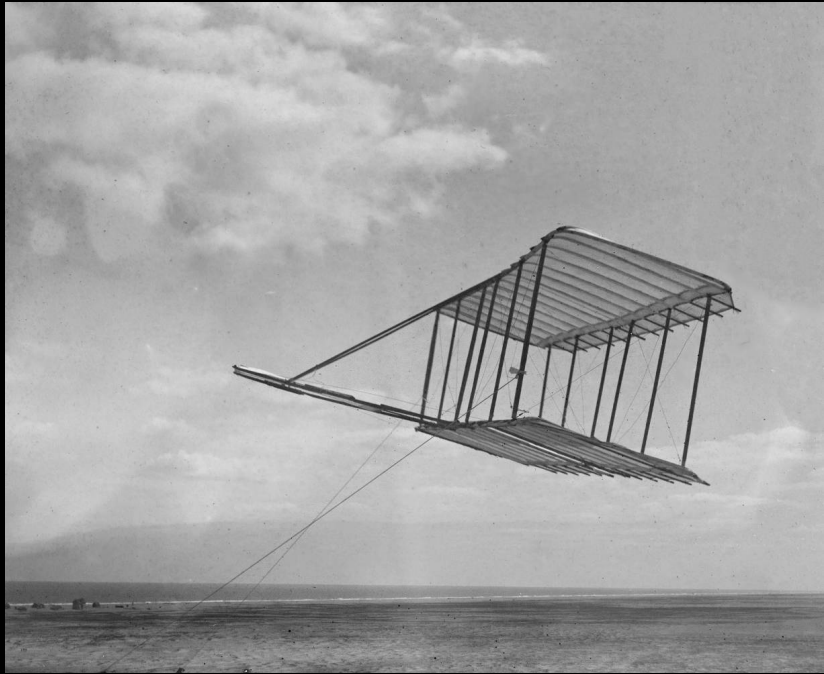




1888



1900



PHOTOGRAPH BY  
W. & A. LOEWENSTEIN CO.  
SAN FRANCISCO

PHOTOGRAPH BY  
W. & A. LOEWENSTEIN CO.  
SAN FRANCISCO

1906



# Méthode complète d'acquisition et de traitement par cerf-volant

Denis Feurer<sup>1</sup>, Mohamed Amine El Maaoui<sup>2</sup>, Mohamed Rached  
Boussema<sup>2</sup>, Olivier Planchon<sup>1</sup> and Marc Pierrot-Deseilligny<sup>3</sup>

<sup>1</sup>UMR LISAH, IRD, France

<sup>2</sup>LTSIRS, ENIT, Tunisia

<sup>3</sup>ENSG/IGN, France

ENIT, Tunisie - 3 novembre 2015

## Plan très classique

- 1 Introduction
- 2 Materiel & Méthodes
- 3 Résultats & Discussion
- 4 Conclusion



## Contexte : alternative au drone

- ⊖ contraintes réglementaires
- ⊖ contraintes météo (vent)
- ⇒ utilisation du cerf-volant ☺

## Enjeu : caractère opérationnel

- ⊖ difficulté du "pilotage"
- ⊖ jeux de données "exotiques" pour les traitements géomatiques
- ⊖ solution bas coût
- ⇒ mettre en oeuvre une technique simple et robuste
- ⇒ résolution des problèmes méthodologiques



## Contexte : alternative au drone

⊖ contraintes réglementaires

⊖ contraintes météo (vent)

⇒ utilisation du cerf-volant ☺

## Enjeu : caractère opérationnel

⊖ difficulté du "pilotage"

⊖ jeux de données "exotiques" pour les traitements géomatiques

⊖ solution bas coût

⇒ mettre en oeuvre une technique simple et robuste

⇒ résolution des problèmes méthodologiques





## Contexte : alternative au drone

☹️ contraintes réglementaires

☹️ contraintes météo (vent)

⇒ utilisation du cerf-volant ☺️

## Enjeu : caractère opérationnel

☹️ difficulté du "pilotage"

☹️ jeux de données "exotiques" pour les traitements géomatiques

☹️ solution bas coût

⇒ mettre en oeuvre une technique simple et robuste

⇒ résolution des problèmes méthodologiques



## Contexte : alternative au drone

- ⊖ contraintes réglementaires
- ⊖ contraintes météo (vent)
- ⇒ utilisation du cerf-volant ☺

## Enjeu : caractère opérationnel

- ⊖ difficulté du "pilotage"
- ⊖ jeux de données "exotiques" pour les traitements géomatiques
- ⊖ solution bas coût
- ⇒ mettre en oeuvre une technique simple et robuste
- ⇒ résolution des problèmes méthodologiques

## Contexte : alternative au drone

- ☹️ contraintes réglementaires
- ☹️ contraintes météo (vent)
- ⇒ utilisation du cerf-volant 😊

## Enjeu : caractère opérationnel

- ☹️ difficulté du “pilotage”
- ☹️ jeux de données “exotiques” pour les traitements géomatiques
- 😊 solution bas coût
- ⇒ mettre en oeuvre une technique simple et robuste
- ⇒ résolution des problèmes méthodologiques

## Contexte : alternative au drone

- ☹️ contraintes réglementaires
- ☹️ contraintes météo (vent)
- ⇒ utilisation du cerf-volant 😊

## Enjeu : caractère opérationnel

- ☹️ difficulté du “pilotage”
- ☹️ jeux de données “exotiques” pour les traitements géomatiques
- 😊 solution bas coût
- ⇒ mettre en oeuvre une technique simple et robuste
- ⇒ résolution des problèmes méthodologiques

## Contexte : alternative au drone

- ☹️ contraintes réglementaires
- ☹️ contraintes météo (vent)
- ⇒ utilisation du cerf-volant 😊

## Enjeu : caractère opérationnel

- ☹️ difficulté du “pilotage”
- ☹️ jeux de données “exotiques” pour les traitements géomatiques
- 😊 solution bas coût
- ⇒ mettre en oeuvre une technique simple et robuste
- ⇒ résolution des problèmes méthodologiques



## Contexte : alternative au drone

- ☹️ contraintes réglementaires
- ☹️ contraintes météo (vent)
- ⇒ utilisation du cerf-volant 😊

## Enjeu : caractère opérationnel

- ☹️ difficulté du “pilotage”
- ☹️ jeux de données “exotiques” pour les traitements géomatiques
- 😊 solution bas coût
- ⇒ mettre en oeuvre une technique simple et robuste
- ⇒ résolution des problèmes méthodologiques



## Contexte : alternative au drone

- ☹️ contraintes réglementaires
- ☹️ contraintes météo (vent)
- ⇒ utilisation du cerf-volant 😊

## Enjeu : caractère opérationnel

- ☹️ difficulté du “pilotage”
- ☹️ jeux de données “exotiques” pour les traitements géomatiques
- 😊 solution bas coût
- ⇒ mettre en oeuvre une technique simple et robuste
- ⇒ résolution des problèmes méthodologiques

## Contexte : alternative au drone

- ☹️ contraintes réglementaires
- ☹️ contraintes météo (vent)
- ⇒ utilisation du cerf-volant 😊

## Enjeu : caractère opérationnel

- ☹️ difficulté du “pilotage”
- ☹️ jeux de données “exotiques” pour les traitements géomatiques
- 😊 solution bas coût
- ⇒ mettre en oeuvre une technique simple et robuste
- ⇒ résolution des problèmes méthodologiques

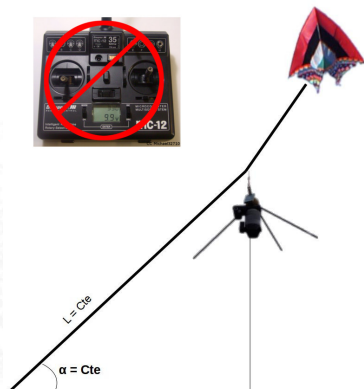


## AutoKAP (Kite Aerial Photography)

- Déclenchement automatique
- Visée verticale fixe

### Points clés

- Hypothèse : géométrie d'acquisition fixe
- ⇒ plan de vol  
parcours de l'opérateur !!
- Besoin de vérifier cette hypothèse
- ⇒ Analyse du vol du cerf-volant  
⇒ Préparation de l'acquisition (longueur de fil ⇒ altitude)

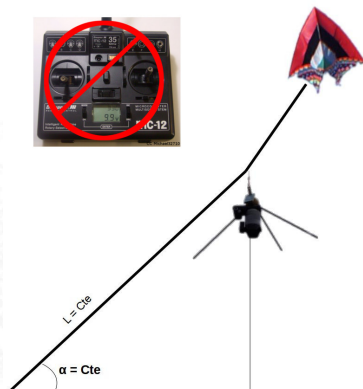


## AutoKAP (Kite Aerial Photography)

- Déclenchement automatique
- Visée verticale fixe

### Points clés

- Hypothèse : géométrie d'acquisition fixe
- ⇒ plan de vol  
parcours de l'opérateur !!
- Besoin de vérifier cette hypothèse
- ⇒ Analyse du vol du cerf-volant  
⇒ Préparation de l'acquisition (longueur de fil ⇒ altitude)

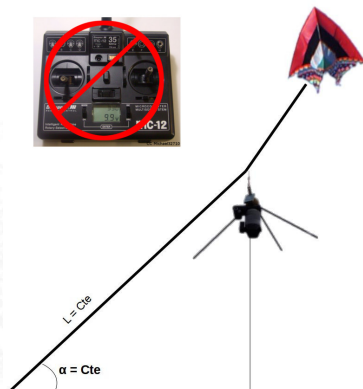


## AutoKAP (Kite Aerial Photography)

- Déclenchement automatique
- Visée verticale fixe

### Points clés

- Hypothèse : géométrie d'acquisition fixe
- ⇒ plan-de-vol  
parcours de l'opérateur !!
- Besoin de vérifier cette hypothèse
- ⇒ Analyse du vol du cerf-volant  
⇒ Préparation de l'acquisition (longueur de fil ⇒ altitude)

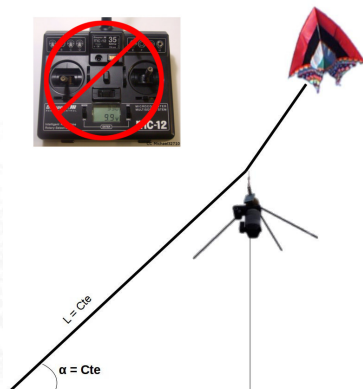


## AutoKAP (Kite Aerial Photography)

- Déclenchement automatique
- Visée verticale fixe

### Points clés

- Hypothèse : géométrie d'acquisition fixe
- ⇒ **plan de vol**  
**parcours de l'opérateur !!**
- Besoin de vérifier cette hypothèse
- ⇒ Analyse du vol du cerf-volant  
⇒ Préparation de l'acquisition (longueur de fil ⇒ altitude)



## AutoKAP (Kite Aerial Photography)

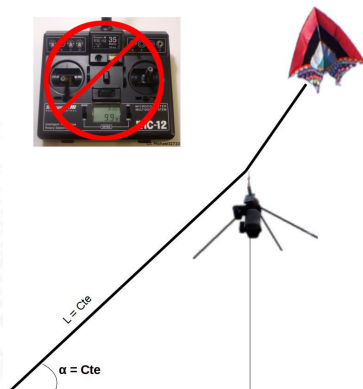
- Déclenchement automatique
- Visée verticale fixe

### Points clés

- Hypothèse : géométrie d'acquisition fixe
- ⇒ **plan de vol**  
**parcours de l'opérateur !!**
- Besoin de vérifier cette hypothèse

⇒ Analyse du vol du cerf-volant

⇒ Préparation de l'acquisition (longueur de fil ⇒ altitude)



## AutoKAP (Kite Aerial Photography)

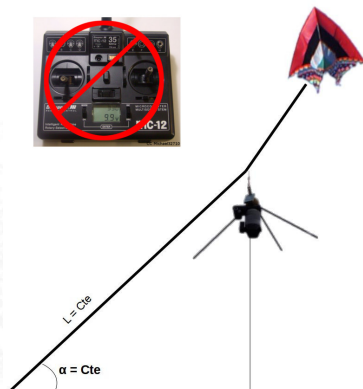
- Déclenchement automatique
- Visée verticale fixe

### Points clés

- Hypothèse : géométrie d'acquisition fixe
- ⇒ **plan de vol**  
**parcours de l'opérateur !!**
- Besoin de vérifier cette hypothèse

⇒ Analyse du vol du cerf-volant

⇒ Préparation de l'acquisition (longueur de fil ⇒ altitude)



## AutoKAP (Kite Aerial Photography)

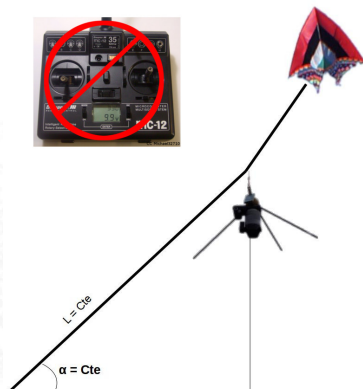
- Déclenchement automatique
- Visée verticale fixe

### Points clés

- Hypothèse : géométrie d'acquisition fixe
- ⇒ **plan de vol**  
**parcours de l'opérateur !!**
- Besoin de vérifier cette hypothèse

⇒ Analyse du vol du cerf-volant

⇒ Préparation de l'acquisition (longueur de fil ⇒ altitude)



## AutoKAP (Kite Aerial Photography)

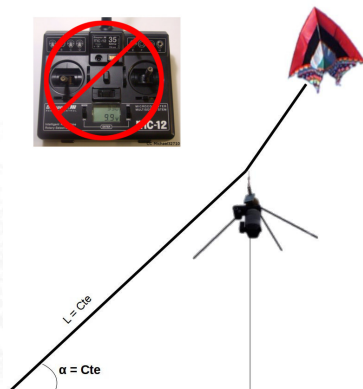
- Déclenchement automatique
- Visée verticale fixe

### Points clés

- Hypothèse : géométrie d'acquisition fixe
- ⇒ **plan de vol**  
**parcours de l'opérateur !!**
- Besoin de vérifier cette hypothèse

⇒ Analyse du vol du cerf-volant

⇒ Préparation de l'acquisition (longueur de fil ⇒ altitude)





## AutoKAP (Kite Aerial Photography)

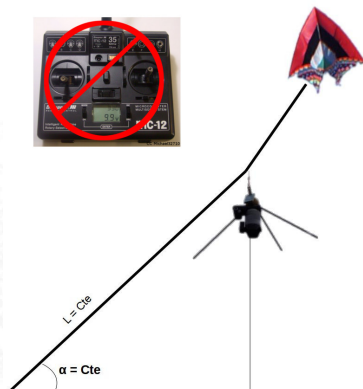
- Déclenchement automatique
- Visée verticale fixe

### Points clés

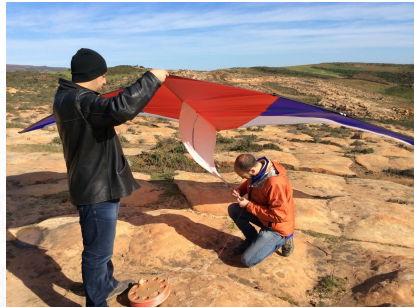
- Hypothèse : géométrie d'acquisition fixe
- ⇒ **plan de vol**  
**parcours de l'opérateur !!**
- Besoin de vérifier cette hypothèse

⇒ Analyse du vol du cerf-volant

⇒ Préparation de l'acquisition (longueur de fil ⇒ altitude)



- Ailes deltas : stables, simples, robustes, fiables
  - Bobine & fil gradué
  - Camera hybride focale fixe, stabilisateur désactivé déclenchement automatique
  - Pendule simple mini-logger GPS (analyse du vol)
  - carte SD 64Go autonomie : 3h30 😊
- ⇒ coût ≈ 1000€



Montage du cerf-volant

- Ailes deltas : stables, simples, robustes, fiables
  - Bobine & **fil gradué**
  - Camera hybride  
focale fixe, stabilisateur désactivé  
déclenchement automatique
  - Pendule simple  
mini-logger GPS (analyse du vol)
  - carte SD 64Go  
autonomie : 3h30 😊
- ⇒ coût  $\approx$  1000€



Bobine bloquée avec un mousqueton



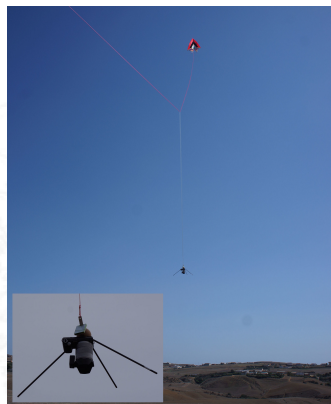
Graduation à 110m

- Ailes deltas : stables, simples, robustes, fiables
  - Bobine & **fil gradué**
  - **Camera hybride**  
focale fixe, stabilisateur désactivé  
**déclenchement automatique**
  - Pendule simple  
mini-logger GPS (analyse du vol)
  - carte SD 64Go  
autonomie : 3h30 ☺
- ⇒ coût  $\approx$  1000€



Tripode avec appareil et déclencheur automatique

- Ailes deltas : stables, simples, robustes, fiables
  - Bobine & fil gradué
  - Camera hybride  
focale fixe, stabilisateur désactivé  
déclenchement automatique
  - Pendule simple  
mini-logger GPS (analyse du vol)
  - carte SD 64Go  
autonomie : 3h30 😊
- ⇒ coût  $\approx$  1000€



Charge utile en début de vol

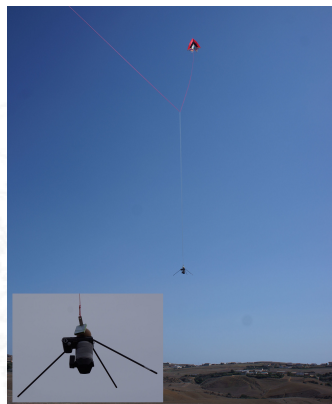
- Ailes deltas : stables, simples, robustes, fiables
  - Bobine & fil gradué
  - Camera hybride  
focale fixe, stabilisateur désactivé  
déclenchement automatique
  - Pendule simple  
mini-logger GPS (analyse du vol)
  - carte SD 64Go  
autonomie : 3h30 😊
- ⇒ coût  $\approx$  1000€



Charge utile en début de vol

- Ailes deltas : stables, simples, robustes, fiables
- Bobine & fil gradué
- Camera hybride  
focale fixe, stabilisateur désactivé  
déclenchement automatique
- Pendule simple  
mini-logger GPS (analyse du vol)
- carte SD 64Go  
autonomie : 3h30 😊

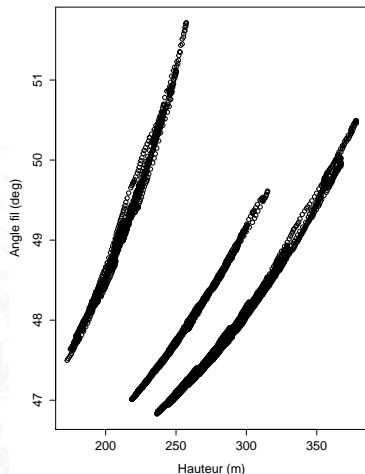
⇒ coût  $\approx$  1000€



Charge utile en début de vol



- Calibration de l'angle de fil (2 loggers GPS)
- Zone cible + résolution + fort recouvrement ⇒ paramètres de vol (altitude, intervalle de déclenchement, distance inter-trace, longueur de fil)
- “plan de vol”, impressions A4
- Réalisation : en fonction du vent (force, direction)
- *mires au sol*

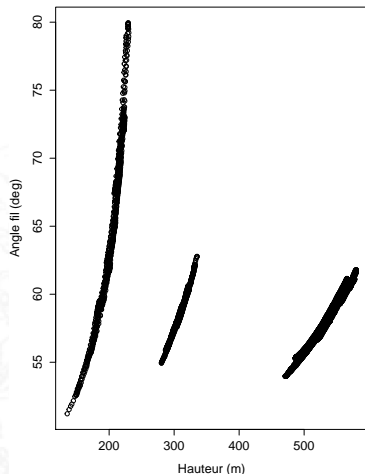


delta 4-m<sup>2</sup>



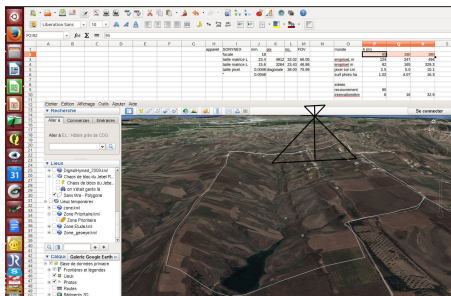


- Calibration de l'angle de fil (2 loggers GPS)
- Zone cible + résolution + fort recouvrement ⇒ paramètres de vol (altitude, intervalle de déclenchement, distance inter-trace, longueur de fil)
- "plan de vol", impressions A4
- Réalisation : en fonction du vent (force, direction)
- *mires au sol*



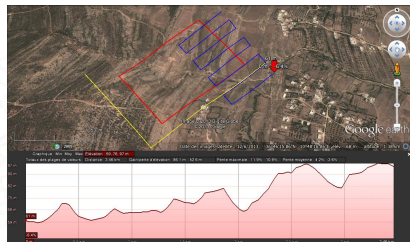
delta 10-m<sup>2</sup>

- Calibration de l'angle de fil (2 loggers GPS)
- Zone cible + résolution  
+ **fort recouvrement**  
⇒ paramètres de vol (altitude, intervalle de déclenchement, distance inter-trace, **longueur de fil**)
- "plan de vol", impressions A4
- Réalisation : en fonction du vent (force, direction)
- *mires au sol*



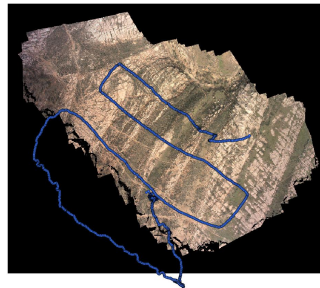


- Calibration de l'angle de fil (2 loggers GPS)
- Zone cible + résolution + **fort recouvrement** ⇒ paramètres de vol (altitude, intervalle de déclenchement, distance inter-trace, **longueur de fil**)
- “plan de vol”, impressions A4
- Réalisation : en fonction du vent (force, direction)
- *mires au sol*



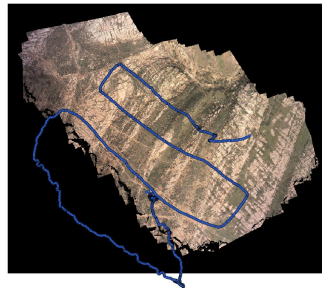
Chemin “idéal” à parcourir - vent d'Est

- Calibration de l'angle de fil (2 loggers GPS)
- Zone cible + résolution  
+ **fort recouvrement**  
⇒ paramètres de vol  
(altitude, intervalle de déclenchement, distance inter-trace, **longueur de fil**)
- "plan de vol",  
impressions A4
- Réalisation : en fonction du vent (force, direction)
- *mires au sol*



Chemin parcouru :  
vent de Sud-Ouest le jour de  
l'acquisition

- Calibration de l'angle de fil (2 loggers GPS)
- Zone cible + résolution  
+ **fort recouvrement**  
⇒ paramètres de vol  
(altitude, intervalle de déclenchement, distance inter-trace, **longueur de fil**)
- "plan de vol",  
impressions A4
- Réalisation : en fonction du vent (force, direction)
- *mires au sol*



Chemin parcouru :  
vent de Sud-Ouest le jour de  
l'acquisition

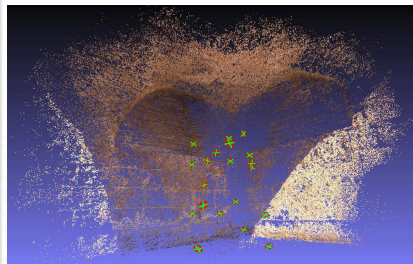
## Dès la fin du vol

- Vérification de la couverture stéréo complète
- Photos pour la calibration d'optique (conseillé)
- Photos pour la synchro GPS (optionnel)



## Dès la fin du vol

- Vérification de la couverture stéréo complète
- Photos pour la calibration d'optique (conseillé)
- Photos pour la synchro GPS (optionnel)



Exemple de scene de calibration



## Dès la fin du vol

- Vérification de la couverture stéréo complète
- Photos pour la calibration d'optique (conseillé)
- Photos pour la synchro GPS (optionnel)



Photo d'écran diffusant des trames GPS



## Traitement des données

Chaîne SfM (Structure from Motion) "classique" :

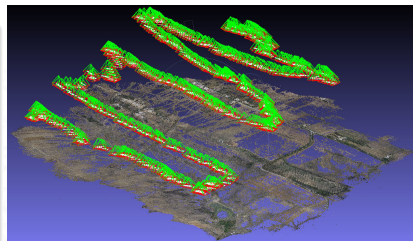
Apero/Micmac

suite photogrammetrique opensource complète  
[Pierrot-Deseilligny and Paparoditis, 2006]

<http://logiciels.ign.fr/?Micmac>


Agisoft Photoscan

...



Estimation des positions de  
cameras à partir des points SIFT

## Jeux de données test

Site	Kamech <sup>1</sup> 	Fortuna <sup>2</sup>
Vent (Beaufort)	4	3-4
Cerf-volant	10 m <sup>2</sup>	10 m <sup>2</sup>
Mires	8	24
Points de validation	469	176
Images	752 (12 Gpx)	612 (10 Gpx)
Surface couverte	318 ha	2x24 ha
Pixel sol	10cm	2.5cm et 5cm

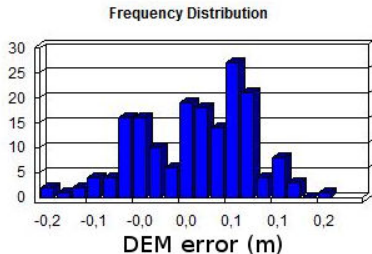
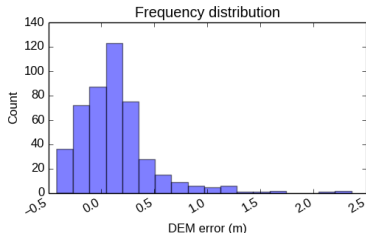
1. <http://www.obs-omere.org>, [Mekki et al., 2006, Raclot and Albergel, 2006]

2. [Maoui et al., 2012]



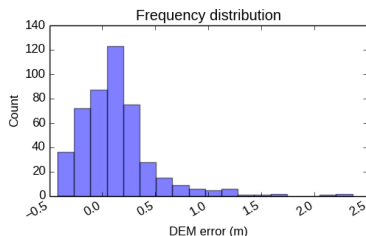
Site	Kamech	Fortuna
Pts validation	469	176
Mean Error (m)	+0.13	+0.04
SD Error (m)	0.37	0.07
Min error (m)	-0.47	-0.18
Max error (m)	2.39*	0.22
Pixel (m)	0.20	0.05

- erreur moyenne dans le pixel
- écart-type de l'erreur inférieur à 2 pixels
- très faible erreur absolue min et max

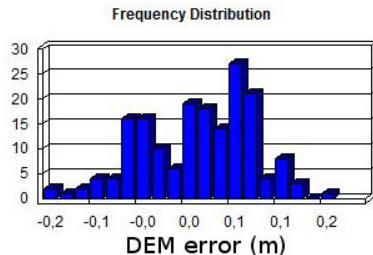




Site	Kamech	Fortuna
Pts validation	469	176
Mean Error (m)	+0.13	+0.04
SD Error (m)	0.37	0.07
Min error (m)	-0.47	-0.18
Max error (m)	2.39*	0.22
Pixel (m)	0.20	0.05

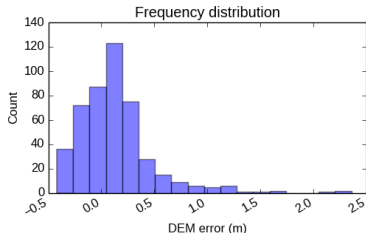


- erreur moyenne dans le pixel
- écart-type de l'erreur inférieur à 2 pixels
- très faible erreur absolue min et max

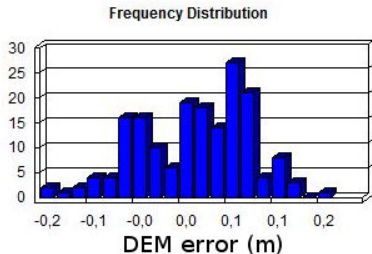




Site	Kamech	Fortuna
Pts validation	469	176
Mean Error (m)	+0.13	+0.04
SD Error (m)	0.37	0.07
Min error (m)	-0.47	-0.18
Max error (m)	2.39*	0.22
Pixel (m)	0.20	0.05



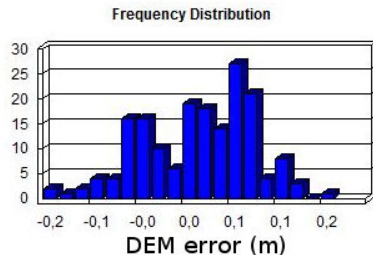
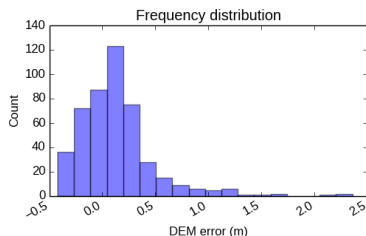
- erreur moyenne dans le pixel
- écart-type de l'erreur inférieur à 2 pixels
- très faible erreur absolue min et max





Site	Kamech	Fortuna
Pts validation	469	176
Mean Error (m)	+0.13	+0.04
SD Error (m)	0.37	0.07
Min error (m)	-0.47	-0.18
Max error (m)	2.39*	0.22
Pixel (m)	0.20	0.05

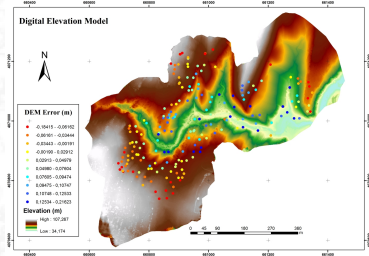
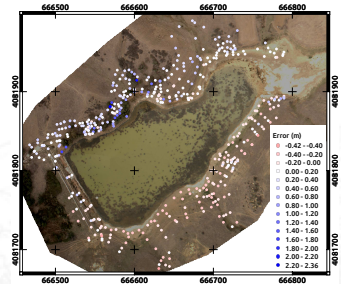
- erreur moyenne dans le pixel
- écart-type de l'erreur inférieur à 2 pixels
- très faible erreur absolue min et max





Site	Kamech	Fortuna
Pts validation	469	176
Mean Error (m)	+0.13	+0.04
SD Error (m)	0.37	0.07
Min error (m)	-0.47	-0.18
Max error (m)	2.39*	0.22
Pixel (m)	0.20	0.05

- erreur moyenne dans le pixel
- écart-type de l'erreur inférieur à 2 pixels
- très faible erreur absolue min et max

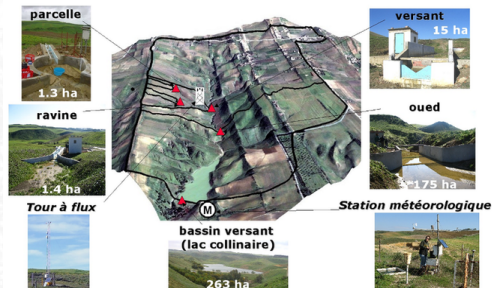


# ORE (Observatoire de Recherche en Environnement)

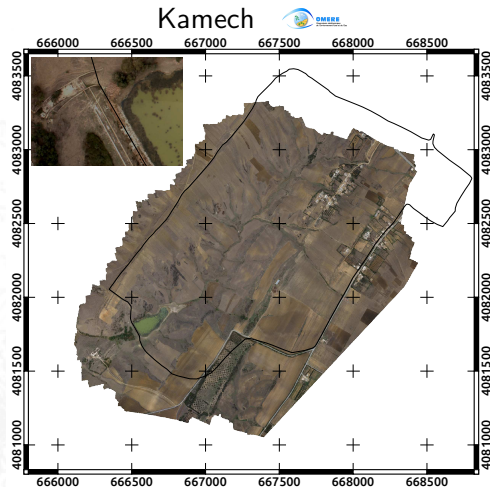


**OMERÉ**  
Observatoire Méditerranéen  
de l'Environnement Rural et de l'Eau

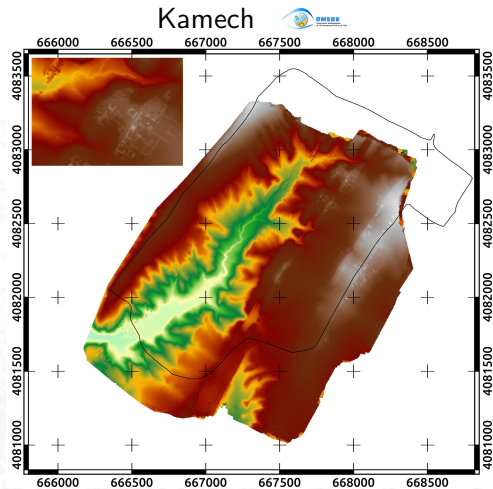
site de Kamech (Cap Bon)







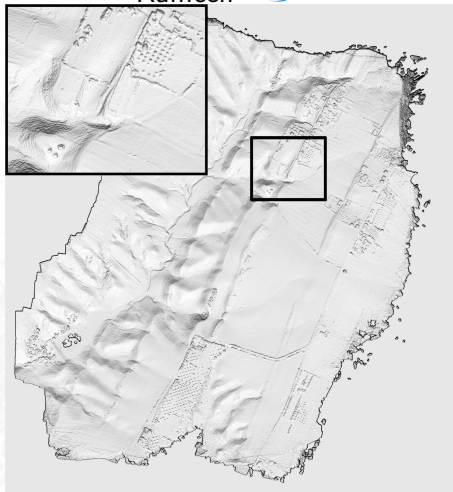
752 images : orthophoto de 318ha, pixel de 10cm  
(détail : déversoir)



MNT à 20 cm  
(détail : maisons)



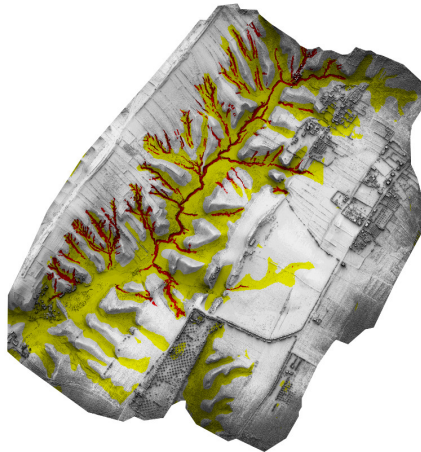
Kamech



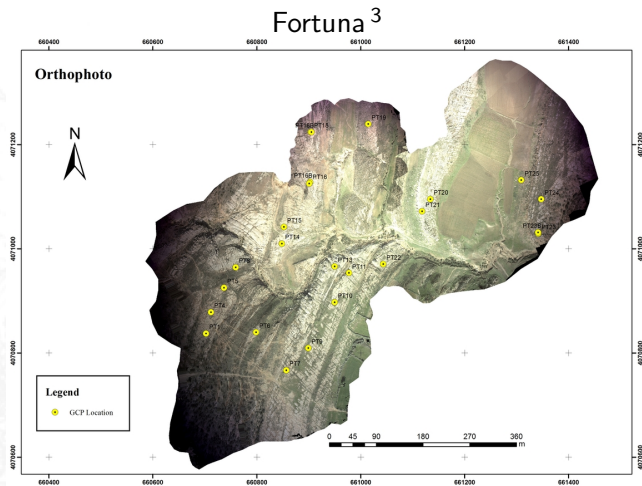
MNT en ombrage (détail : maisons & oliviers)



Kamech

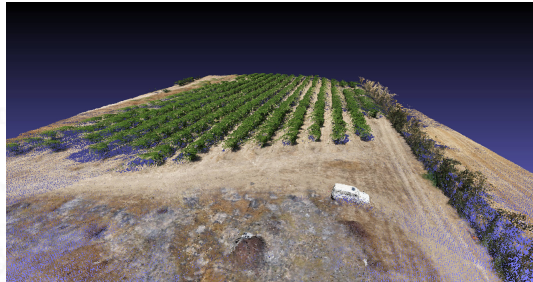


Inventaire exhaustif du ravinement



612 images : 2 orthophotos de 24ha, pixel de 5cm

3. cf. présentation El Maaoui et al. mercredi matin



Suivis agronomiques : scènes très 3D  $\Rightarrow$  visées obliques  
Appareil en rotation libre





Suivis lac de Kamech : dynamique du contour, 2D



## Suivis lac Kamech : évolution en 3D





- Choix du jour (conditions de vent) dans une semaine donnée
- Potentiel :  
3 h  $\Rightarrow$  +2000 images  
 $\Rightarrow$  plusieurs km<sup>2</sup> à 10cm de résolution
- ☺ forêts denses, canyons
- ☺ sites accessibles



couverture lac  
couverture pêcheurs  
Couvertures totales des zones cibles



- Choix du jour (conditions de vent) dans une semaine donnée
- Potentiel :  
3 h  $\Rightarrow$  +2000 images  
 $\Rightarrow$  plusieurs km<sup>2</sup> à 10cm de résolution
- ☺ forêts denses, canyons
- ☺ sites accessibles



couverture lac  
couverture pêcheurs  
Couvertures totales des zones cibles



- Choix du jour (conditions de vent) dans une semaine donnée
- Potentiel :  
3 h  $\Rightarrow$  +2000 images  
 $\Rightarrow$  plusieurs km<sup>2</sup> à 10cm de résolution
- ☹️ forêts denses, canyons
- ☹️ sites accessibles



couverture lac  
couverture pêcheurs  
Couvertures totales des zones cibles



- Choix du jour (conditions de vent) dans une semaine donnée
- Potentiel :  
3 h  $\Rightarrow$  +2000 images  
 $\Rightarrow$  plusieurs km<sup>2</sup> à 10cm de résolution
- ☹️ forêts denses, canyons
- ☹️ sites accessibles



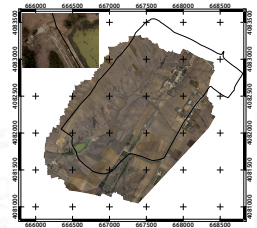
couverture lac  
couverture pêcheurs  
Couvertures totales des zones cibles

## Points clés

- UAV + kite = solution tout temps
- accessible, technologie frugale
- redondance d'images, traitement cohérent  $\Rightarrow$  qualité

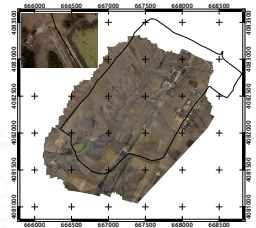
## Pours et contres

- ⊕ zones ouvertes et accessibles
- ⊖ sécurité, autonomie, surfaces couvertes



## Points clés

- UAV + kite = solution tout temps
- accessible, technologie frugale
- redondance d'images, traitement cohérent  $\Rightarrow$  qualité

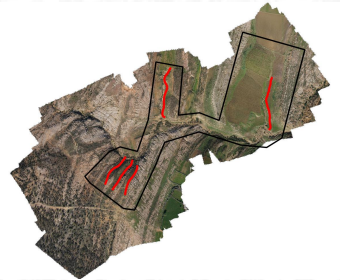
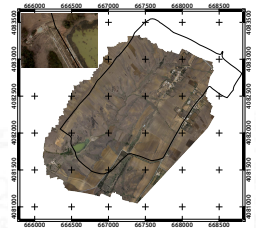


## Pours et contres

- ⊕ zones ouvertes et accessibles
- ⊖ sécurité, autonomie, surfaces couvertes

## Points clés

- UAV + kite = solution tout temps
- accessible, technologie frugale
- redondance d'images, traitement cohérent  $\Rightarrow$  qualité

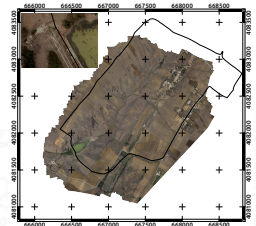


## Pours et contres

- ⊕ zones ouvertes et accessibles
- ⊖ sécurité, autonomie, surfaces couvertes

## Points clés

- UAV + kite = solution tout temps
- accessible, technologie frugale
- redondance d'images, traitement cohérent  $\Rightarrow$  qualité



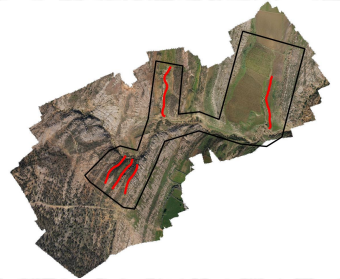
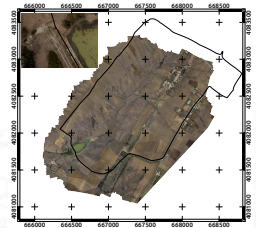
## Pours et contres

- ⊕ zones ouvertes et accessibles
- ⊖ sécurité, autonomie, surfaces couvertes



## Points clés

- UAV + kite = solution tout temps
- accessible, technologie frugale
- redondance d'images, traitement cohérent  $\Rightarrow$  qualité



## Pours et contres

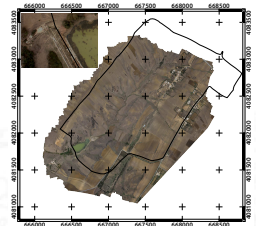
- ☹ zones ouvertes et accessibles
- ☺ sécurité, autonomie, surfaces couvertes

## Points clés

- UAV + kite = solution tout temps
- accessible, technologie frugale
- redondance d'images, traitement cohérent  $\Rightarrow$  qualité

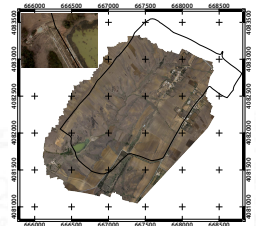
## Pours et contres

- ☹ zones ouvertes et accessibles
- ☺ sécurité, autonomie, surfaces couvertes



## Points clés

- UAV + kite = solution tout temps
- accessible, technologie frugale
- redondance d'images, traitement cohérent  $\Rightarrow$  qualité



## Pours et contres

- ☹ zones ouvertes et accessibles
- ☺ sécurité, autonomie, surfaces couvertes





# Merci !

denis.feurer@ird.fr



Maaoui, M. A. E., Felfoul, M. S., Boussema, M. R., and Snane, M. H. (2012).

Sediment yield from irregularly shaped gullies located on the fortuna lithologic formation in semi-arid area of tunisia.

[CATENA](#), 93 :97 – 104.



Mekki, I., Albergel, J., Ben Mechlia, N., and Voltz, M. (2006).

Assessment of overland flow variation and blue water production in a farmed semi-arid water harvesting catchment.

[Physics and Chemistry of the Earth, Parts A/B/C](#), 31(17) :1048 – 1061.



Pierrot-Deseilligny, M. and Paparoditis, N. (2006).

A multiresolution and optimization-based image matching approach : An application to surface reconstruction from spot5-hrs stereo imagery.

In [IAPRS vol XXXVI-1/W41, ISPRS Workshop On Topographic Mapping From Space \(With Special Emphasis on Small Satellites\)](#), Ankara, Turkey.



Raclot, D. and Albergel, J. (2006).

Runoff and water erosion modelling using WEPP on a Mediterranean cultivated catchment.

[Physics and Chemistry of the Earth](#), 31 :1038–1047.