



# Drone & Patrimoine Numérique

Pr. Imane SEBARI

[i.sebari@iav.ac.ma](mailto:i.sebari@iav.ac.ma)



Département de Photogrammétrie et Cartographie

Filière des Sciences Géomatiques et Ingénierie Topographique

Unité de Recherche « Technologies Géospatiales pour une prise de décision intelligente »

Institut Agronomique et Vétérinaire Hassan II



Rabat – 14 juin 2022



## Plan de la présentation

- ❑ Technologie drone
- ❑ Conduite d'un projet drone pour la cartographie et la modélisation 3D du patrimoine culturel
- ❑ Intégration d'autres technologies
- ❑ Autres applications

# Terminologie

## DRONES ? UAV ? UAS ? RPAS ? طائرات بدون طيار



Mikrokopter  
(Open Source Projekt)



Falcon 8, Astec  
(Student projects)



Scout B1-100, Aeroscout  
(Tests with Riegl Laserscanner)



MD4-200, Microdrones  
(Bhutan (3000m)  
and Jungfraujoch (3500m))



Copter 1B, Surveycopter  
(Peru, Honduras,  
student research)



NEO S-300, Swiss-UAV  
(First tests 2010)



**Aéronef** - tout appareil pouvant se soutenir dans l'atmosphère grâce aux réactions de l'air qu'il soit plus léger ou plus lourd que l'air.

*Décret n°2-61-161 du 10 Juillet 1962 portant sur la réglementation de l'aéronautique civile*

**Aéronef télépiloté (sans pilote)**

**Aéronef télé piloté (RPA)** - un aéronef non habité piloté depuis un poste de télé-pilotage.

*Arrêté du ministre de l'équipement, du transport et de la logistique n° 3283-13 du 18 moharrem 1435 (22 novembre 2013) relatif aux règles de l'air*

# Terminologie

## DRONES ? UAV ? UAS ? RPAS ? طائرات بدون طيار



Mikrokopter  
(Open Source Projekt)



Falcon 8, Astec  
(Student projects)



Scout B1-100, Aeroscout  
(Tests with Riegl Laserscanner)



MD4-200, Microdrones  
(Bhutan (3000m)  
and Jungfraujoch (3500m))



Copter 1B, Surveycopter  
(Peru, Honduras,  
student research)



NEO S-300, Swiss-UAV  
(First tests 2010)



**UAV (Unmanned Aircraft Vehicle)** : désignent les véhicules aériens sans pilote qui peuvent voler de façon automatique suivant une trajectographie prédéfinie.

**UAS (Unmanned Aircraft Systems)** : le mot « système » permet de prendre en considération le véhicule aérien ainsi que le dispositif de contrôle au sol.

**RPAS (Remotely Piloted Aircraft System)** : terme officiel international adopté. Il remplace les autres termes pour insister sur la nécessité d'un pilote pour contrôler et agir sur la trajectoire de l'appareil.

# Drones - Catégories



## Drones à ailes fixes :

- (+) Survol de larges zones
- (+) Vitesses de vol élevées
- (+) Autonomie plus grande
- (-) Décollage ou atterrissage



## VTOL (Vertical Take-Off and Landing)



## Drones à voilure rotative :

- (+) Grande flexibilité
- (+) Manœuvres multiples
- (-) Faibles vitesses
- (-) Temps de vol faible



# Drones - Principales composantes

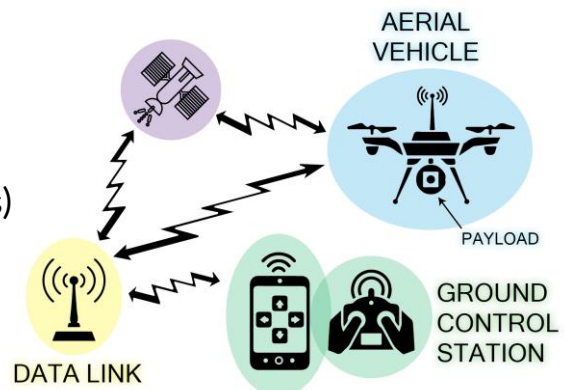
Le Véhicule

L'élément de commande et contrôle

Lien de communication

Dispositif de lancement (pour certains)

La charge utile



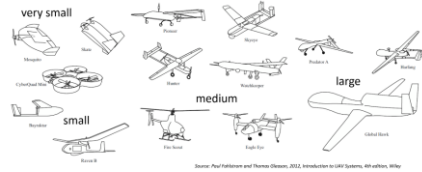
# Drones - Principales composantes

## Le système:

la plateforme aérienne (**chassis**)

+

le dispositif de commande et de contrôle au sol « entre les mains » d'un opérateur humain (pilote).



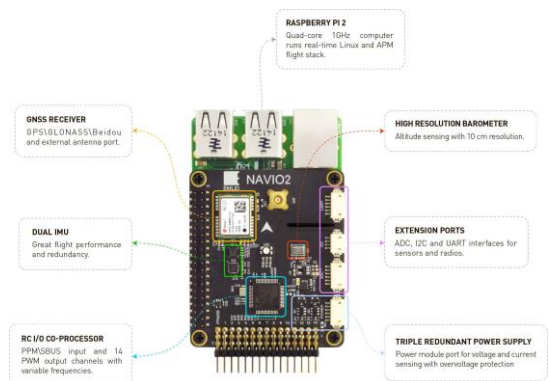
# Drones - Principales composantes

## L'autopilote:

Exécution automatique du vol

Control de la composante d'acquisition des données

Lien permanent avec le dispositif au sol



# Drones - Principales composantes

## La composante d'acquisition des données ( Charge Utile ) :

Caméra aérienne.

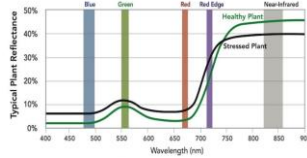


Autres capteurs :

Caméras multispectrales, caméras thermiques, lidar aérien, capteur RADAR ou une combinaison de ces systèmes,

Dépendamment de la masse maximale de la charge utile permise par le drone.

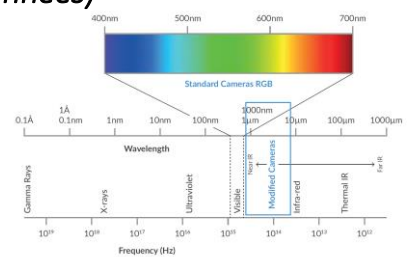
Parfois, besoin d'utilisation d'une nacelle



# Principales composantes

(système, autopilote, composante d'acquisition des données)

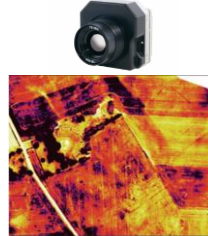
## La composante d'acquisition des données :



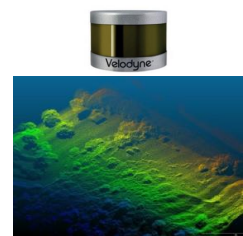
Caméra **RVB**



Caméra multispectrale



Caméra thermique

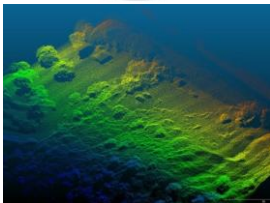


Lidar aérien

# Drones - Principales composantes

## La composante d'acquisition des données :

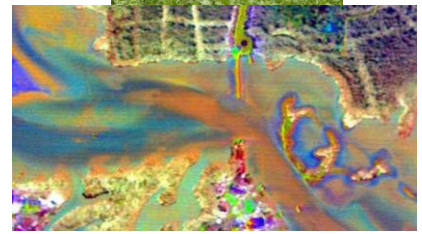
Lidar aérien



Capteur Radar



Caméra hyperspectrale



# Drones - Principales composantes

## Nacelles, Batteries, dispositifs de stockage, ....



Intégration d'un capteur au niveau d'une plateforme drone, à vérifier :

- Poids, taille et volume;
- Possibilité d'intégration
- Intégration par le fabricant ou solutions personnalisées



Batteries







Hub de chargement et alimentation



Ecran avec alimentation

# Classification des drones :

Selon : taille ; poids ; niveau d'autonomie; altitude ; chargement ; type de moteur, masse maximale de la charge utile (MTOW)

Size	Characteristics	Payload size	Operational constraints	Example platforms
Large	Large operating range (~500 km); long flight time (up to 2 days); medium to high altitude (3-20 km)	~200 kg internally and ~900 kg in under-wing pods	High set-up and running costs; requires ground-station support; full aviation clearance; long runway for takeoff and landing; hangar for storage; altitude ceiling above commercial air traffic	NASA Ikhona 
Medium	Large operating range (~500 km); medium flight time (~10 hours); medium altitude (< 4 km)	~50 kg	Similar requirements to large UAVs but with reduced overall costs; reduced requirements for takeoff and landing; and easier control	NASA SIERRA 
Small and mini	Small operating range (< 10 km); low endurance (< 2 hours); low altitude (< 1 km)	Less than 30 kg (small); up to 5 kg (mini)	Line-of-sight flight only; largely fixed wing; simple launch gear and minimal landing/takeoff requirements; flown by flight planning software or by direct radio control	Quest UAV 
Micro and nano	Small operating range (< 10 km); very short flight time (< 1 hour); very low altitude (< 250 m)	Less than 5 kg	Hand-launched; line-of-sight flight only; soft landing place required; usually copter-type UAVs with rotor blade control; flown by flight planning software or by direct radio control	AR-Drone Parrot 

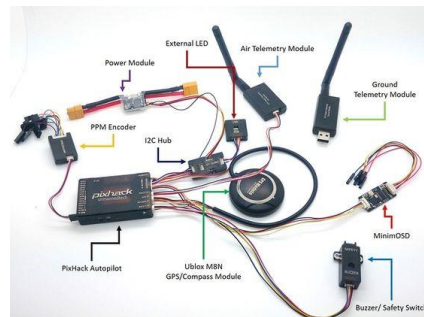
Category	Range (km)	Flying Altitude (m)	Endurance (h)	MTOW (kg)	Example
Micro & Mini UAV (MUAU)	< 10	300	< 2	< 30	md4-200
Medium Altitude Long Endurance (MALE)	> 500	15,000	24 – 48	1,500 – 7,000	Talarion, Predator
High Altitude Long Endurance (HALE)	> 2,000	20,000	24 – 48	4,500 – 15,000	Global Hawk
Vertical Take-off and Landing UAV (VTOL UAV)	x – 204	x – 6,100	0.18 – 8	0.019 – 1,400	Nano Hummingbird, MQ-8 Fire Scout

Name of category	Acronym	Weight [kg]	Range [km]	Flight Altitude [m]	Endurance [hours]
Micro	Micro	<5	<10	250	1
Mini	Mini	25-150	<10	150-300	<2
Close Range	CR	25-150	10-30	3000	2-4
Short-Range	SR	50-250	30-70	3000	3-6
Medium Range	MR	to 1250	70-200	5000	6-10
Medium Range Endurance	MRE	to 1250	>500	8000	10-18
Low Altitude Deep Penetration	LADP	to 350	>250	50-9000	0,5-1
Low Altitude Long Endurance	LALE	<30	>500	3000	>24
Medium Altitude Long Endurance	MALE	to 1500	>500	14 000	24-48

# Classification des drones :

Systèmes commerciaux vs Systèmes Open Source :

- **Systèmes commerciaux :** complets, offrent une fiabilité pratique.  
*DJI, Sensefly, Trimble, ...*
- **Systèmes Open-Source :** grand potentiel pour les projets de recherche avec une utilisation commerciale limitée  
*UAVP, Mikrocopter, Paparazzi.*



## Exemples de solutions de prises de vues par drone sur le marché



Modèle	eBee	eBee X	Inspire 1	Inspire 2	Matrice 210 RTK V2	Matrice 600 Pro
Constructeur	SenseFly	SenseFly	DJI	DJI	DJI	DJI
Voilure	Fixe	Fixe	Tournante	Tournante	Tournante	Tournante
Poids	0.41 kg (sans caméra et batteries)	1.3 kg - 1.6 kg (selon la caméra aéroportée)	2.845 kg (2 batteries incluses, sans caméra et gimbal)	3.44 kg (2 batteries incluses, sans caméra et gimbal)	4.91 kg (avec 2 batteries TB55)	9.5 kg (avec 6 batteries TB47S)
Autonomie (dépend de la charge utile, la batterie et conditions climatiques)	Jusqu'à 50 minutes	Jusqu'à 90 minutes	Jusqu'à 18 minutes	Jusqu'à 27 minutes	Jusqu'à 24 minutes	Jusqu'à 36 minutes (sans charge utile) Jusqu'à 16 minutes (6kg charge utile)
Caméras compatibles	SenseFly S.O.D.A., Sequoia, ThermoMAP, S110 NIR / S110 RE	SenseFly S.O.D.A. 3D, SenseFly Aeria X, SenseFly Duet T, Parrot Sequoia+, SenseFly S.O.D.A., SenseFly Corridor, MicaSense RedEdge MX	DJI Zenmuse X3/X5/X5R/XT/Z3	DJI Zenmuse X4S/X5S/X7	Zenmuse X4S/X5S/X7/XT/XT2/Z30	Ronin-MX; Zenmuse Z30, Zenmuse X5/X5R, Zenmuse X3, Zenmuse XT; Zenmuse Z15 Series HD Gimbal: Z15-A7, Z15-BMPCC, Z15-SD III, Z15-GH4
Température d'utilisation			de -10° à 40° C	de -20° à 40° C	de -20° à 50° C	de -10° à 40° C
Résistance au vent	Jusqu'à 12 m/s	Jusqu'à 12.8 m/s	Jusqu'à 10 m/s	Jusqu'à 10 m/s	Jusqu'à 12 m/s	Jusqu'à 8 m/s
Mode RTK	Disponible	Disponible	Non disponible	Non disponible	Disponible	Disponible
Solution de planification fournie	SenseFly eMotion	SenseFly eMotion	DJI Pilot	DJI Pilot	DJI Pilot	DJI Pilot

## Exemples de solutions de prises de vues par drone sur le marché



Modèle	Matrice 600 Pro	Matrice 300 RTK	Phantom 4 Pro V2.0	UX11	WingtraOne GEN II	EVO II RTK
Constructeur	DJI	DJI	DJI	Delair	Wingtra	AutelDrones
Voilure	Tournante	Tournante	Tournante	Fixe	VTOL	Tournante
Poids	9.5 kg (avec 6 batteries TB47S)	3.6 kg (sans batteries) 6.3 kg (avec 2 batteries TB60)	1.375 kg	1.5 kg	3.7 kg (poids net)	1.25 kg
Autonomie (dépend de la charge utile, la batterie et conditions climatiques)	Jusqu'à 36 minutes (sans charge utile) Jusqu'à 16 minutes (6kg charge utile)	Jusqu'à 55 minutes	Jusqu'à 30 minutes	Jusqu'à 59 minutes	Jusqu'à 59 minutes	Jusqu'à 36 minutes
Caméras compatibles	Ronin-MX; Zenmuse Z30, Zenmuse X5/X5R, Zenmuse X3, Zenmuse XT; Zenmuse Z15 Series HD Gimbal: Z15-A7, Z15-BMPCC, Z15-SD III, Z15-GH4	Zenmuse XT2/XT S/Z30/H20/H20T/DJI P1/DJI L1	Caméra RGB intégrée	Caméra RGB intégrée	Sony RX1R II/a6100/Oblique a6100 MicaSense RedEdge-MX / Altum	Caméra RGB intégrée
Température d'utilisation	de -10° à 40° C	de -20° à 50° C	de 0° à 40°C	de -20° à 45° C	de -10 à 40°C	de -10 à 40°C
Résistance au vent	Jusqu'à 8 m/s	Jusqu'à 15 m/s	Jusqu'à 10 m/s	Jusqu'à 12.5 m/s	Jusqu'à 12 m/s	Jusqu'à 18.8 m/s
Mode RTK	Disponible	Disponible	Disponible	Non disponible	Non disponible	Disponible
Solution de planification fournie	DJI Pilot	DJI Pilot	DJI Pilot	Delair Flight Deck	Wingtra Pilot	Autel Explorer Mission Planner





## Caméra RVB



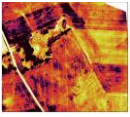
Modèle	Zenmuse P1	Zenmuse X5S	Zenmuse X4S	S.O.D.A.	RX1R II	a6100	IXUS 135 HS
Constructeur	DJI	DJI	DJI	SenseFly	SONY	SONY	SONY
Poids	800 gr	461 gr	253 gr		590 gr	550 gr	135 gr
Résolution	3:2, 8192x5460 px	4:3, 5280 x 3956 16:9, 5280 x 2970	3:2, 5472x3648 4:3, 4864x3648 16:9, 5472x3078	3:2, 5472 x 3648 px	8000 x 5320 px	6000 x 4000 px	3:2, 4608x3072 4:3, 4608x3456 16:9, 4608x2592
Focale (s)	24 mm ; 35 mm ; 50 mm	DJI MFT 15mm/1.7 ASPH (With Balancing Ring and Lens Hood) Panasonic Lumix 15mm/1.7 (With Balancing Ring and Lens Hood) Panasonic Lumix 14-42mm/3.5-5.6 HD Olympus M.Zuiko 12mm/2.0 (With Balancing Ring) Olympus M.Zuiko 17mm/1.8 (With Balancing Ring) Olympus M.Zuiko 25mm/1.8 Olympus M.Zuiko 45mm/1.8 Olympus M.Zuiko 9-18mm/4.0-5.6	8.8mm	35 mm	35 mm	20 mm	21.5 - 120 mm
Taille du détecteur	4.4 µm	3.4 µm	2.4 µm	2.33 µm	4.5 µm	3.89 µm	1.33 µm



## Caméra multispectrale



Modèle	DJI 4 Multispectral	Sequoia+	MS600 Pro	RedEdge-MX	Sentera
Constructeur	DJI	Parrot	YuSense	MicaSense	6X Multispectral
Poids		72 gr	290 gr	231.9 gr	MS600 Pro
Capteurs	Blue (450 nm ± 16 nm) Green (560 nm ± 16 nm) Red (650 nm ± 16 nm) Red edge (730 nm ± 16 nm) Near-infrared (840 nm ± 26 nm)	Green (550nm ± 40nm) Red (660nm ± 40nm) Red edge (735nm ± 10nm) Near-infrared (790nm ± 40nm)	Blue (450nm ± 35nm) Green (555nm ± 25nm) Red (660nm ± 20nm) Red edge 1 (720nm ± 10nm) Red edge 2 (750nm ± 15nm) Near-infrared (840nm ± 35nm)	Blue (475 nm ± 32 nm) Green (560 nm ± 27 nm) Red (668 nm ± 14 nm) Red edge (717 nm ± 12 nm) Near-infrared (842 nm ± 57 nm)	Blue (475 nm ± 32 nm) Green (550 nm ± 20 nm) Red (670 nm ± 30 nm) Red edge (715 nm ± 10 nm) Near-infrared (840 nm ± 20 nm)
Commentaires	Conçue spécialement pour le modèle Phantom 4	Peut être intégrée à bord de plusieurs modèles de drones (SenseFly, DJI, etc.)	Conçu surtout pour les séries DJI M200/M210/M300	Peut être intégrée à bord de plusieurs modèles de drones (SenseFly, DJI, etc.)	Peut être intégrée à bord de plusieurs modèles de drones (Sentera, DJI, etc.)



## Caméra thermique



Modèle	Zenmuse XT2	Zenmuse XT	Zenmuse H20T	Duet T	Vue Pro	Wiris Pro	Optris
Constructeur	DJI	DJI	DJI	SenseFly	FLIR	Workswell	PI 640i
Poids	Focale 25 mm: 629 gr Autres focales: 588 gr	270 gr	828 gr		113 gr	430 gr	269 - 340 gr
Résolution	640x512 px ; 336x256 px	640x512 px ; 336x256 px	640x512 px	640 x 512 px	640x512 px ; 336x256 px	640 x 512 px	640 x 480 px
Focale (s)	9 mm ; 13 mm ; 19 mm ; 25 mm	6.8 mm ; 7.5 mm ; 9 mm ; 13 mm ; 19mm	13.5 mm	13 mm	6.8 mm ; 9 mm ; 13 mm ; 19 mm	9 mm ; 13 mm ; 19 mm	7.7 mm ; 10.5 mm ; 18.7 mm ; 41.5 mm
Taille du détecteur	17 µm	17 µm	12 µm	17 µm	17 µm	17 µm	17 µm
Bande spectrale	7.5 - 13.5 µm	7.5 - 13.5 µm	8-14 µm	7.5 - 13.5 µm	7.5 - 13.5 µm	7.5 - 13.5 µm	8 - 14 µm
Plage thermique de la scène	de -40° à 550°C	de -40° à 550°C	de -40° à 550°C		de 0 à 40°C	de -40° à 550°C	de -20° à 900°C
Sensibilité thermique	<50 mK	<50 mK	<50 mK	<50 mK	<50 mK	<50 mK	<40 mK
Capteur RGB	Intégré (3000x4000 px)	Non intégré	Intégré (5184 x 3888 px)	Intégré (5472 x 3648 px)	Non intégré	Intégré (1920 x 1080 px)	Non intégré

## Mode de pilotage

- Mode automatique vs mode manuel
- Mode manuel: l'opérateur pilote le drone avec une radio commande
- Mode automatique : le drone exécute une trajectoire définie à l'avance et un télépilote surveille en permanence le drone et à tout moment il doit être en mesure de reprendre le contrôle manuel.



## Drone - Autorisations

1) Autorisation d'import



2) Autorisation de vol



## Etapes de conduite d'un projet drone Cartographie et modélisation 3D du patrimoine culturel

1 Planification du vol

2 Execution du vol

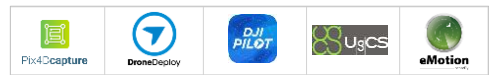
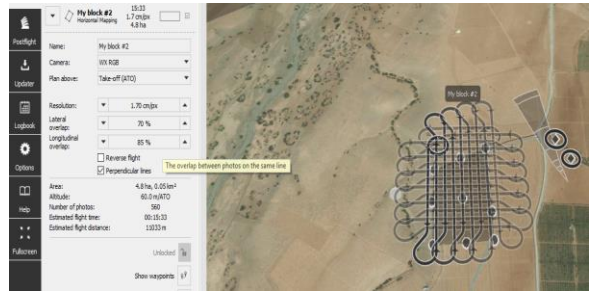
3 Traitement des images

4 Elaboration des produits

# Etapes de conduite d'un projet drone



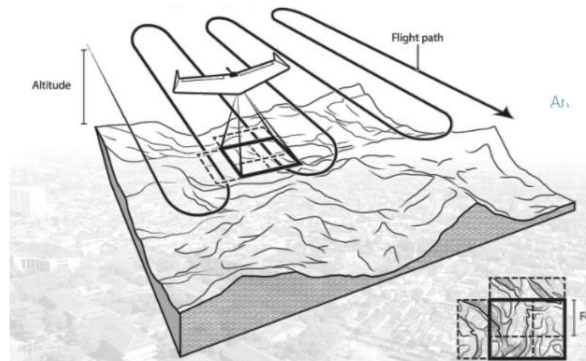
## 1 Planification du vol



# Etapes de conduite d'un projet drone

## (1) Étape de préparation et planification :

- Choix du système drone en fonction des paramètres du projet:  
Etendue de la zone, nature des livrables à produire, ...)

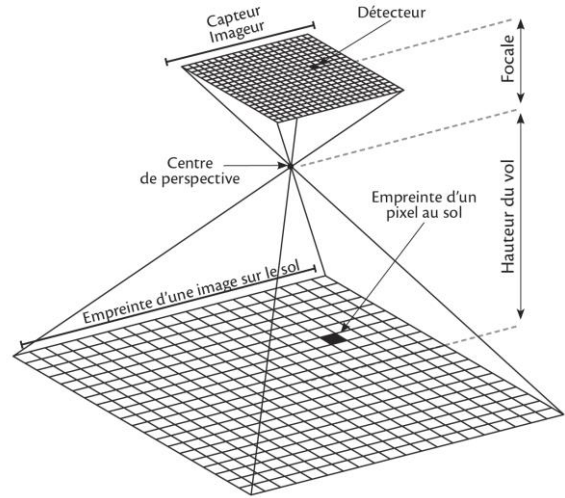
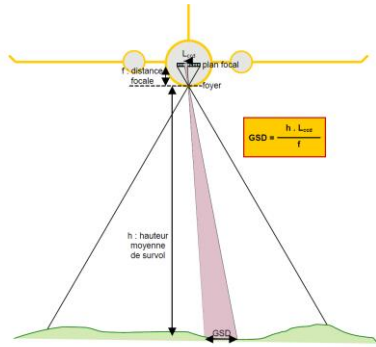


<http://drones.newamerica.org/primer/>

# Etapes de conduite d'un projet drone

## (1) Étape de préparation et planification :

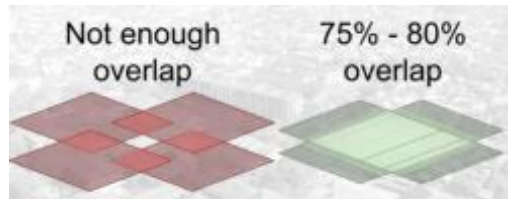
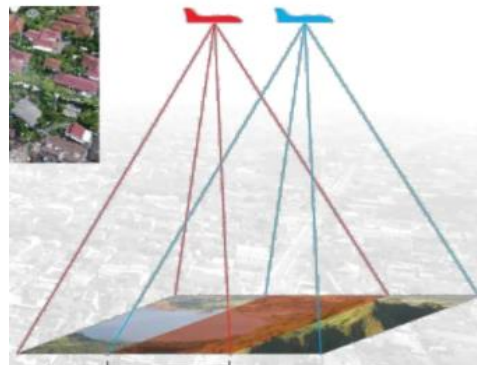
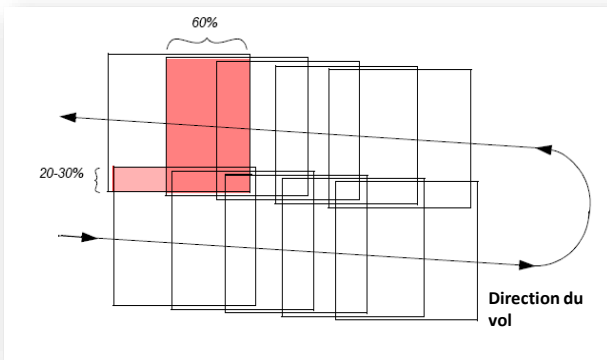
- Planification de la mission de vol
  - Hauteur de vol, Ground sampling (GSD), recouvrements, ...



# Etapes de conduite d'un projet drone

## (1) Étape de préparation et planification :

- Planification de la mission de vol
  - Hauteur de vol, Ground sampling distance (GSD), recouvrements, ...



# Etapes de conduite d'un projet drone

## (1) Étape de préparation et planification :

- Planification de la mission de vol
  - Hauteur de vol, Ground sampling distance (GSD), recouvrements, ...



# Etapes de conduite d'un projet drone

## (1) Étape de préparation et planification :

- Planification de la mission de vol
  - Nature du vol, points de contrôle GCP (naturels ou signalisés, ... )

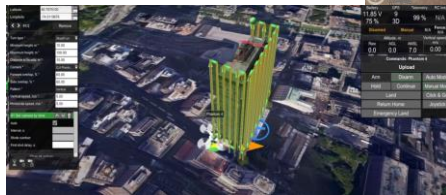
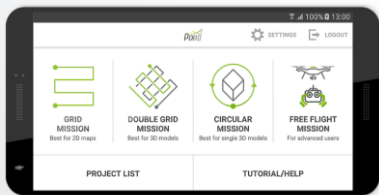
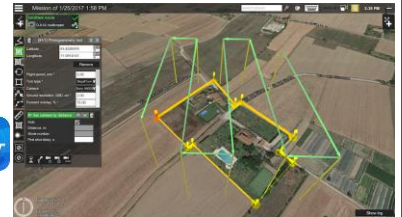
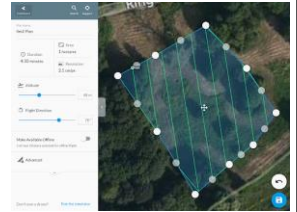


Figure 7. Double grid images acquisition plan

# Etapes de conduite d'un projet drone

## (1) Étape de préparation et planification :

- Planification de la mission de vol
- Solutions : PIX4D Capture, eMotion, Dji Pilot, DroneDeploy, UgCS



# Etapes de conduite d'un projet drone



## 2 Execution du vol

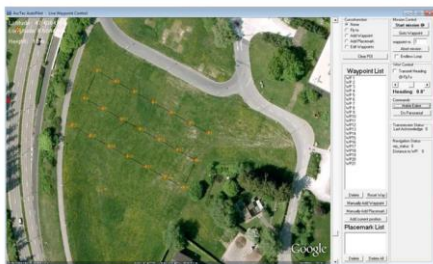
Acquisition des images

Vol automatique, Vol manuel

Vue nadir ou oblique



Remote Control Futaba FX-30



# Etapes de conduite d'un projet drone



## 2 Execution du vol



Station au sol utilisée pour le suivi en temps réel du drone

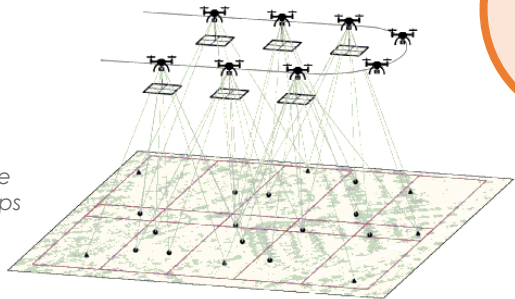
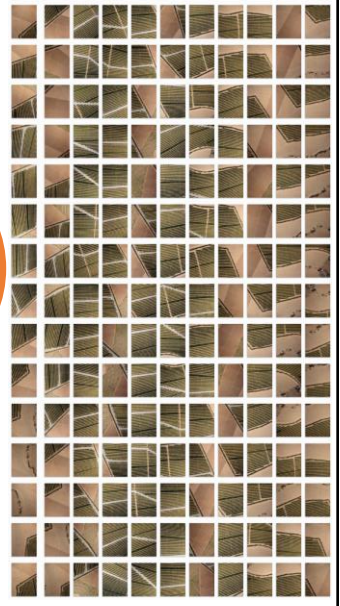


Schéma d'une acquisition photogrammétrique avec deux lignes de vol

10 ha  
13 min  
90 m  
3cm

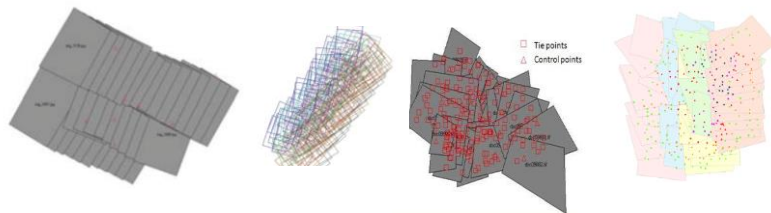


# Etapes de conduite d'un projet drone

## Vérification de la qualité des données acquises :

Durant laquelle les données acquises et celles définies sont comparées et validées (recouvrements, trajectoires, ...).

Le vol peut être repris en totalité ou en partie dans le cas d'une vérification insatisfaisante (problèmes de conformité de trajectoire, de non acquisition d'une image, de non respect des recouvrements, ...).



Exemples de bloc d'images acquises par un drone

Criterion	Appropriate picture(s)	Inappropriate picture(s)
Image sharpness		
Orientation		
Overlapping area		



# Etapes de conduite d'un projet drone

## 3 Traitement des images

*Photogrammétrie mlti-vues (MultiView Photogrammetry)*

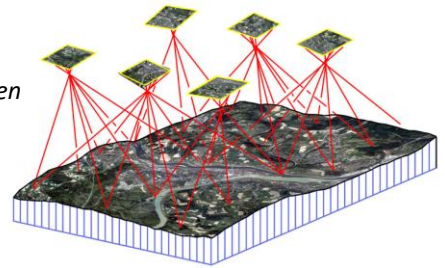
*La photogrammétrie : la technique de calculer et mesurer la forme et la position d'un objet à partir de photographies.*

*Processus de reconstruction d'objets à distance à partir d'une*

*La photogrammétrie utilise la stéréoscopie pour restituer une scène en 3D.*

*L'objet doit être visible sur aux moins deux photos en 2D pour sa restitution en 3D.*

*Besoin de recouvrement entre les photos (longitudinal et latéral)*

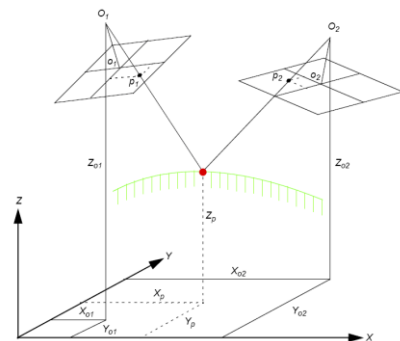
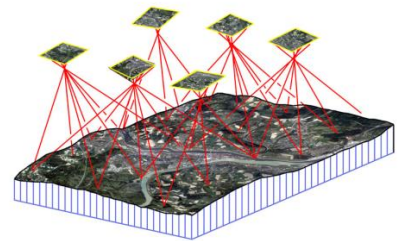


# Etapes de conduite d'un projet drone

## 3 Traitement des images

*Photogrammétrie mlti-vues (MultiView Photogrammetry)*

**La photogrammétrie est la technique qui se propose d'étudier et de définir avec précision les formes, les dimensions et la position dans l'espace d'objet quelconque, en utilisant essentiellement des mesures faites sur des photographies de cet objet.**



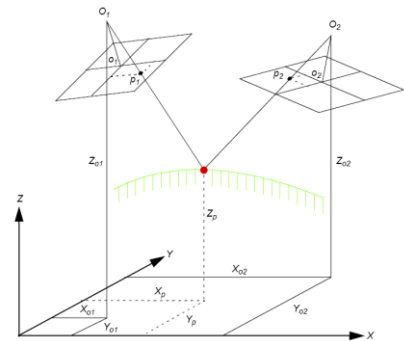
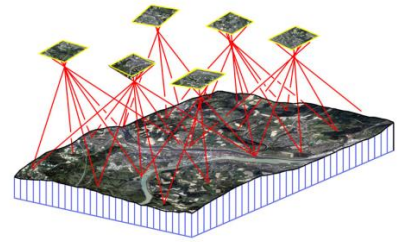
# Etapes de conduite d'un projet drone

## 3 Traitement des images

La photogrammétrie utilise la stéréoscopie pour restituer une scène en 3D.

L'objet doit être visible sur aux moins deux photos en 2D pour sa restitution en 3D.

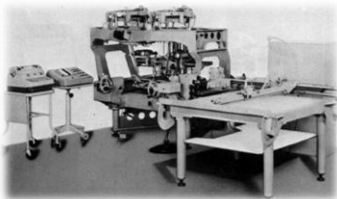
Besoin de recouvrement entre les photos (longitudinal et latéral)



# Etapes de conduite d'un projet drone

## 3 Traitement des images

Evolution de la photogrammétrie



Appareil analogique



Appareil analytique



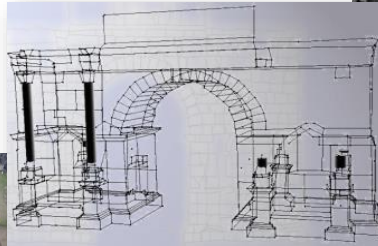
Station de photogrammétrie numérique

# Etapes de conduite d'un projet drone

## 3 Traitement des images



Restitution photogrammétrique



Produits réalisés par Photogrammétrie terrestre

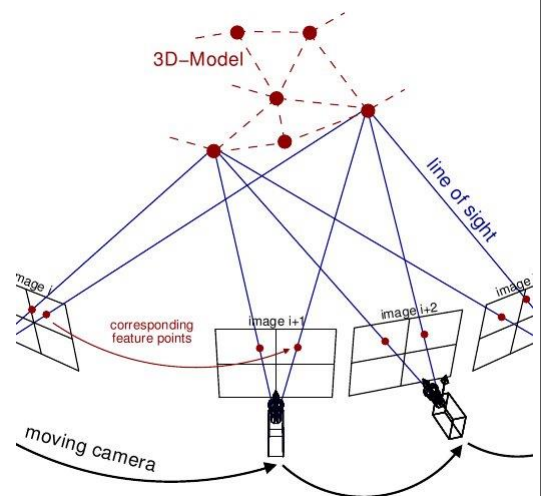
# Photogrammétrie multi-vues

Muti-view geometry

Technique : **Structure from Motion (SfM)**

**Principe** : Estimation de structures 3D à partir de séquences d'images 2D avec recouvrements.

- Géométrie de la scène (**Structure**): A partir de points homologues 2D (match) sur deux ou plusieurs images quels sont les points points 3D correspondants ?
- Correspondance (**Stereo Matching**): Un point sur une seule image, comment il contribue à la position du point correspondant sur une autre image
- Géométrie de la camera (**Motion**) : A partir d'un ensemble de points en deux ou plusieurs images, quelles sont les matrices de la camera pour ces vues?



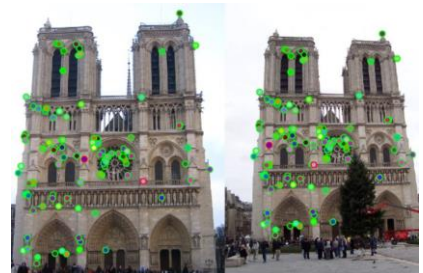
# Photogrammétrie multi-vues



## Détection des primitives

### Algorithms pour la détection

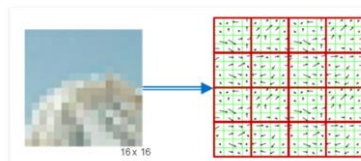
- Harris Corner(invariant to echelle)
- SIFT(Scale Invariant Feature Transform)
- SURF(Speeded Up Robust Feature)
- FAST(Features from Accelerated Segment Test)
- ORB(Oriented FAST and Rotated BRIEF)



# Description

## - Caractérisation des points détectés :

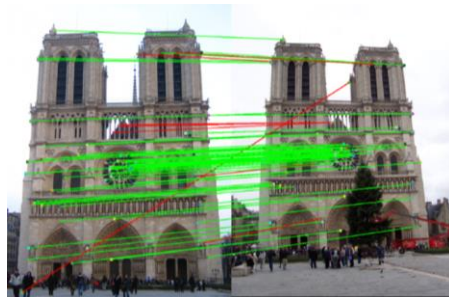
- Description permettant de discriminer et distinguer chaque point des autres;
- Description générique permettant de reconnaître des points représentant un même point de l'espace malgré certaines altérations (Variations de l'illumination, distorsions liées au changement de point de vue, aux rotations, ...);
- Descripteurs basés sur les histogrammes, descripteurs binaires



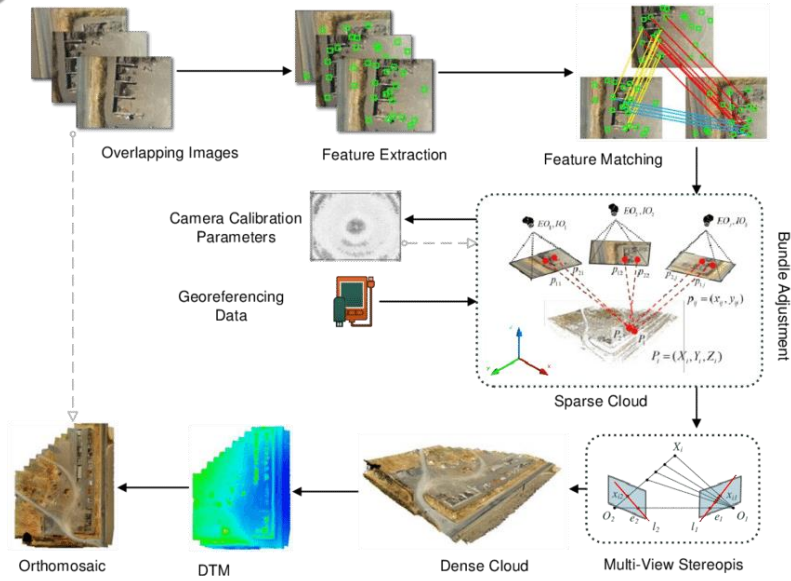
# Correspondance

## Descripteur bases sur histogramme des orientations de gradient (HOG)

- Objectif : correspondance entre les primitives des différentes images
- Prendre le descripteur d'une primitive du premier ensemble (image) et le faire correspondre à toutes les autres descripteurs des autres primitives du deuxième ensemble en utilisant un calcul de distance (Exemple : distance euclidienne)
- La primitive la plus proche est renvoyée.



# Photogrammétrie multi-vues



## Etapes de conduite d'un projet drone

### 3 Traitement des images

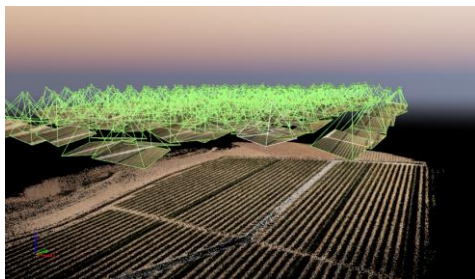
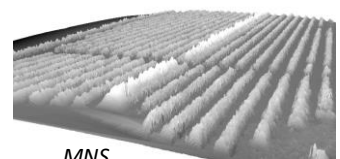


Image mosaïque de 288 orthoimages



MNS



MNT

# Etapes de conduite d'un projet drone

## 3 Traitement des images

### Photogrammétrie mlti-vues (MultiView Photogrammetry)

Différentes solutions:

- les algorithmes utilisés,
- la rapidité des traitements pour un large volume d'images,
- les paramètres des orientations et les précisions obtenues,
- les méthodes d'extraction des points utilisés (automatique, manuelle, semi-automatique),
- la densité des modèles numériques générés
- et le degré de l'intervention humaine.

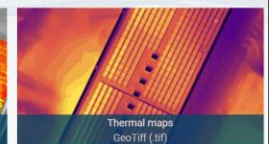
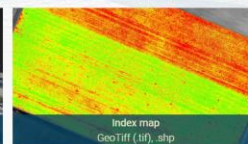
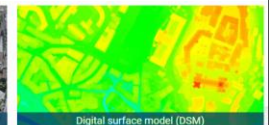


Et d'autres ....

# Etapes de conduite d'un projet drone

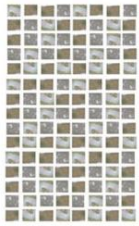
## 4 Elaboration des produits

- MNT/MNS
- Orthoimage
- Modèles 3D
- Plans 2D
- Courbes de niveau
- Nuage de points
- Cartes des indices:  
biomasse, chlorophylle, ...
- Carte des températures
- ...

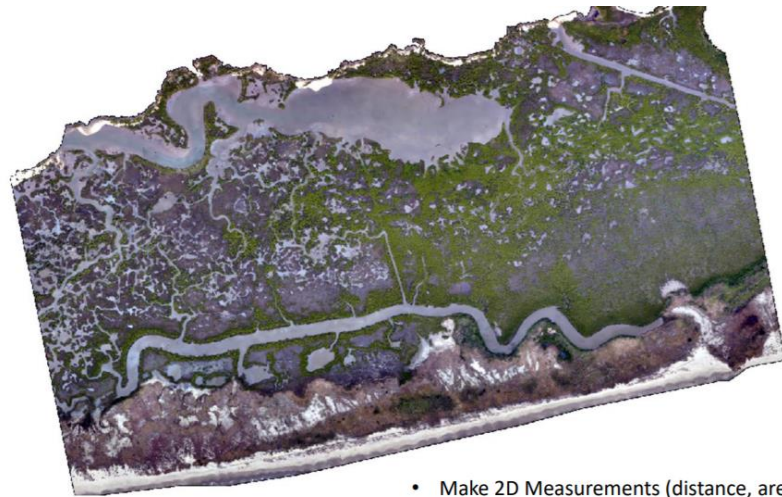


## Etapes de conduite d'un projet drone

Orthomosaique

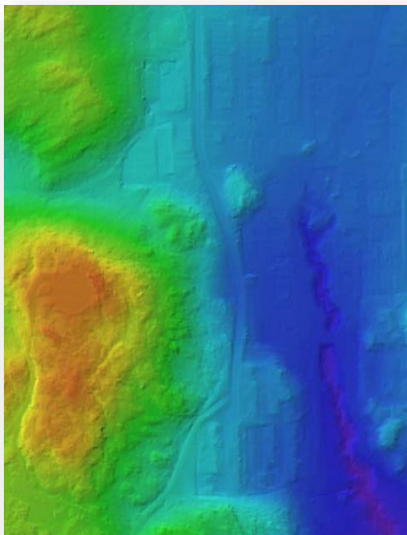


Numerous  
Overlapping  
Images

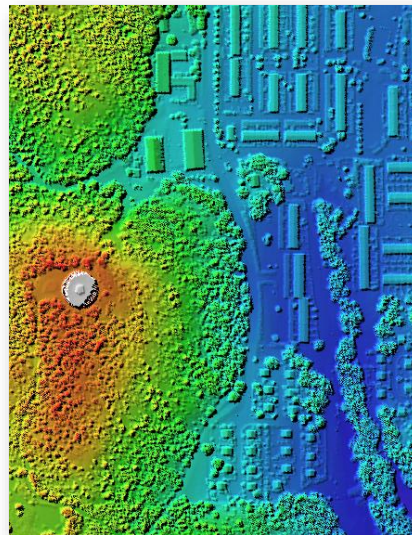


- Make 2D Measurements (distance, area)
- GIS integration

## Etapes de conduite d'un projet drone



MNT - Modèle Numérique de Terrain



MNS - Modèle Numérique de Surface



# Etapes de conduite d'un projet drone

## Modèles 3D



Composed of points in 3D space

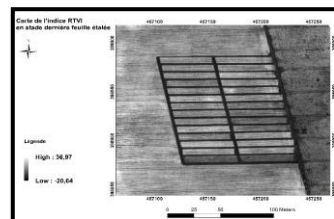
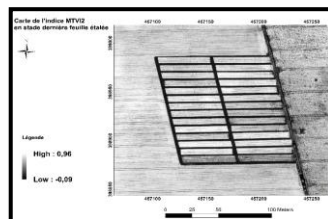
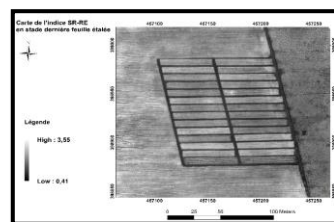
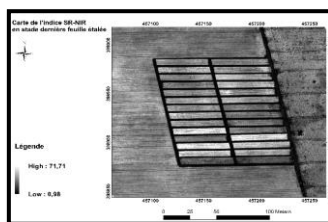
Useful for 3D measurements, Volumetric Calculations



# Cartes d'indice de végétation



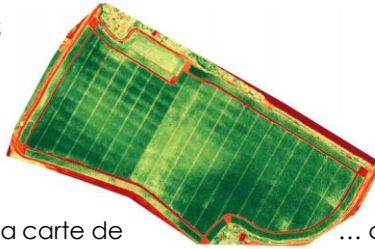
Image drone acquise par camera multispectrale



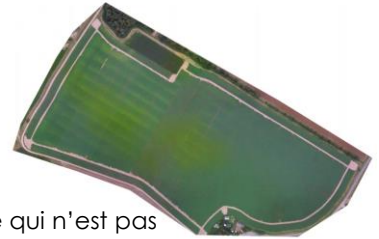
Cartes des indices : NDVI, NDRE, GNDVI et GNDRE

# Cartes d'indice de végétation

Cartes des indices: biomasse, chlorophylle, ...  
NDVI, LAI, PRI, VARI, ....  
Carte des températures



L'analyse de la carte de l'indice VARI a montré la présence de parasites ...



... ce qui n'est pas observable sur l'imagerie réelle.

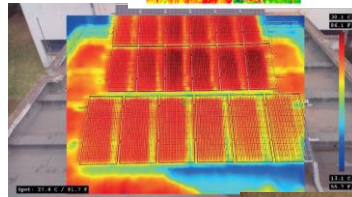
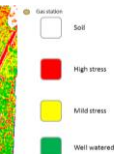
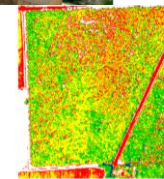
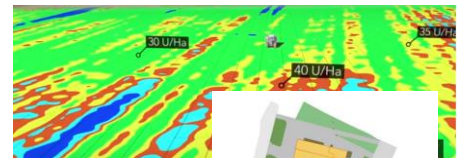
## Applications

- Cartographie
- Modélisation 3D
- Inspection
- Suivi et monitoring

- Patrimoine
- Infrastructure
- Foncier
- Aménagement du territoire
- Agriculture
- Energie et Mines

Mais aussi

- Surveillance
- Immobilier
- Tourisme
- Cinéma/television/evenements/documentaire/production videos



# Drone et patrimoine culturel



## Réhabilitation et la sauvegarde des circuits touristiques et spirituels 2017-2019 de la Médina de Marrakech (l'Agence Urbaine de Marrakech)



❑ Koubba Almoravide (Patrimoine historique de 1064) : **modélisation 3D** pour évaluer son état actuel et de prévoir la restauration de ses éléments dégradés ;



❑ Façades des commerces de Souk Jdid : **Orthophotoplan, orthophotos de façade, Modèle 3D** pour proposer un nouveau design esthétique et homogène pour ce Souk.



❑ Mosquée Kharbouch : nécessite une **modélisation 3D** et l'**orthophoto** pour le choix des procédés conservatoires convenables vu l'état de dégradation.



❑ Façade de la route menant à Riad Zitoun : **Restitution photogrammétrique** et mesures sur **orthophoto** de façade

(Kellouch S., Jebrane E., Sebari I., Benkirane W., 2017)

# Drone et patrimoine culturel

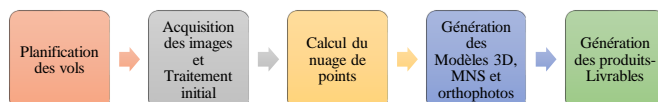


DJI Phantom 4 Pro

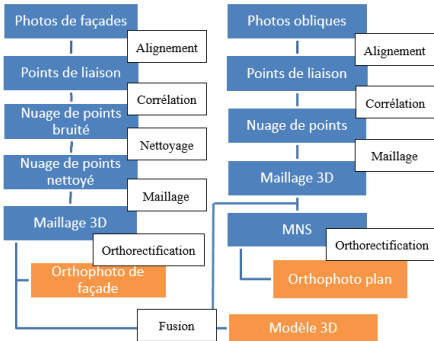
Ligne de Vol	Hauteur de vol	Angle de la caméra	Recouvrement entre les photos
1	6 m	0°	3 m * 3 m
2	12 m	30°	3 m * 3 m

Objet à modéliser	Hauteur de vol	Angle de la caméra	Recouvrement entre les photos
<b>Koubba Elmoravide</b>	20 m	45°	10°
<b>Minaret de Kharbouch</b>	25 m	45°	12°

N° de vol	Hauteur de vol	Recouvrement latéral/longitudinale	Angle de la caméra	Dimension de la zone survolée
Vol 1	30 m	70%	70°	212 m * 159 m
Vol 2	30 m	70%	70°	136 m * 272 m
Vol 3	30 m	70%	70°	155 m * 289 m
Vol 4	30 m	70%	70°	175 m * 172 m



# Drone et patrimoine culturel



N° de vol	Durée du vol	Nombre de photos
1	16min : 47s	482
2	16min : 08s	456
3	17min : 11s	500
4	15min : 39s	442
Façades	35min	503

Nuage de points de la Kouba Almoravide avant filtrage (en haut) et une fois nettoyé (en bas)

# Drone et patrimoine culturel



Place de Jemaa El-Fna : t= 4x20 min, H=30m, angle caméra 70°, 70%x70%, double grille.



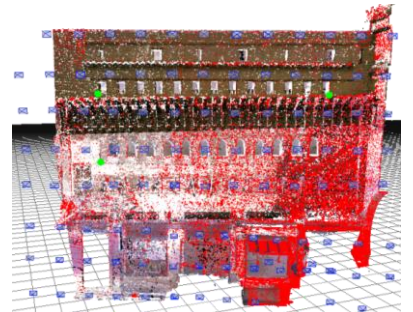
Orthophotos de façades: une mission à vol manuel, 2 lignes, 20 m des façades, recouvrements 3m x 3m.

« Kouba Almoravide » et « Minaret de Kharbouch », vol circulaire, camera à 45°, recouvrement 12°.

# Intégration du drone avec d'autres technologies



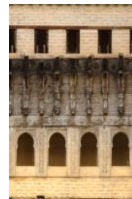
**Technologie Lasergrammétrie :**  
Scanner Laser Terrestre  
Scanner la réalité en nuage de points



Nuage de points issu du LaserScan

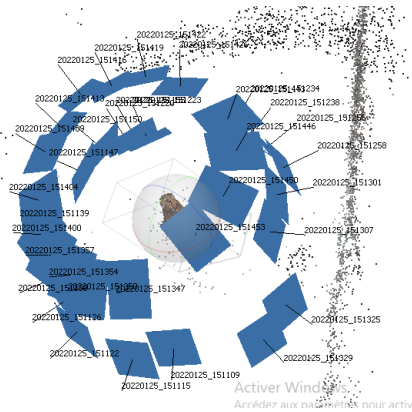


**Photogrammétrie Terrestre :**  
Prise de photos terrestres  
Compémentarité  
Modélisation 3D

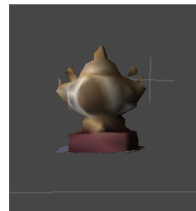
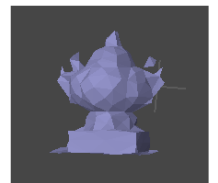
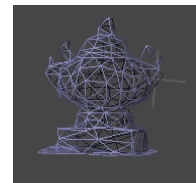
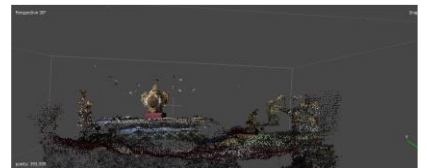


# Intégration du drone avec d'autres technologies

**Modélisation 3D des objets.**



Active Windows  
Accédez aux paramètres pour activer



## Considérations


- ❑ Importance de la phase acquisition pour des livrables de qualité.
- ❑ 3D reality capture, Intégration avec d'autres technologies d'acquisition pour une capture de la réalité 3D exhaustive.
- ❑ Appel à l'intelligence artificielle.
- ❑ Mise en Valeur (Réalité virtuelle, réalité augmentée, (VR/AR/XR, Environnements 3D immersives, HBIM, ...).






**Autres applications ...**




# Agriculture




## Données Drone et Scanner Laser Terrestre (TLS) pour l'estimation du rendement des agrumes








**eBee**

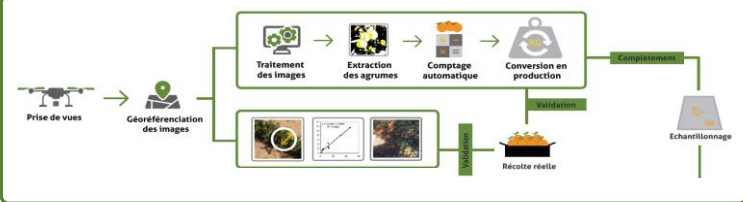


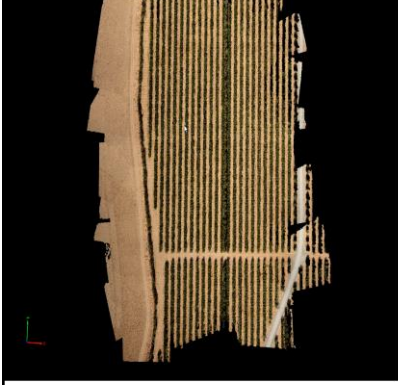
**Inspire 1 RAW**




**Laser Scanner Trimble TX6**

- 1) Extraction des fruits
- 2) Estimation de la production des agrumes (Arbre, verger)





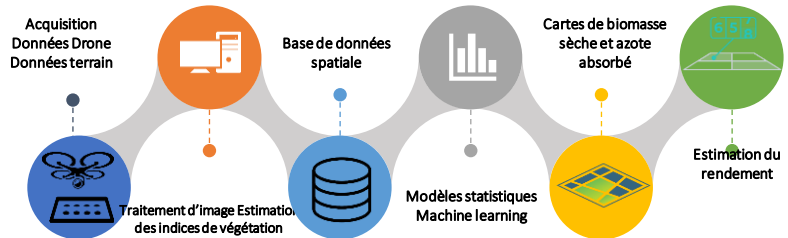


	VOL 1	VOL 2	VOL 3	VOL 4	VOL 5	VOL 6
Durée (min)	24	20	27	27	5	5
Hauteur de vol (m)	49	60	74	105	118	25
CSO (km)	1.4	1.7	2.1	3.0	0.6	0.6
Inclinaison de la caméra	90° (Haute)	90° (Haute)	90° (Haute)	90° (Haute)	75° (Moyenne)	90° (Haute)
Mode de vol	Planité (Automatique)	Planité (Automatique)	Planité (Automatique)	Planité (Automatique)	Automatique	Automatique
Superficie couverte (ha)	4	4	4	4	0.25	0.25
Drone utilisé	eBee	eBee	eBee	eBee	Inspera 10000	Inspera 10000

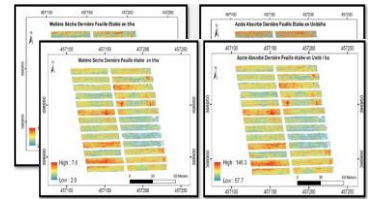
(Hmimou M., Amediaz K., Sebari I., Bounajma N., 2018)

*Configuration des vols*

# Estimation du rendement agricole du blé par imagerie multispectrale



- Utilisation des indices de végétation pour l'estimation des paramètres biophysiques du blé (biomasse sèche, azote absorbé)
- Modèle global basé sur des modèles de régression et Machine Learning



(Astaoui G., Dadaiss J-E., Sebari I., Benmansour S., 2019)



## Foresterie



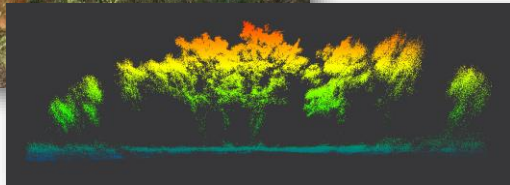
# Modélisation forestière et estimation de la biomasse



(Benbareyf K., Sbihi Y., Sebari I., Benkirane W., Kellouch S., Assali F., 2018)



Cartographie de risque de feu de forêt;  
Extraction de la quantité de biomasse stockée dans les différentes strates de la forêt.



Drone hexacopteur M600 Pro



LIDAR velodyne VLP-16



Caméra zenmuse z3



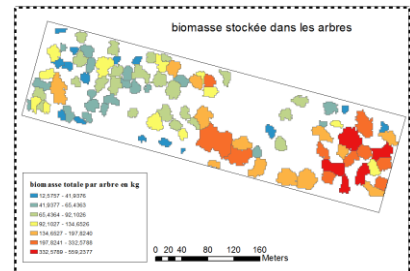
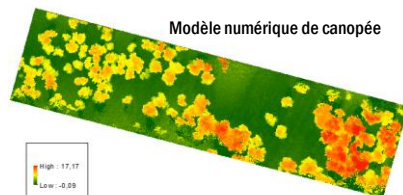
Système INS/GPS Geohnav

# Modélisation forestière et estimation de la biomasse



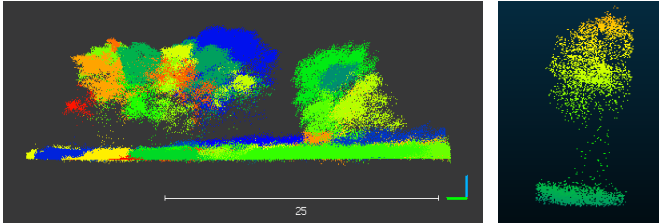
Estimation des hauteurs, hauteur des houppiers et des positions des arbres  
Estimation validées par les données des placettes.

Méthodes pour la modélisation de la biomasse combustible forestière



# Estimation de la biomasse aérienne (AGB) et du stock de carbone (AGC)

Etude du potentiel des drones, Scanner Laser terrestre et aérien et la photogrammétrie, pour la caractérisation de la structure de la végétation et l'estimation du stock de carbone de la biomasse aérienne sur de larges surfaces.



Extraction automatique des paramètres dendrométriques

Estimation de la biomasse

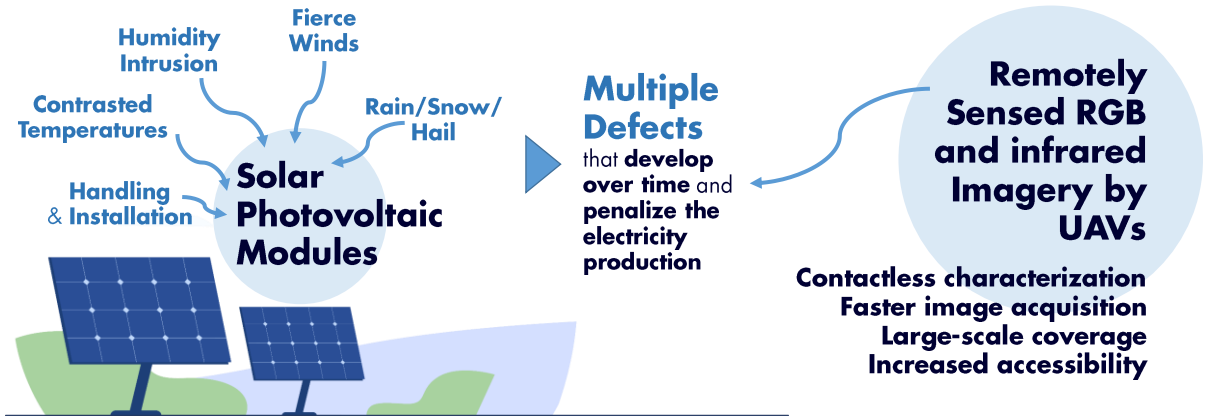
Estimation du stock de carbone

Comparaison inventaire forestier



## Energies Renouvelables

**CONTEXT & PROBLEMATIC**



**THE SMARTDRONE4PV PROJECT**



**1. ADVANCED UAV PHOTOGRAMMETRY**

for RGB and long-wave thermal infrared image acquisition

**2. DEEP LEARNING SOLUTIONS**

for defect detection and classification on the used imagery types

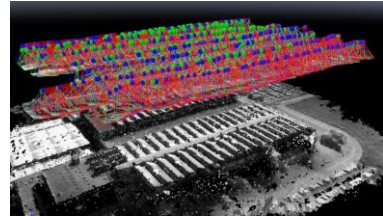
**3. BIG DATA ANALYTICS**

to handle the huge datasets that are generated by large-scale PV plants

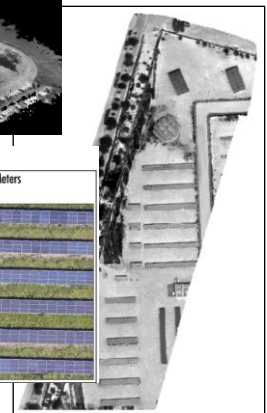
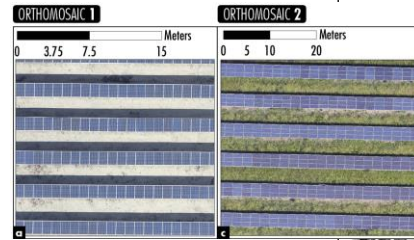
### DATA ACQUISITION



RGB and thermal infrared on-field image acquisition

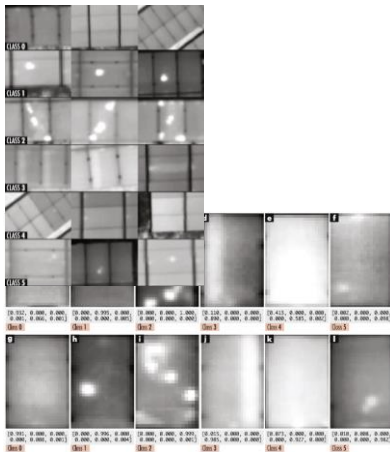


SfM-MVS photogrammetric post-processing

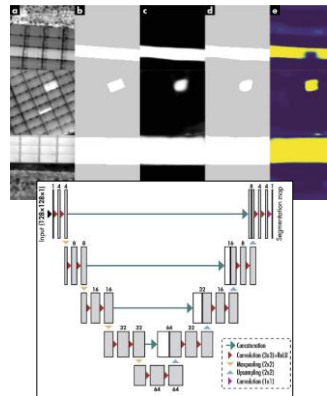


### DEEP LEARNING-BASED DEFECT DETECTION

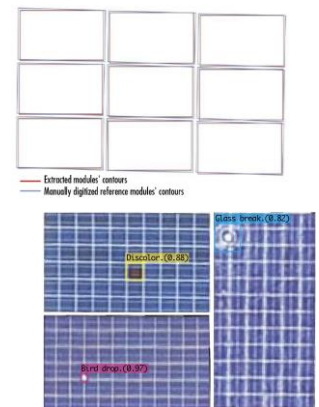
#### IMAGE CLASSIFICATION



#### SEMANTIC SEGMENTATION



#### OBJECT DETECTION



Smart  
Drone 4PV



**Merci pour  
votre  
attention.**

**Pr. Imane Sebari**  
**[i.sebari@iav.ac.ma](mailto:i.sebari@iav.ac.ma)**