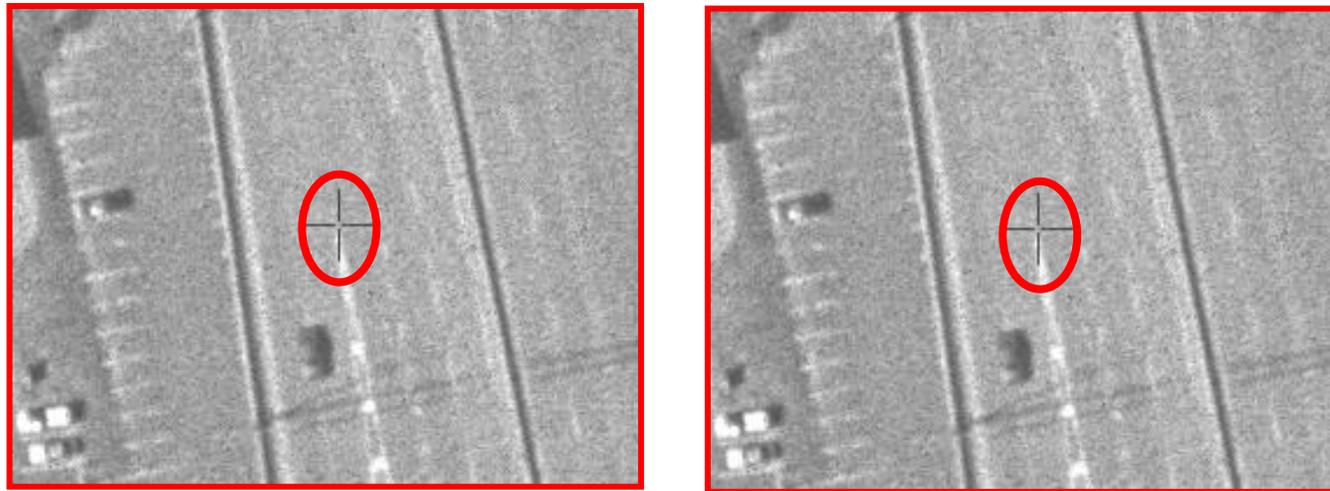
Voici à quoi peut ressembler le prélèvement des coordonnées-images des repères de caméra.

Number	X	Y	Res. X	Res. Y	Pix.X	Pix.Y
1	106.000	106.000	-0.000	0.002	10583.625	477.500
2	106.000	-106.000	0.000	-0.002	10567.250	10567.625
3	-106.000	-106.000	-0.000	0.002	478.125	10548.000
4	-106.000	106.000	0.000	-0.002	494.500	457.500

# Étapes de production d'une carte de base

## 2. L'orientation relative

Création du modèle stéréoscopique en 3D par élimination de la parallaxe  $\gamma$ .



Pour ce faire, il suffit de faire coïncider cinq points bien répartis sur chacune des images du modèle stéréoscopique.

# Étapes de production d'une carte de base

... orientation relative



Une fois l'orientation relative terminée, la position de chaque image au moment de la prise de photographie a été reconstituée.

Un modèle stéréoscopique, observable en 3 D, vient d'être créé.

Cependant, les rivières peuvent couler à l'envers, les lacs ne pas être au niveau et l'échelle de ce modèle n'est pas connue.

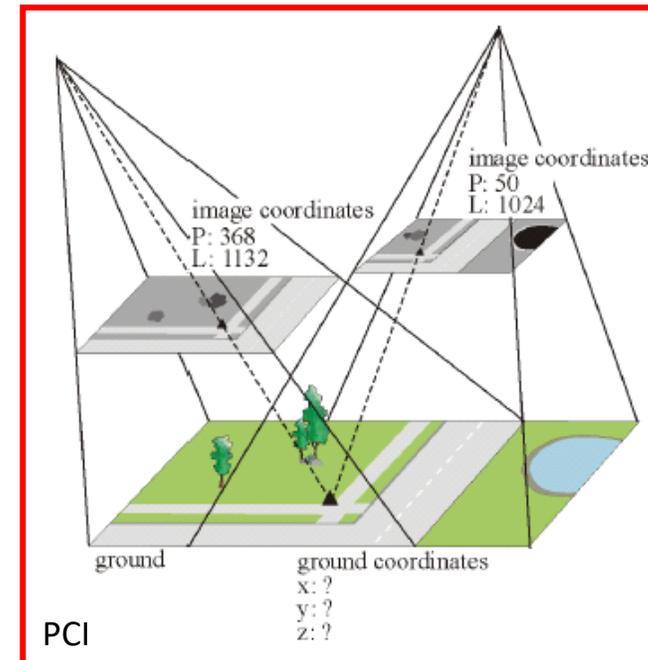
La prochaine étape sera d'attribuer les bonnes valeurs-terrain ( $X$ ,  $Y$ ,  $Z$ ) à notre modèle.

# Étapes de production d'une carte de base

## 3. L'orientation absolue

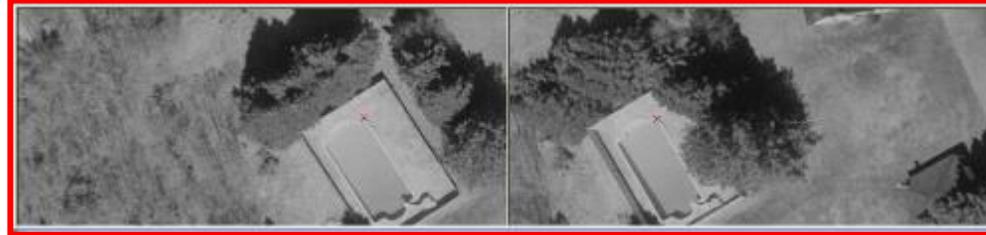
Attribution de coordonnées-terrain exactes en tout point du modèle stéréoscopique.

Il faudra pointer sur le modèle (enregistrer la position du pixel) un minimum de trois points dont les coordonnées sont connues sur le terrain.



# Étapes de production d'une carte de base

... orientation absolue



Control Editor - H:\230-315-LIA11\LABORATOIRES\Gr\_Mere\grand-mère.con

#	Point	T...	Ground X	Ground Y	Ground Z	Si...	Si...	Si...
131057		XYZ	363523.2000	5159534.6000	136.2000	0.100	0.100	0.100
131067		XYZ	367178.5000	5159648.0000	130.1000	0.100	0.100	0.100
132057		XYZ	363435.3000	5160240.1000	139.0000	0.100	0.100	0.100
132067		XYZ	367098.3000	5160304.4000	90.9000	0.100	0.100	0.100
133057		XYZ	363632.2000	5163557.5000	149.4000	0.100	0.100	0.100
133067		XYZ	367300.4000	5163929.4000	99.6000	0.100	0.100	0.100
134057		XYZ	363616.5000	5165680.4000	145.5000	0.100	0.100	0.100
135056		XYZ	366996.0000	5166368.9000	139.4000	0.100	0.100	0.100
135057		XYZ	363691.5000	5166389.3000	147.7000	0.100	0.100	0.100
135066		XYZ	367463.7000	5166551.6000	121.7000	0.100	0.100	0.100

Name: Type: X: 0 Y: 0 Z: 0 Standard Deviations: X: 0.1 Y: 0.1 Z: 0.1

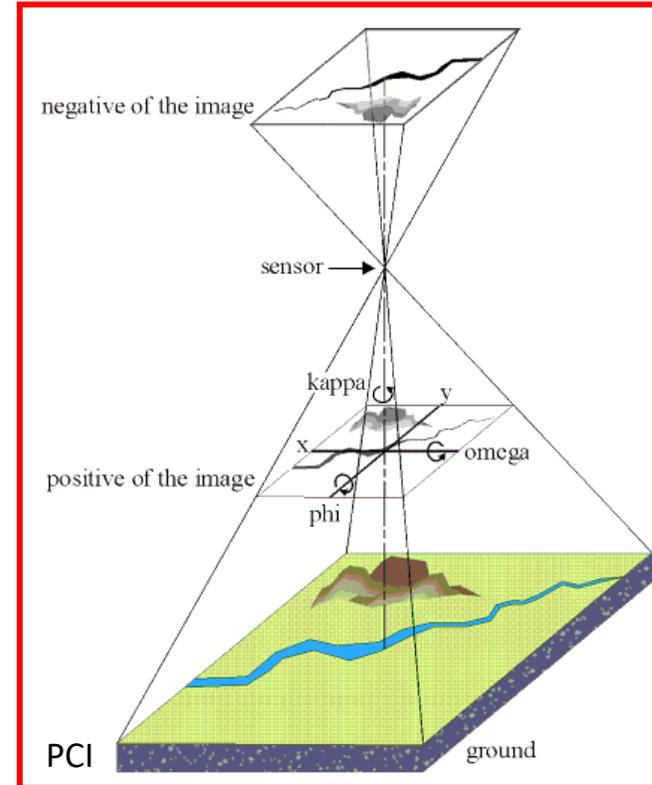
Close Decimal: 4 Lat/Long mode:  Items: 10

Les points mesurés sur l'image seront associés aux coordonnées de ces mêmes points tels que mesurés sur le terrain...

# Étapes de production d'une carte de base

... orientation absolue

Chaque photographie sera alors replacée dans la position exacte qu'elle avait, au moment de la prise de photographie, permettant une reconstitution du terrain.



# Étapes de production d'une carte de base

Dans un projet conventionnel, là où le nombre de photographies est assez grand, on utilisera plutôt le processus de **l'aérotriangulation** pour effectuer l'orientation absolue de tous les modèles:

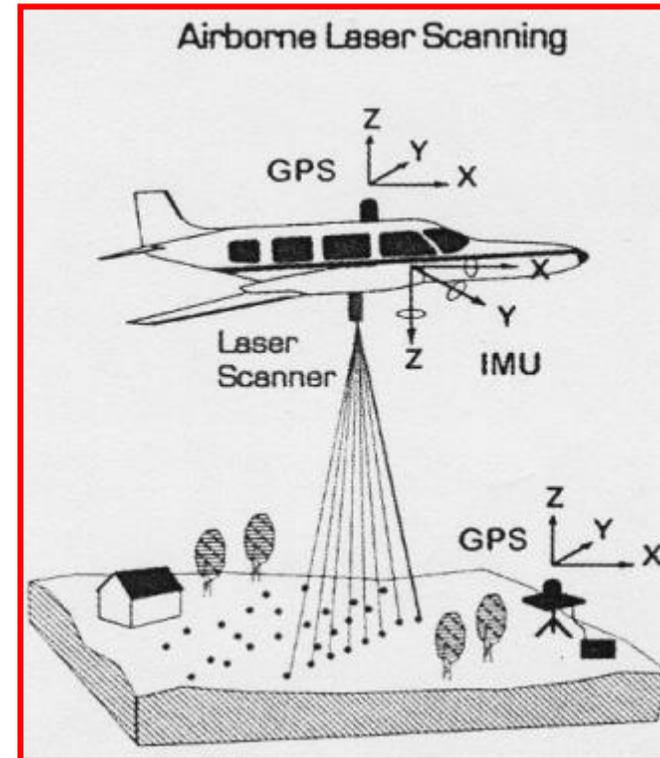
- afin de limiter le **nombre de points** de contrôle nécessaires;
- afin d'assurer la **continuité** de l'ensemble des données.

# Étapes de production d'une carte de base

En plus d'un système de positionnement par GPS, l'avion peut être porteur d'un **système de navigation inertielle (INS/GPS)**.

Ce système permet d'enregistrer « **l'attitude** » de l'avion au moment de la prise de photo, soit les valeurs associées aux mouvements de l'avion.

L'orientation absolue des modèles se résumera alors plutôt à une validation des données.



# Étapes de production d'une carte de base

## Le captage

À ce stade, nous possédons une **représentation** du terrain en tout point **exacte**.

Nous pouvons maintenant procéder au captage soit une **numérisation** des éléments apparaissant sur les images.

Tous les éléments prélevés sur les modèles stéréoscopiques seront **géoréférencés** en X, Y et Z.

# Étapes de production d'une carte de base

## Le captage

L'objectif principal du captage est de constituer un carte. Une carte de base possède toujours cette série d'éléments communs:

1. Un système de *projection cartographique, une surface de référence, un système de référence géodésique.*
2. Un *système de découpage cartographique.*
3. Des *échelles déterminées.*
4. Des *normes de précision et de représentation.*

# Étapes de production d'une carte de base

## Le captage

Il faut consulter des normes pour savoir :

- par quoi commencer (la hiérarchie de captage),
- quel mode de captage utiliser,
- quelle densité de points utiliser,
- les paramètres de représentation de chaque élément,
- les éléments qui seront représentés par des symboles,
- etc.

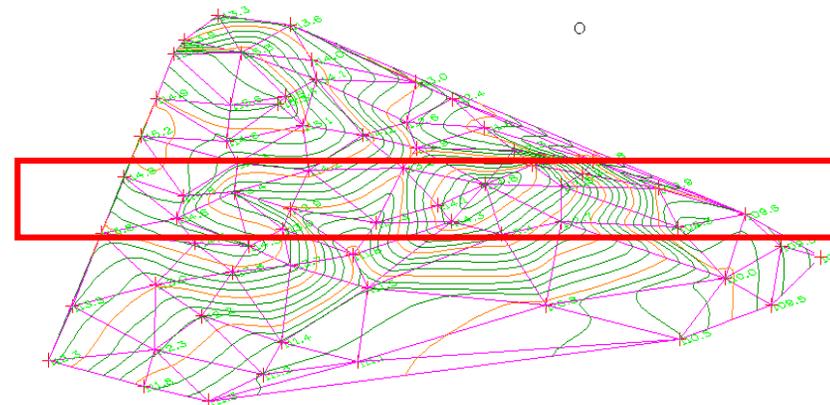
# **MODÈLE NUMÉRIQUE DE TERRAIN**

# Modèle numérique de terrain

Un **Modèle Numérique de Terrain (MNT)** est une représentation numérique simplifiée de la surface d'un territoire.

Les courbes de niveau, rappelons-le, sont interpolées à partir d'un **Modèle Numérique de Terrain (MNT)**.

Le **Modèle Numérique de Terrain** est construit à partir de points d'élévation.



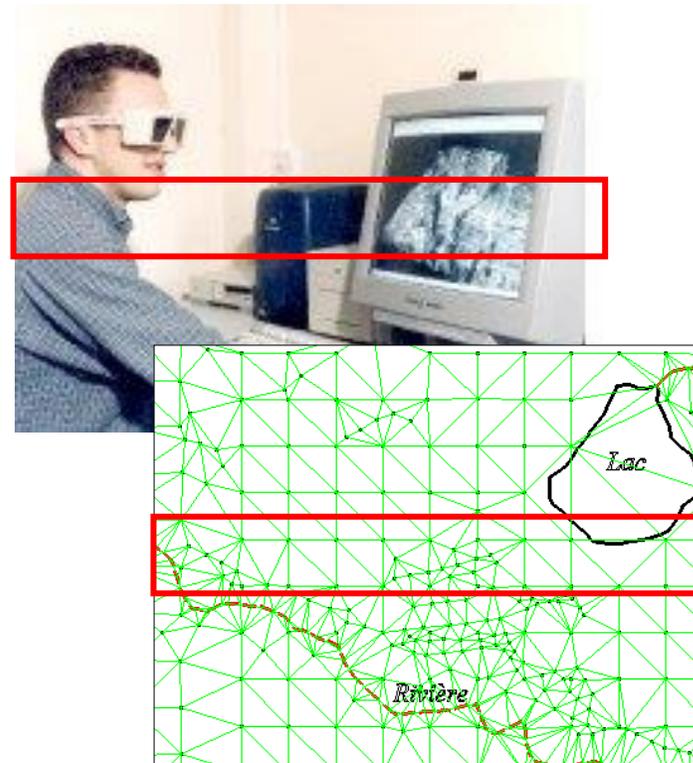
# Modèle numérique de terrain

## Modes d'acquisition des points pour la réalisation du MNT

Semis de points par photogrammétrie:

Les points et les lignes de discontinuité sont captés à l'aide d'un vidéorestituteur.

Le captage des points peut être effectué manuellement, de façon semi ou entièrement automatisée (**auto-corrélation**).



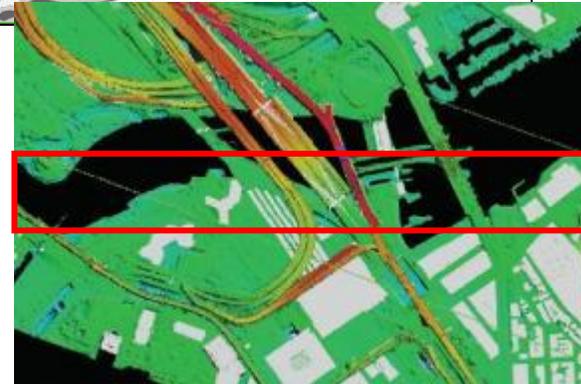
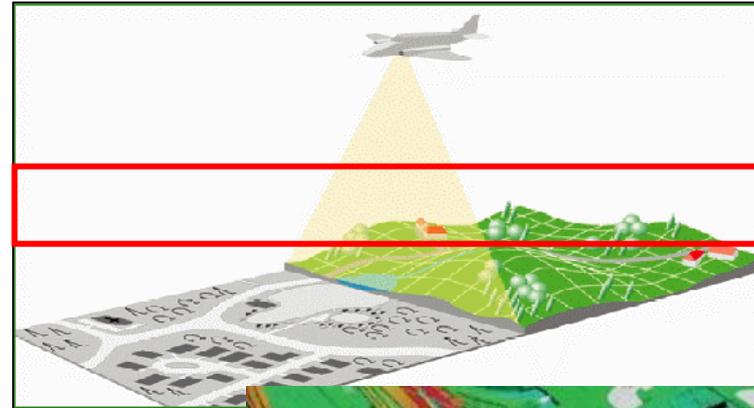
# Modèle numérique de terrain

## Modes d'acquisition des points pour la réalisation du MNT

### Levés laser aéroportés:

Un « nuage » de points altimétriques est capté à l'aide d'un laser et emmagasiné dans un ordinateur.

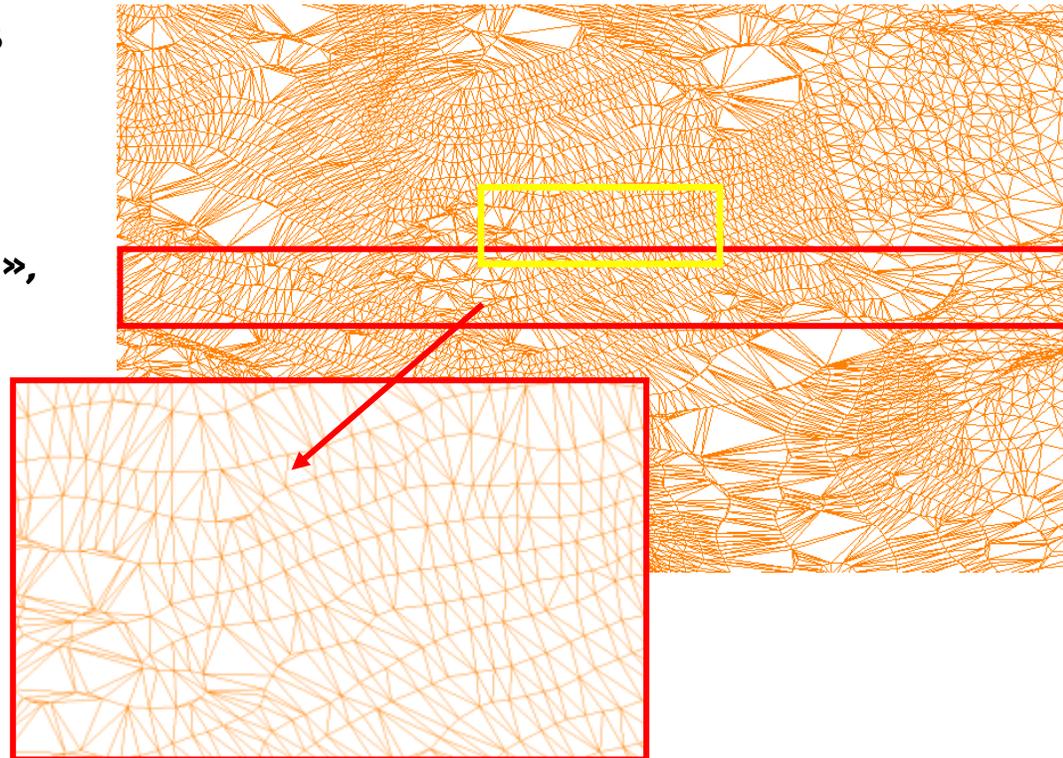
Cette méthode permet de relever les éléments physiques du paysage.



# Modèle numérique de terrain

## Modes de représentation du MNT

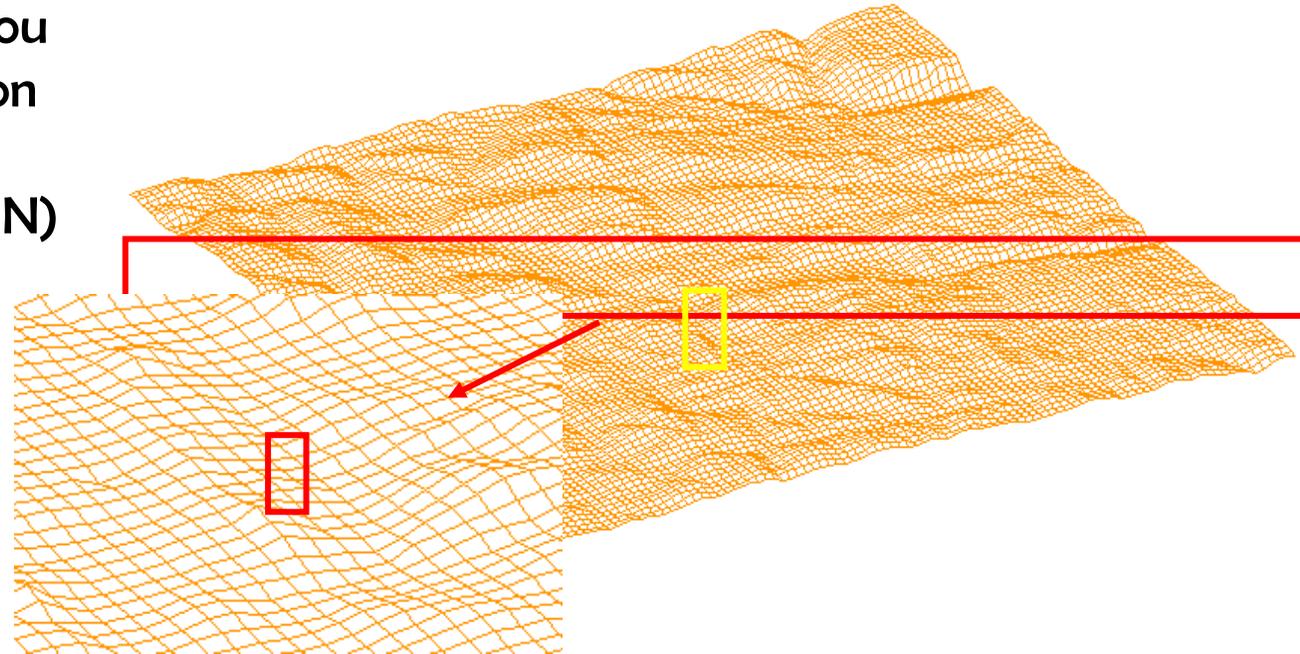
La représentation la plus souvent utilisée est le réseau de triangles irréguliers « **Triangle Irregular Network (TIN)** », en mode vectoriel.



# Modèle numérique de terrain

## Modes de représentation du MNT

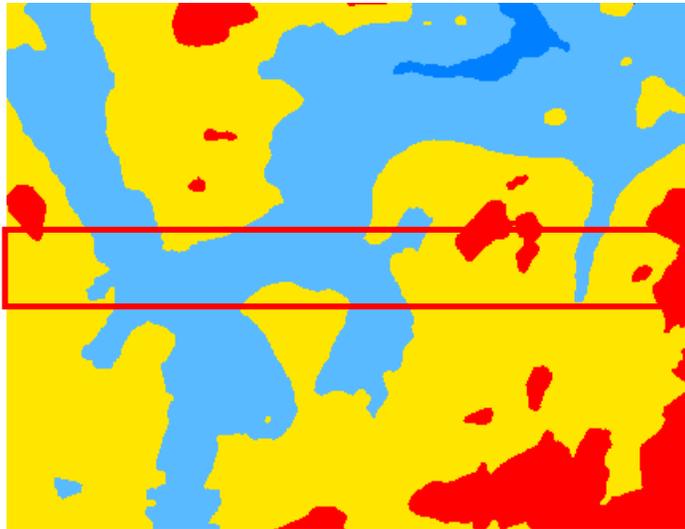
Le **maillage** ou  
représentation  
par **cellules**  
(dérivé du TIN)



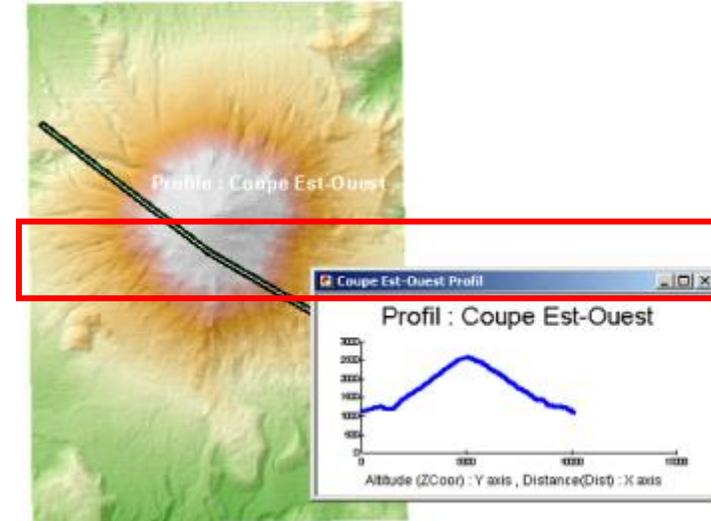
# Modèle numérique de terrain

## Produits dérivés du MNT

Plages d'élevations



Profil

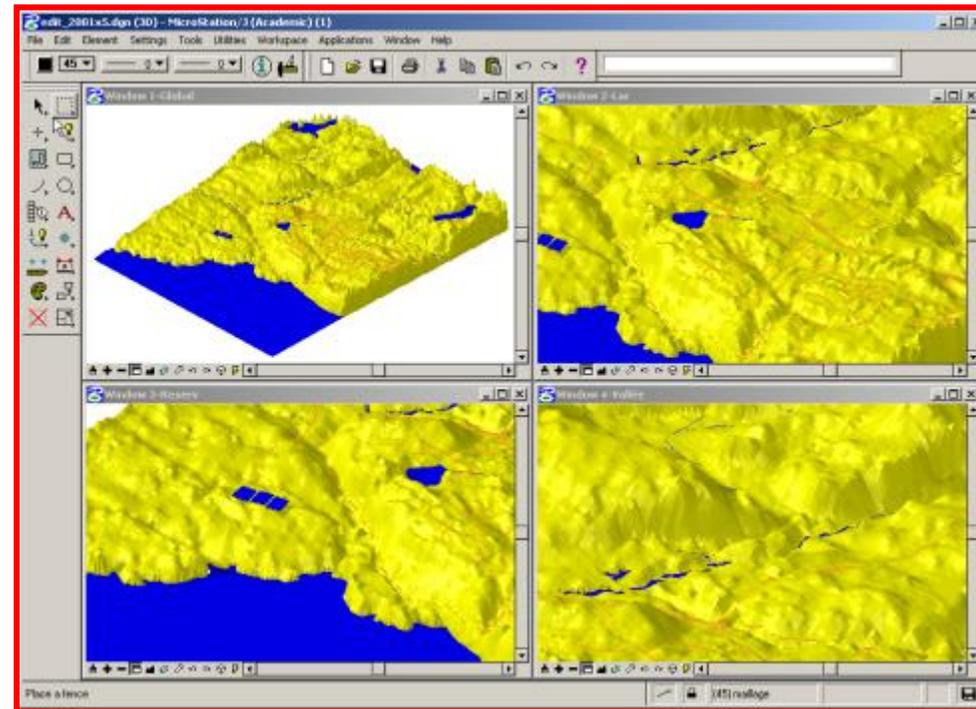


# Modèle numérique de terrain

## Produits dérivés du MNT

Rendu ou **visualisation** du modèle dans l'espace

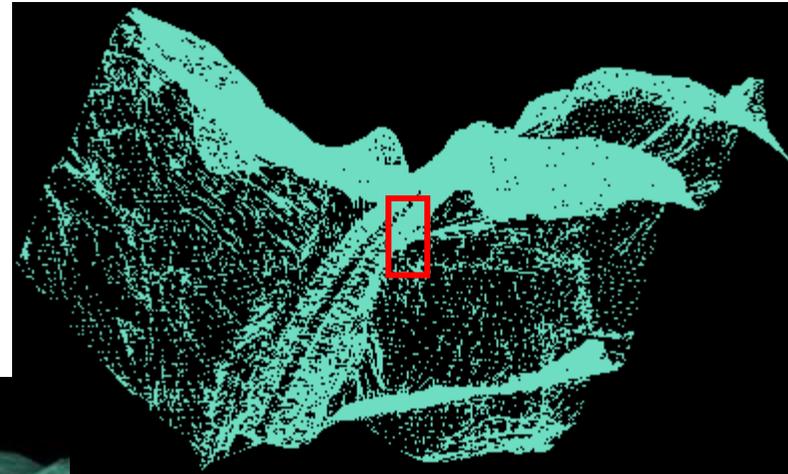
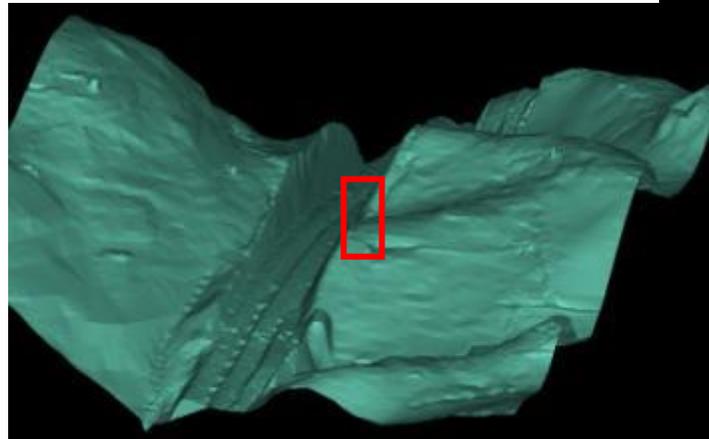
On peut fixer le moment et la position géographique du MNT et modifier **l'ensoleillement**.



# Modèle numérique de terrain

## Produits dérivés du MNT

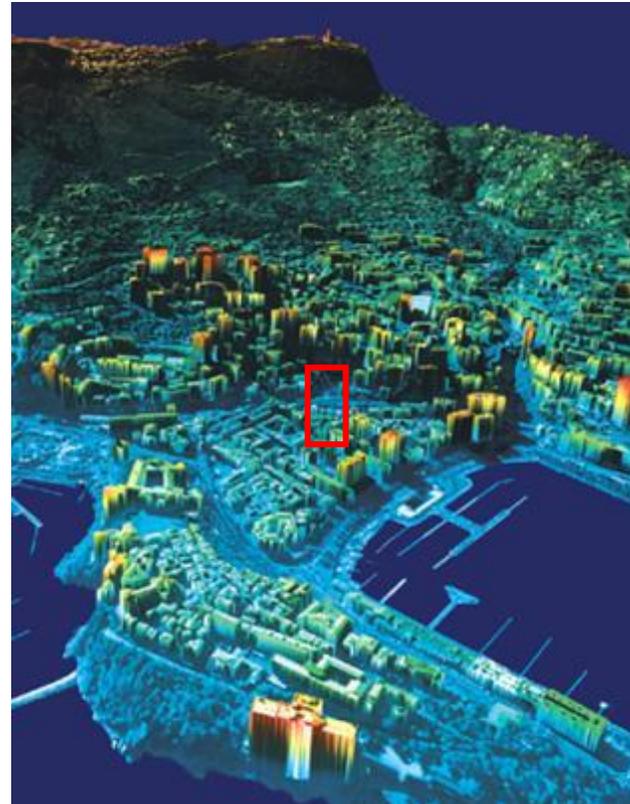
Rendu et visualisation du modèle dans l'espace



# Modèle numérique de terrain

## Produits dérivés du MNT

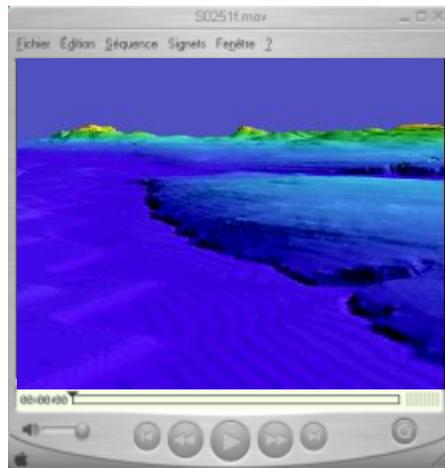
Modélisation d'éléments  
physiques du paysage en  
« sursol »



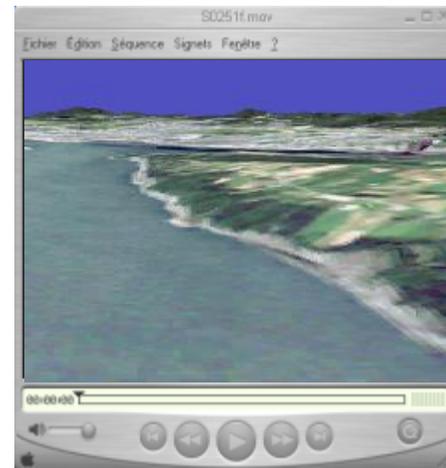
# Modèle numérique de terrain

## Produits dérivés du MNT

Animation 1



Animation 2



**ORTHO-IMAGE**

# Ortho-image

Parce que l'image photographique est imparfaite, nous avons corrigé ses « défauts » pour produire une **carte de base** composée de **données vectorielles** géoréférencées.

En corrigeant ces mêmes « défauts », il est possible de recréer une image en tout point semblable au terrain: nous l'appellerons **ortho-image**.

# Ortho-image

Trois composantes sont nécessaires pour produire une ortho-image:

1. Une image numérique **brute** (avec les données de calibration de la caméra);
2. Des **points de contrôle**;
3. Un **modèle numérique de terrain**.

# Ortho-image

Voici les étapes de production d'une ortho-image:

## A) Le relèvement spatial

- 1) L'orientation intérieure
- 2) L'orientation extérieure ou absolue.

## B) Le redressement différentiel

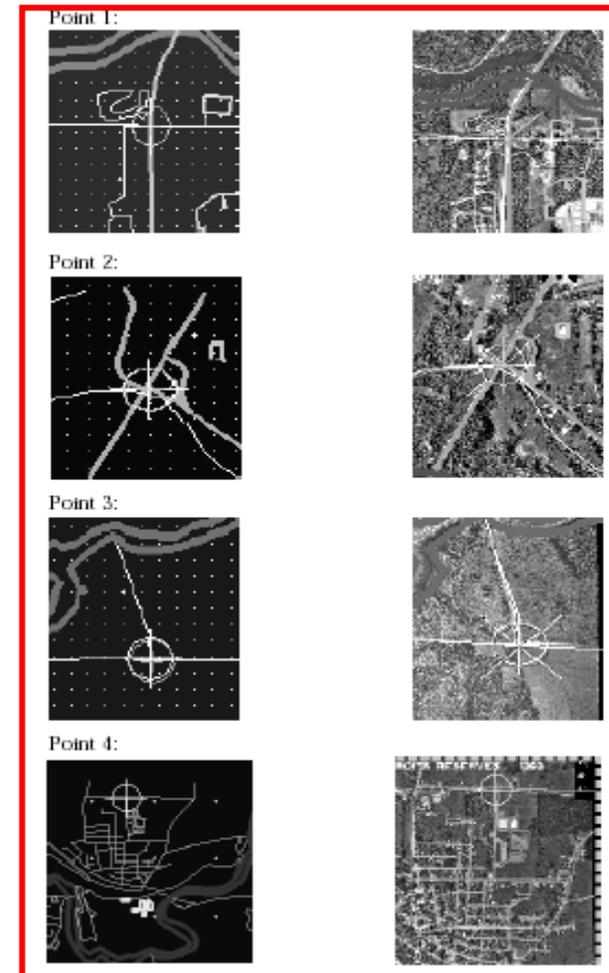
# Ortho-image

## A) Le relèvement spatial

Après avoir réalisé l'orientation intérieure, on procède à l'orientation extérieure.

Cette opération de faire correspondre un point de la carte avec un point de l'image se nomme **repérage**.

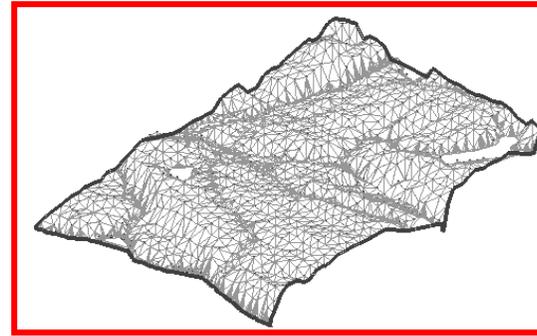
Il faut un minimum de **trois points** par image (cinq en pratique) pour la redresser.



# Ortho-image

## B) Le redressement différentiel:

On utilise ici le modèle **numérique de terrain** pour corriger le **déplacement dû au relief**.

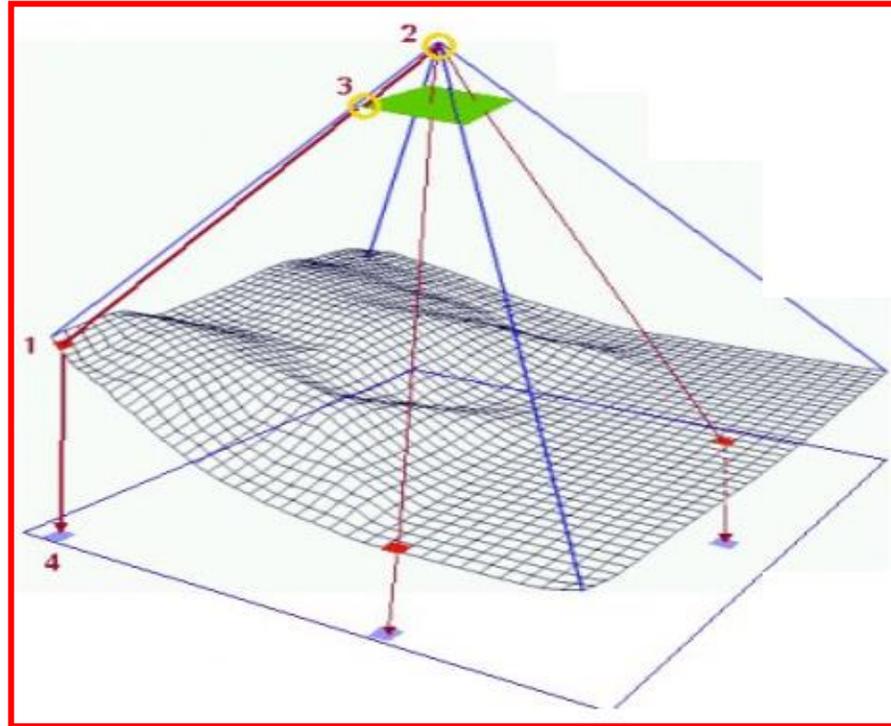


Les éléments composant l'image seront déplacés pour « combattre » **le déplacement dû au relief** causé par la perspective de la photographie de façon à retrouver leur position exacte sur le terrain.

# Ortho-image

## B) Le redressement différentiel:

Même si le MNT ne sera pas toujours visible lors des traitements, il n'en permettra pas moins de connaître les **variations de relief** en tout point de l'image de façon à déduire le déplacement des éléments (pixels) et ainsi pouvoir les **replacer**.

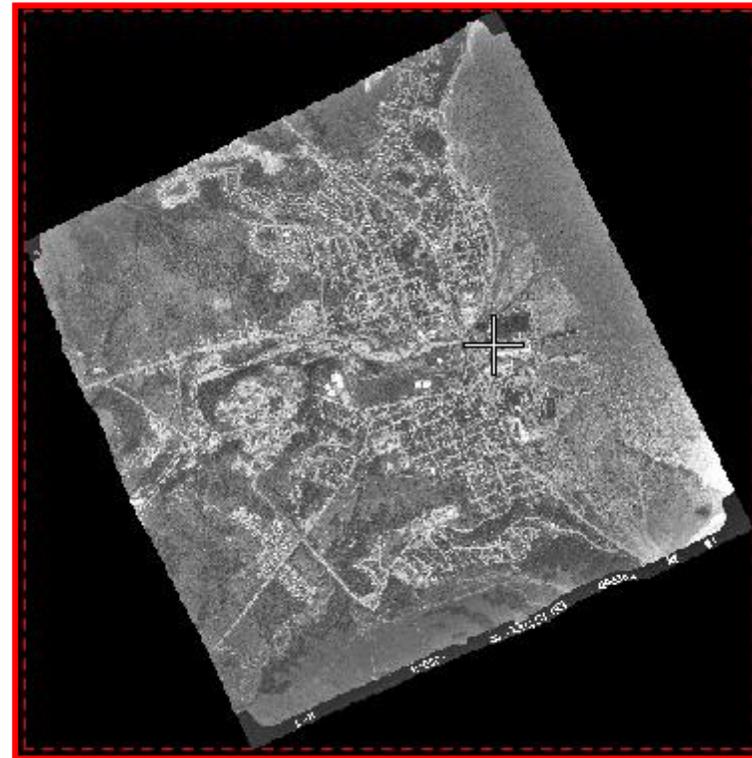


# Ortho-image

## B) Le redressement différentiel:

L'image est alors reconstruite **pixel par pixel**, chaque pixel étant alors déplacé pour adopter sa position finale: cette opération porte le nom de **rééchantillonnage**.

Bien que ressemblant à l'image originelle, il s'agit d'une ortho-image.

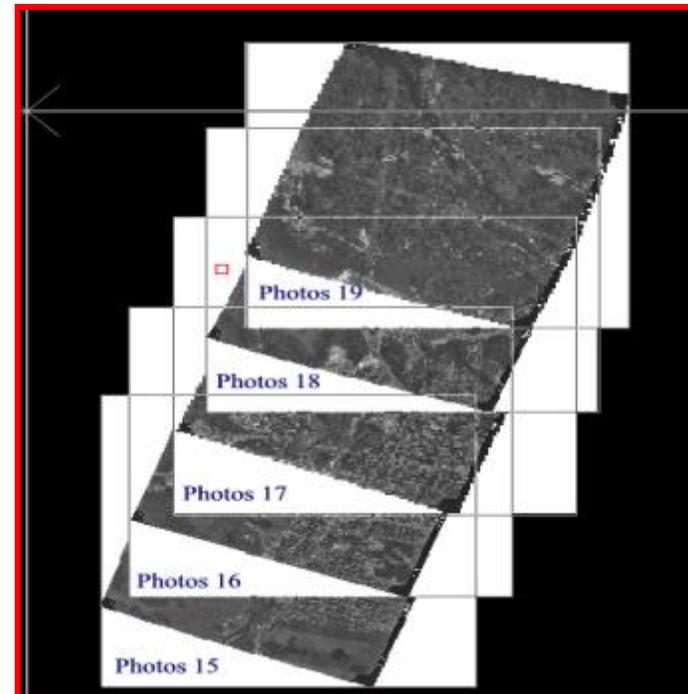


# Ortho-image

## La mosaïque

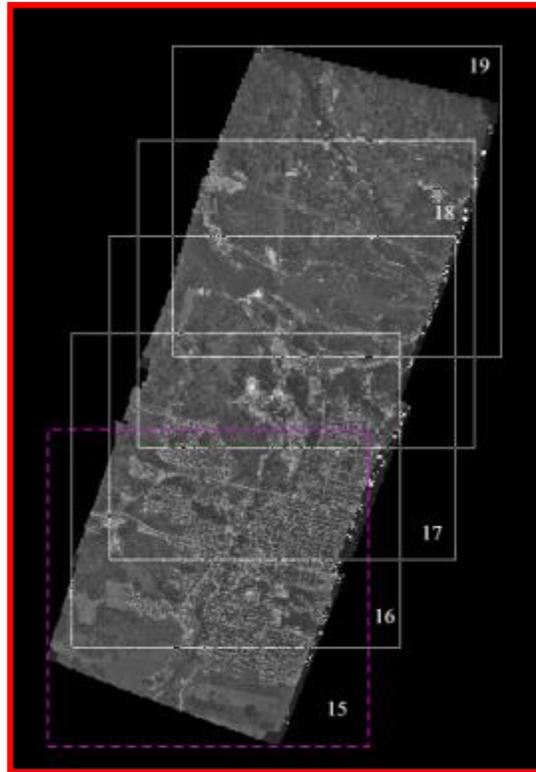
Plusieurs images sont souvent nécessaires pour couvrir un territoire; on les assemblera alors sous forme de **mosaïque**.

Si on vient placer des ortho-images voisines à l'écran, elles se positionneront automatiquement au bon endroit puisqu'elles sont géoréférencées.



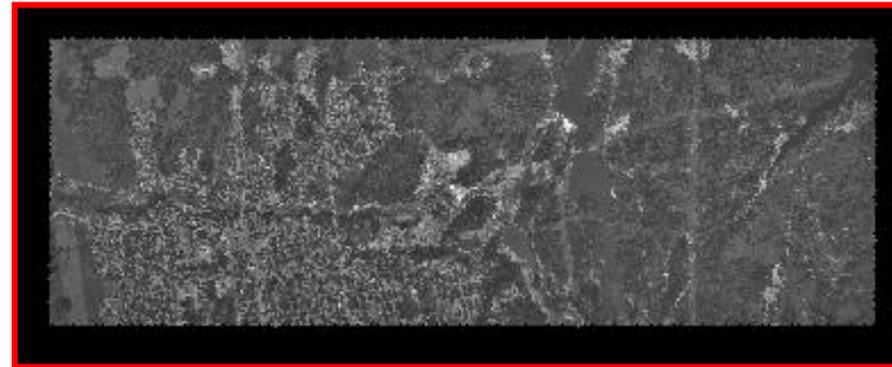
# Ortho-image

## La mosaïque



On peut découper **virtuellement** les images individuelles afin d'en masquer les bordures et d'assurer la continuité du territoire.

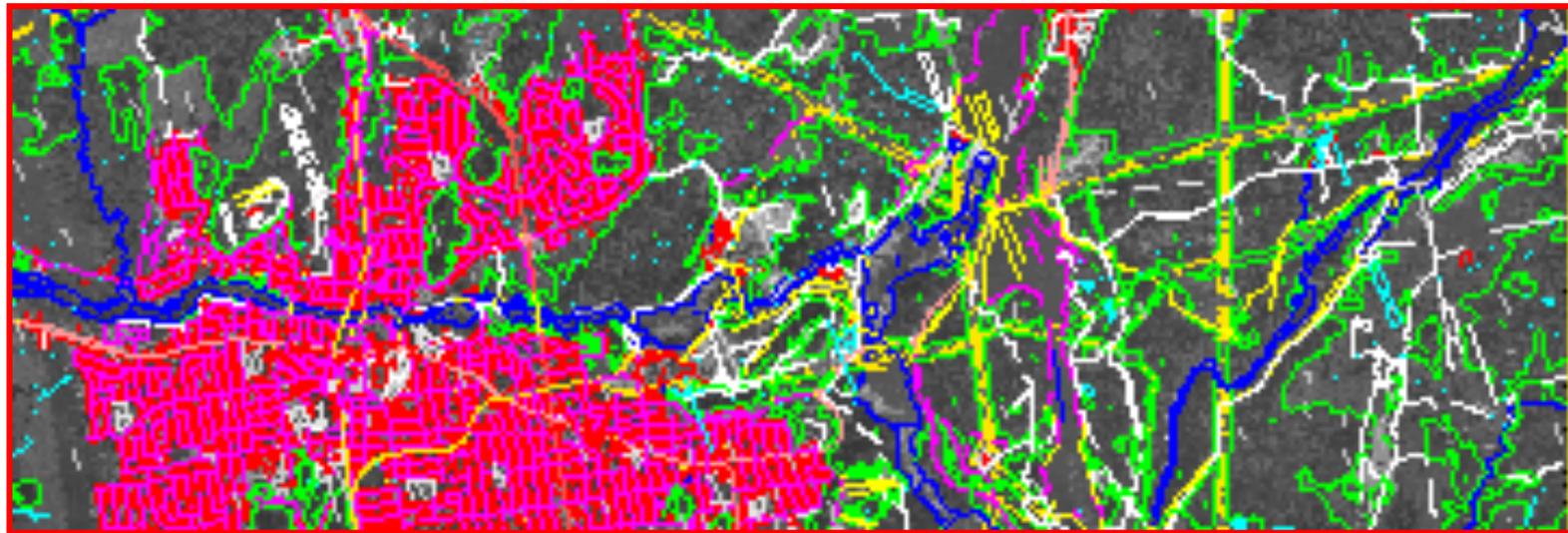
On s'assurera aussi d'égaliser les tons entre les images.



# Ortho-image

## La mosaïque

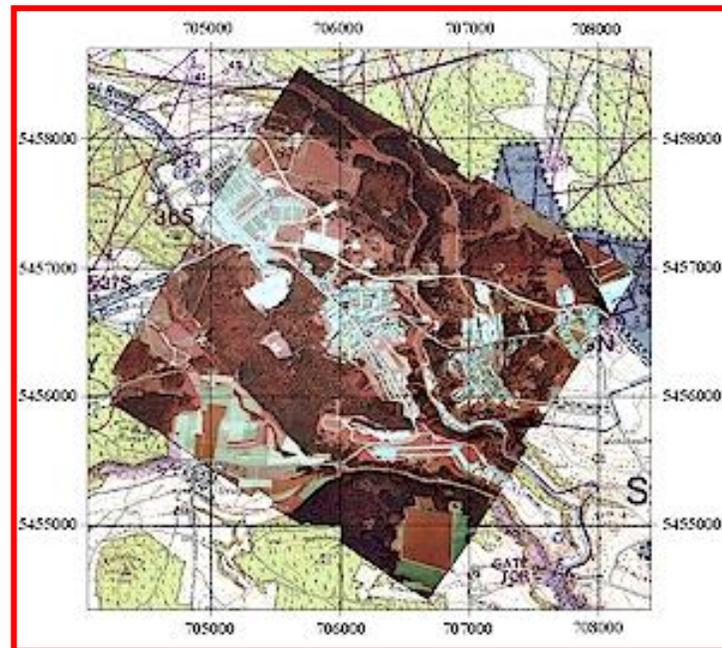
Puisque vecteurs et images ont été géoréférencés, les deux se superposeront parfaitement, prêts à servir de référence spatiale à un système d'information géographique.



# Ortho-image

## La mosaïque

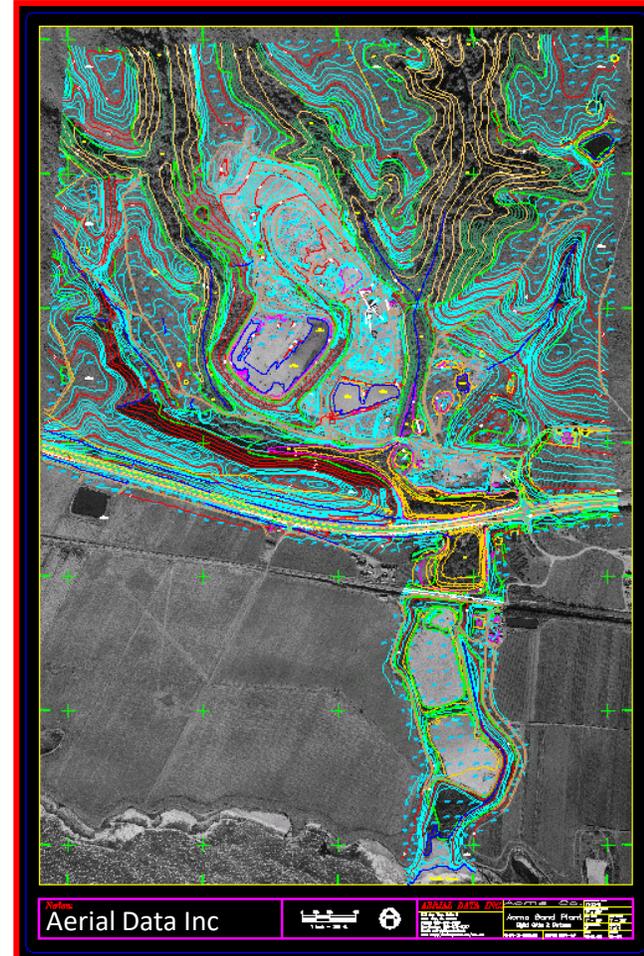
Voici quelques ortho-images convenablement « habillées »...



# Ortho-image

La mosaïque

... auxquelles on peut ajouter les courbes de niveau.



**FINN**