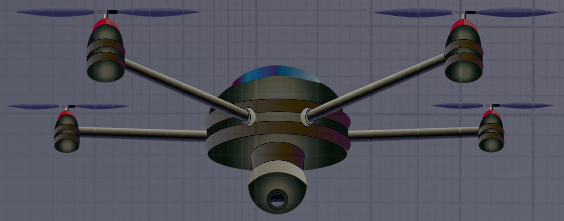
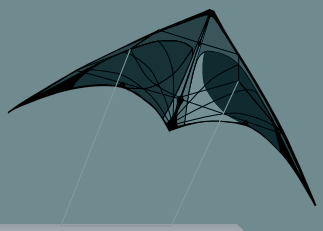


FICHE OUTILS

Juillet 2015

# L'utilisation de vecteurs légers aéroportés et de drones pour la modélisation 3D des zones humides



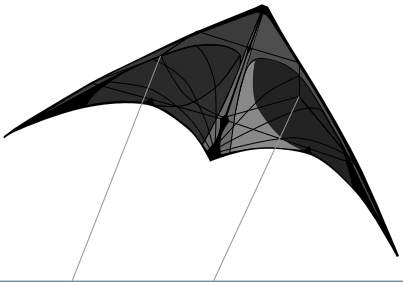
Conservatoires d'espaces naturels
La Fédération

Pôle-relais
Zones Humides

Pôle-Relais Tourbières

## Sommaire

- La démarche p.3
- Le protocole d'acquisition p.4
- Présentation des différents types de vecteurs p.5
- Exemples de nacelles de fixation des capteurs p.7
- Et les drones ? p.8
- Repères sur les coûts d'utilisation des drones p.9
- Préparation du terrain pour le levé aéroporté p.10
- Choix du capteur photo p.10
- Analyses et traitements p.12
- Production de données géoréférencées exploitables dans les SIG ou les outils de DAO p.15
- Limites et perspectives p.15
- Remerciements p.16



La photo aérienne par cerf-volant a été le point de départ du développement et de la recherche engagée sur les milieux humides. Cette technique est loin d'être nouvelle. C'est en 1888 dans le Tarn que le photographe Arthur Batut obtient sa première photo aérienne en embarquant une chambre noire sur un cerf-volant. Ce sera pendant la première guerre mondiale que la photographie aérienne par cerf-volant prendra son essor pour répondre à des besoins militaires.

Le cerf-volant, tout comme les drones ou d'autres vecteurs aéroportés, permet en général d'avoir des clichés beaucoup plus proches que ceux réalisés avec un hélicoptère ou un avion. D'ailleurs, certains archéologues les utilisent afin d'avoir une vue d'ensemble d'un site archéologique sans faire appel à un hélicoptère, dont le coût est parfois trop important pour une association ou un organisme de recherche.

Plus récemment, la démocratisation de l'utilisation des drones offre un nouvel outil pour la réalisation de photos aériennes, qui peuvent être utilisées à différentes fins dans l'étude et le suivi des milieux naturels.

L'objectif principal de ce document est de présenter les techniques accessibles aux gestionnaires de milieux naturels, ainsi que le matériel à utiliser en fonction des contraintes environnementales et du résultat attendu.

Il constitue un complément de la fiche sur l'utilisation des images LiDAR[1], qui illustre les possibilités de traitement des modèles numériques de terrain pour la restauration des zones humides.

## - La démarche

La démarche d'acquisition de données aéroportées à haute résolution sur les zones humides a été développée dans le cadre d'une thèse de troisième cycle universitaire portant entre autres sur la modélisation de surfaces des zones humides.

L'utilisation de différents vecteurs : cerf-volant, ballon à l'hélium, ballon solaire, perche, permet de s'adapter aux différentes typologies de surfaces à couvrir et aux conditions météorologiques et topographiques locales.

En fonction de la surface à couvrir et de la résolution des données géographiques souhaitées, il est nécessaire d'adapter le vecteur et le capteur.

## Quel est le protocole à suivre pour réaliser une campagne de prise de vue aérienne?

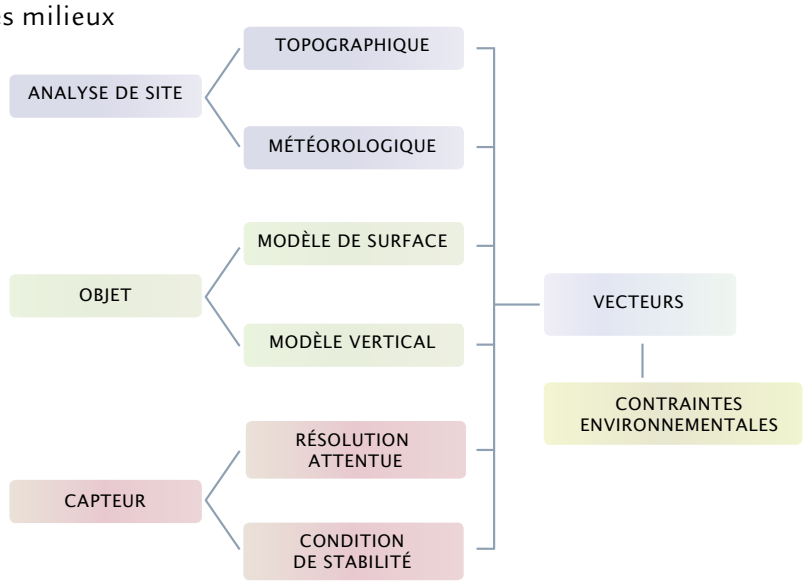



*Figure 1 - Paramètres à prendre en compte pour la réalisation d'une campagne de prise de vues aériennes (© CURT G. )*

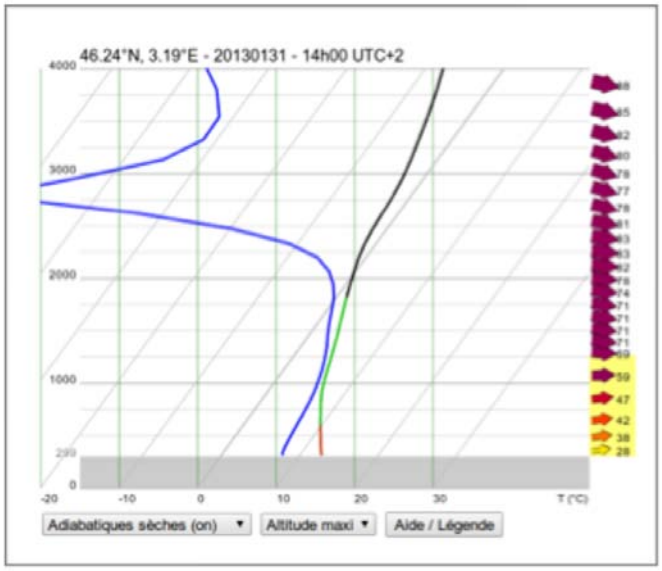
[1] www.pole-tourbieres.org / rubrique Documentation / Les fiches retours d'expériences et outils.

## Le protocole d'acquisition

La première étape sera d'analyser la configuration du site à couvrir du point de vue topographique et météorologique.

L'analyse du site selon l'axe topographique permet d'identifier les obstacles qui pourraient gêner l'opérateur durant son acquisition (arbre, rupture de pente, lignes électriques, téléphoniques, ...) afin d'intervenir par la suite en toute sécurité. De plus cette première phase permettra de comprendre l'aérologie locale du site (effet venturi, effet de rouleaux,...) et d'identifier la zone propice pour le décollage des vecteurs.

L'expertise du site est complétée par une analyse météorologique fine afin de comprendre l'aérologie locale et de planifier au mieux la campagne d'intervention.
Dans un premier temps il convient de croiser différentes sources de données météorologiques : www.meteofrance.com, www.meteociel.fr, www.meteoblue.com, www.meteo-parapente.com. Ce premier croisement de sources de données météorologiques permettra de se faire une idée des tendances globales pour intervenir. Ensuite pour planifier plus finement la date d'intervention et le choix du vecteur, il est possible de récupérer les émagrammes[2] : https://donneespubliques.meteofrance.fr/?fond=produit&id_produit=97&id_rubrique=33, http://meteo-parapente.com, http://ready.arl.noaa.gov/READYcmet.php, ils sont également disponibles sur le site de meteociel ou de météo parapente.




L'émagramme permet de connaître la vitesse de vent et la stabilité de l'air à différentes altitudes, ainsi en fonction de l'altitude de vol à laquelle on interviendra en fonction de la résolution surfacique attendue, on saura dans quelle typologie de vol on interviendra, et donc quel sera le vecteur idéal pour l'intervention.

Une fois l'analyse de site effectuée, on peut commencer à sélectionner les différents vecteurs que l'on envisagera de prendre pour embarquer le capteur photographique.

[2] L'émagramme est l'un des quatre diagrammes thermodynamiques utilisés pour analyser la structure thermique de l'atmosphère. Il est utilisé pour pointer la température et le point de rosée provenant d'un sondage aérologique par radiosondes, d'un avion ou extrapolés par satellite. Les axes de l'émagramme sont ceux de température (T) et du logarithme de la pression (P) dans un repère semi-logarithmique. Ces axes sont perpendiculaires dans le diagramme original mais la version la plus courante est celle dont l'axe des températures est à 45 degrés vers la droite, cette dernière est appelée SkewT aux États-Unis et émagramme 761 en France1,2.
L'émagramme a été développé en 1884 par Heinrich Hertz. Dans sa forme originale, il est surtout utilisé en Europe. En pointant la température et le point de rosée sur l'émagramme, on peut calculer la stabilité de l'air et l'Énergie potentielle de convection disponible (EPCD), connue comme CAPE en anglais. Les vents aux différents niveaux de pression sont souvent ajoutés dans la marge sous forme de barbules.

## Présentation des différents types de vecteurs

*Helikite :* ballon hélium couplé à un cerf-volant. Il permet d'intervenir seul sur le terrain, contrairement à un ballon à l'hélium classique car sa queue triangulaire lui permet de s'orienter dans le vent. Il permet d'intervenir entre 0 et 20km/h de vent.

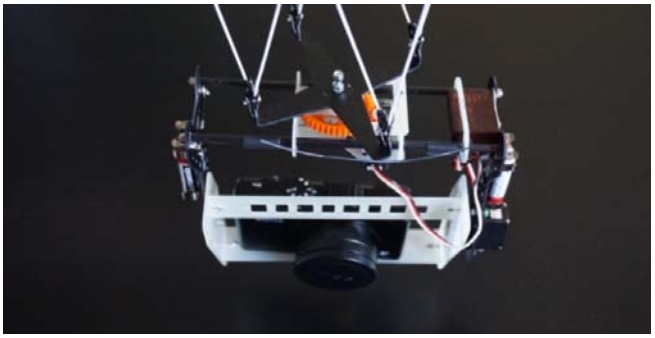
*Fowfrom :* cerf-volant à structure souple type aile à caisson. Il permet d'intervenir dans un contexte de vent couplé à des thermiques (vols en montagne). Plage de vent idéale 15 à 50km/h. Excellent porteur, lui ajouter des traines (tubulaires) pour une meilleure stabilité. Il a l'avantage d'être très compact puisqu'il n'a pas de carbone et tient dans un sac à dos.

*Lifter :* cerf-volant à structure souple type aile à caisson. Il permet d'intervenir dans un contexte de vent couplé à des thermiques (vols en montagne). Plage de vent idéale 1 à 15km/h. Excellent porteur. Il a l'avantage d'être très compact puisqu'il n'a pas de carbone et tient dans un sac à dos.

*Delta :* la référence pour débuter la photo aérienne par cerf-volant, de par sa grande stabilité et son vol quasi zénithal. Excellent porteur, très stable, il est à structure rigide (carbone). Plage de vent idéale 1 à 30 km/h. Privilégier les vols par vents laminaires.

*Ballon solaire :* il applique le principe de la montgolfière, différence de température entre l'extérieur de l'enveloppe et l'intérieur. Construit à partir de tissu de sac poubelle thermosoudé, il permet d'intervenir les jours ensoleillés mais froids, sans vent. Charge utile de 4kg.

## Exemples de nacelles de fixation des capteurs



*Nacelle orientable pour cerf-volant :* Système de stabilisation Picavet. Orientation à 360° en horizontale et 90° en verticale (vue oblique et zénithale). Pilotage radiocommandé, retour vidéo pour le Ricoh GR, déclenchement à distance.

*Nacelle autokap pour cerf-volant :* Système de stabilisation Picavet. Orientation à 360° en horizontale et 90° en verticale (vue oblique et zénithale). Rotation continue à 360° en 5s, rotation à 30° toutes les 5s.

---

En termes de coûts, le prix de revient d'un levé aéroporté par moyens légers peut être très intéressant. Il est en grande partie tributaire du prix des capteurs (cf. tableau comparatif capteurs).

Néanmoins, il faut compter de 50€ à 200€ pour les cerfs-volants, suivant le modèle choisi. En ce qui concerne ce retour d'expérience, l'essentiel des cerfs-volants ont été construits à partir de tissu d'ailes de parapente de récupération. Les nacelles, suivant l'électronique embarquée, peuvent aller de 0€ à 600€ (commande à distance, retour vidéo,...).

La perche photographique peut être construite à partir de sections alu, carbone, de canne à pêche de gros, de perche d'élagage, ou peut être achetée toute faite (http://www.agnos.com/prodotti.htm?v_lingua=ENG&v_categ_lista=P0000-P0016&v_cod_art_scheda=BUNDLE65)
Enfin l'Helikite peut être trouvé sur internet (http://www.kapshop.com/Lifters-HeliKites-Helikite-Skyshot/c75_20_105/p218/Helikite-Skyshot-1.0/product_info.html) ; il faut compter entre 30€ et 50€ d'hélium pour un gonflage. Il permet d'intervenir pendant une dizaine de jours sur site.

## Et les drones ?

Ils peuvent aussi être utilisés pour l'acquisition de photos aériennes. Le Conservatoire d'espaces naturels de Haute-Savoie (ASTERS) a testé deux types d'appareils. ( Tableau 1 )

| | |
|---|---|
| | *Appareil :* Drone multicopter<br>*Règlementation :* S1<br>*Méthode de réalisation :*<br>- Décollage à l'horizontale même depuis surface réduite.<br>- Quadras de 150 m sur 200 m : surface couverte par vol : +/- 3 ha.<br>- Prises de vues verticales à 40 - 60m au-dessus du sol.<br>- Définition des images : de l'ordre de 2,5 cm/pixel (selon appareil photo embarqué et hauteur de vol). |
| | *Appareil :* Drone type aile volante : EBEE (https://www.sensefly.com/drones/ebee.html)<br>*Règlementation :* S2+<br>*Méthode de réalisation :*<br>- Besoin d'une aire de décollage d'environ 30 m sur 100 m.<br>- Recouvrement de 80 ha en 1 vol en volant à 50 m du sol.<br>- Définition des images jusqu'à 1,5 cm/pixel selon hauteur de vol.<br>- Option « indice de végétation NDVI » sur un second vol en changeant le capteur. |

*Tableau 1 - comparaison de deux types de drones et de leurs caractéristiques (© CEN Haute-Savoie/ASTERS)*

Contrairement aux vecteurs légers de type cerf-volant présentés plus haut, l'utilisation des drones est soumise à réglementation :

En effet, l'utilisation d'un drone par un professionnel est encadrée par la Direction Générale de l'Aviation Civile en application de la loi du 11 avril 2012 relative à la conception et à l'utilisation d'un aéronef civil sans aucune personne à bord.

Pour avoir l'autorisation de voler, il faut remplir plusieurs critères :

- Avoir un appareil conforme aux directives techniques de la DGAC.
- Être titulaire d'une licence de pilote d'avion, d'ULM ou de planeur (théorique uniquement)
- Avoir suivi une formation au télé-pilotage auprès d'un organisme agréée par la DGAC.
- Le dépôt et la mise à jour d'un manuel d'activité particulière (MAP) auprès de la DSAC.
- Remplir et déposer les formulaires administratifs auprès de la préfecture (Scénario S3).

Les textes prévoient la classification des vols selon 4 scénarii :

| S1 | S2 | S3 | S4 |
|---|---|---|---|
| Vol à vue se déroulant hors zone peuplée. Distance horizontale inférieure à 100 m. Hauteur inférieure à 150m. | Vol hors vue et hors zone peuplée. Rayon maxi de 1 km Hauteur inférieure à 50 m | Vol en agglomération ou à proximité de personnes ou d'animaux, en vue directe du télé pilote. Distance horizontale inférieure à 100 m. Hauteur inférieure à 150 m. | Activités ne relevant pas du scénario 2 |

Selon le scénario, le drone doit être équipé de matériel de sécurité spécifique (limitateur d'altitude, parachute). L'emport d'une caméra ou d'un appareil photo sur le drone est donc possible et légal selon le respect des scénarii ci-dessus. Par ailleurs, une demande d'autorisation de survol est nécessaire en espace protégé.

## Repères sur les coûts d'utilisation des drones

| Drone utilisé | Précision image | Temps nécessaires | Montant du devis |
|---|---|---|---|
| Drone multicopter | 2,5 cm/pixel | 30 vols entre 40 et 60 m de haut (reconnaissance terrain + 4 à 5 demi- journées de prise de vue) | 5020 € TTC Vudlao |
| Drone multicopter | 2 cm/pixel | 18 vols (reconnaissance terrain +2 jours de prise de vue) | 3344 € TTC Ecoceano |
| EBEE | 1,5cm/pixel | 1 vol Si capteur NDVI | 1620 € + 810 € TTC Drone Capture System |

Les montants présentés dans le tableau ci-contre correspondent à une campagne de photographie aérienne pour le suivi d'un site d'environ 54 ha (RNN du Delta de la Dranse)

## Préparation du terrain pour le levé aéroporté

Une fois sur site, il convient de mailler le terrain en identifiant les points remarquables (points hauts, points bas, rupture de pente, éléments particuliers, hydrographie, piézométrie,...) qui seront relevés par des techniques de topographie classiques (GPS, tachéomètre,...) et qui serviront de référence pour géoréférencer le modèle 3D et obtenir des métriques justes. Ce maillage passera par un positionnement de cibles remarquables qui seront identifiables sur les images (attention : choisir la taille de la cible en fonction de la résolution en pixels attendue du terrain). Elles peuvent être de simples assiettes de camping ou des mires topographiques.
A titre d'exemple, pour un relevé d'environ 40 ha, une trentaine de points sont nécessaires pour un bon géoréférencement.

Même pour les utilisateurs de drones, le géoréférencement à l'aide de repères au sol peut être nécessaire, les GPS embarqués ne sont pas toujours suffisamment précis.

## Choix du capteur photo

Une fois ce travail topographique effectué, il convient de s'intéresser au capteur. En effet, en fonction de la précision du relevé photogrammétrique souhaitée, du vecteur qui embarquera le capteur, et de la hauteur de vol, découlera le choix de l'appareil photographique optimal. Cela peut aller du simple smartphone, en passant par les caméras de sport (type GoPro), les compacts experts ou les reflex. Néanmoins il est préférable de sélectionner un capteur dont la focale est proche de 50mm (en plein format), assez léger et avec une bonne autonomie. Ce pré-requis est indispensable pour obtenir des métriques justes et aucune distorsion dans le modèle 3D.

Lorsque le choix du capteur est fait, il convient de le calibrer pour en connaître les paramètres de distorsion[3] et les intégrer en données d'entrée avant la modélisation photogrammétrique.

Une fois ce travail préparatoire accompli, le levé aéroporté peut être effectué. On embarque le capteur sur le vecteur choisi en fonction de l'analyse de site et on couvre la surface souhaitée en se déplaçant progressivement en pilotant l'aéronef.

Il faut privilégier la période du zénith solaire pour opérer, car il y aura moins d'ombres portées sur le modèle final. L'idéal restant également de travailler un jour de soleil voilé pour ne pas être dérangé dans le traitement photogrammétrique par les ombres.

## Choix du capteur optimal pour obtenir la résolution attendue

Le choix du capteur à embarquer est déterminé par plusieurs facteurs. De manière générale il est important de noter que pour un rendu photogrammétrique de qualité, il faut privilégier les appareils photo ayant une focale proche de 50mm (en plein format). La focale de 50mm est la plus proche de la vision humaine et elle est à privilégier si on ne connaît pas les paramètres de distorsion du couple capteur/optique. Si on est capable de corriger cette distorsion et de calibrer son capteur, tout capteur peut permettre un rendu de qualité.

À noter : les logiciels de photogrammétrie gèrent désormais certains profils particuliers de capteurs allant des ultra-grands angles (fisheye) jusqu'aux optiques de 75mm. En photogrammétrie il faut bannir le zoom, travailler en focale fixe et maîtriser l'ensemble des réglages du capteur manuellement.

[3] Les paramètres de distorsion sont généralement disponibles dans la notice du matériel ou auprès du fabricant. Ils peuvent également être trouvés en ligne (par exemple : http://www.dpreview.com/) ou par l'intermédiaire de logiciels (Lightroom par exemple).

Les caractéristiques propres à chaque capteur détermineront la précision du modèle final en fonction de la hauteur de prise de vue. Enfin, certaines fonctions « modernes » des derniers appareils photo peuvent avoir une utilité pratique dans certains cas de figures : retour vidéo, contrôle de l'appareil photo à distance, Wifi, GPS,... Un tableau récapitulatif de différents capteurs utilisés, avec leurs caractéristiques, est disponible ci-dessous. En ce qui concerne les drones équipés d'origine d'un capteur photo ou d'une caméra, c'est la hauteur de vol qui permettra de déterminer la résolution attendue.

Exemple de calcul de hauteur de vol pour une précision de 5mm :

- capteur APSC 16*24
- 18mm
- 4800 pixels
- taille pixel 24/4800 = 5 microns

18mm/0,005 = 3600 pixels

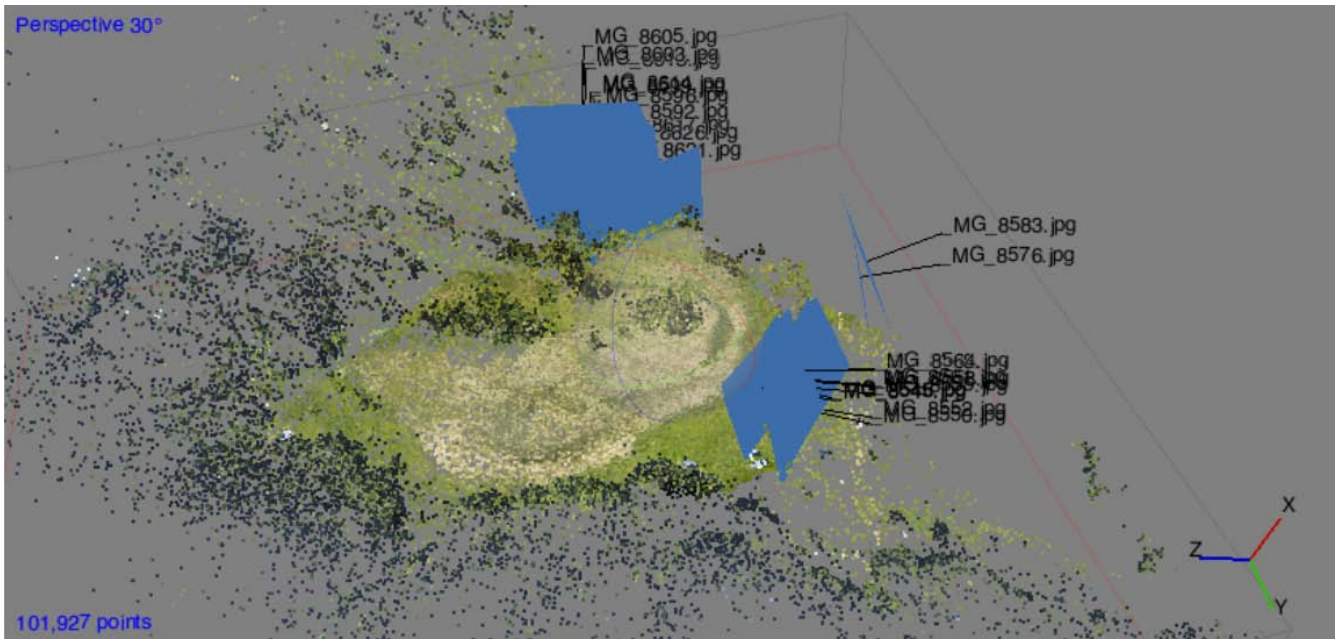
1pixel/distance principale = résolution/distance
distance = résolution*distance principale
D = 0,005*3600
D = 18m pour une précision de 5mm

| Capteur | Focale | Vecteur | Poids | Domaine photogrammétrique | Stabilisation | Fonctions annexes | Précision des modèles | Prix | Matrice | Nacelle | Intervallomètre |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **Sigma DP2X** | 50mm | Cerf-volant, ballon | 294g | PA* | Non | Néant | cm | Plus vendu | Foveon | Kap robitisée | Oui |
| **Sigma DP2 Merrill** | 50mm | Cerf-volant, ballon | 365g | PA* | Non | Néant | mm | 379€ | Foveon | Kap robitisée | Oui |
| **Sigma DP3 Merrill** | 75mm | Trépied | 460g | PT** | Non | Néant | mm | 399€ | Foveon | Trépied | Oui |
| **Ricoh GR** | 28mm | Cerf-volant, ballon, drone | 245g | PA* | Oui | Néant | cm | 529€ | Bayer sans fil passe bas | Kap robotisé | Oui |
| **Sony RX100** | 28-100mm | Drone | 290g | PA* | Oui | Retour vidéo et contrôle à distance | cm | 389€ | Bayer | Drone | Oui |
| **GoPro Hero 4 Black** | Fisheye | Cerf-volant, ballon, drone | 575g | PA* | Oui | Retour vidéo et contrôle à distance | cm | 469€ | Bayer | Kap robotisée, Autokap | Oui |
| **Sony Alpha 6000 + 19mm Sigma** | 19mm | Drone, trépied | 285g + optique | PT** | Mécanique | Retour vidéo et contrôle à distance | mm | 700€ | Bayer | Drone | Oui*** |
| **Sony Alpha 6000 + pancake 16-50 Sony** | 15mm-50mm | Drone, perche | 285g + optique | PA* et PT** | Optique | Retour vidéo et contrôle à distance | mm | 669€ | Bayer | Drone | Oui*** |

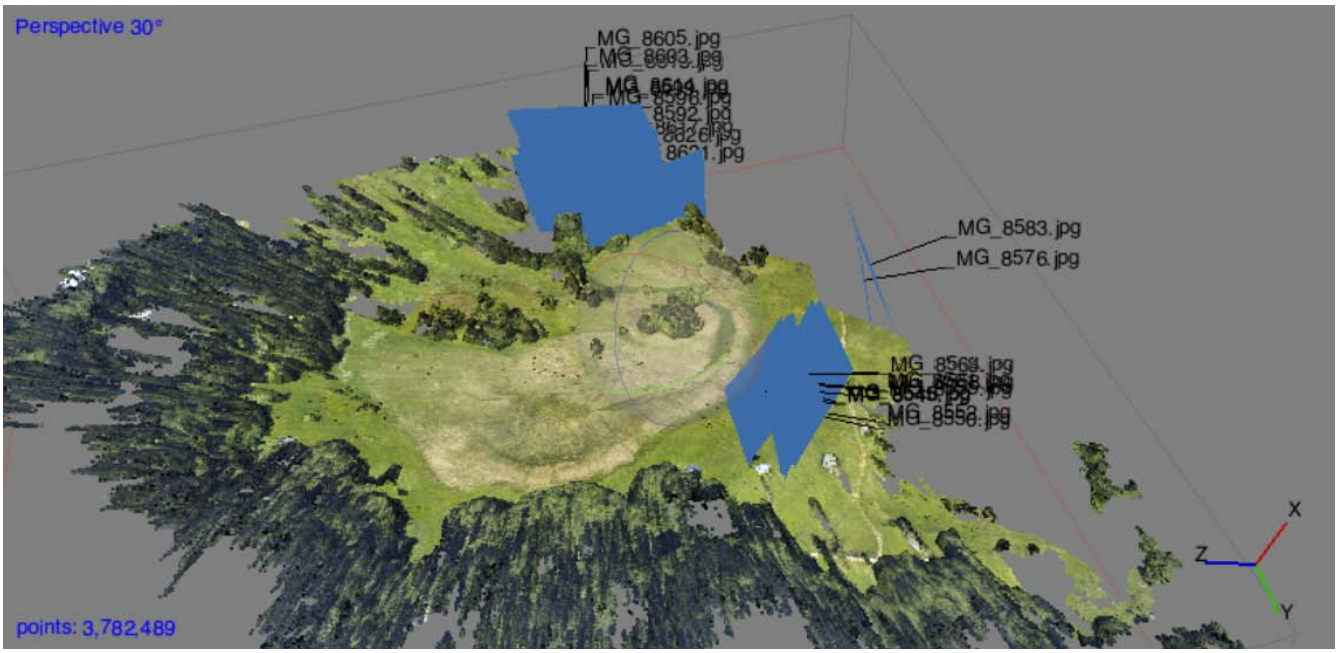
* PA : photogrammétrie aérienne
** PT : photogrammétrie terrestre
*** : nécessite une application

## Analyses et traitements

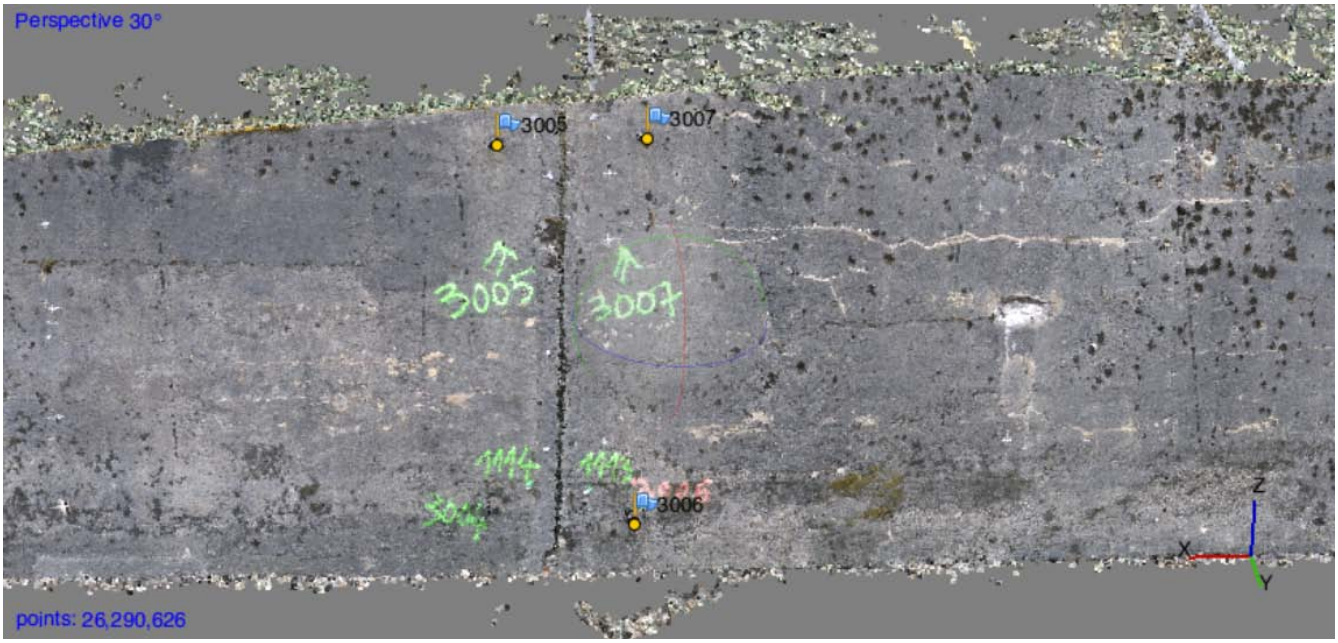
Une fois les clichés réalisés en respectant les pré-requis nécessaires pour la modélisation 3D, il est désormais possible de passer à l'étape de reconstruction photogrammétrique. Cette dernière s'effectue en plusieurs étapes



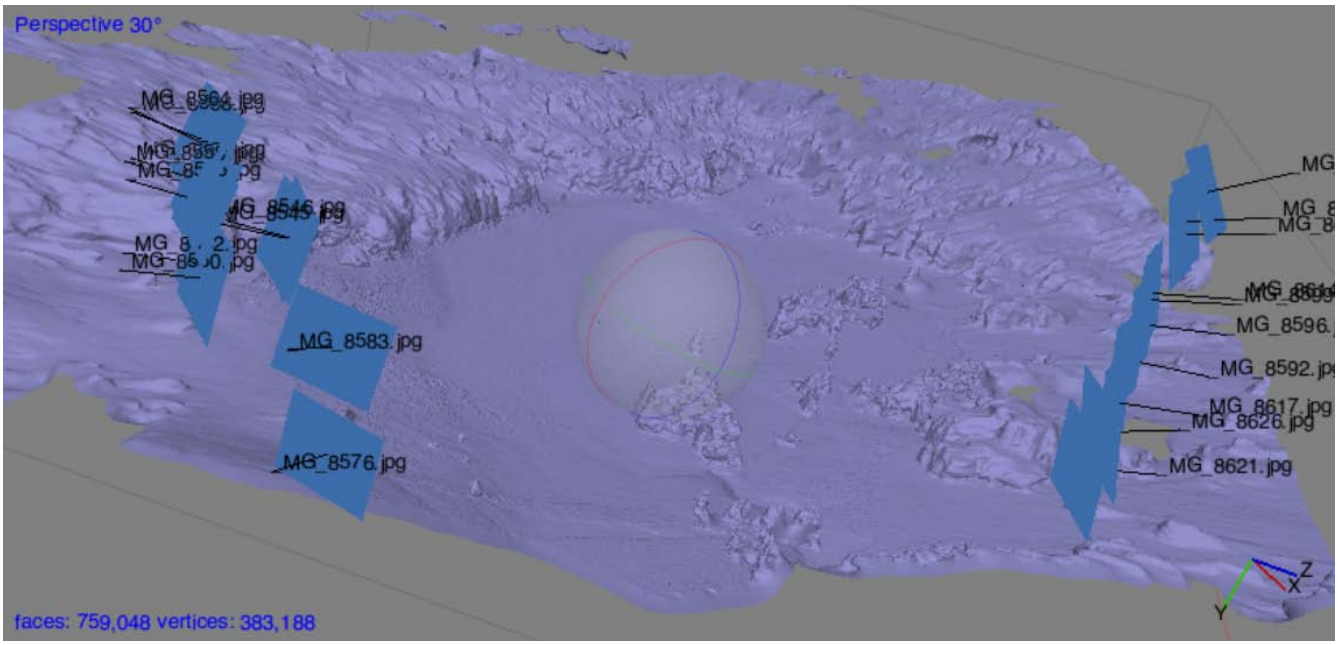

Calcul de l'aérotriangulation, positionnement des prises de vues dans l'espace, calcul du taux de corrélation entre les images.



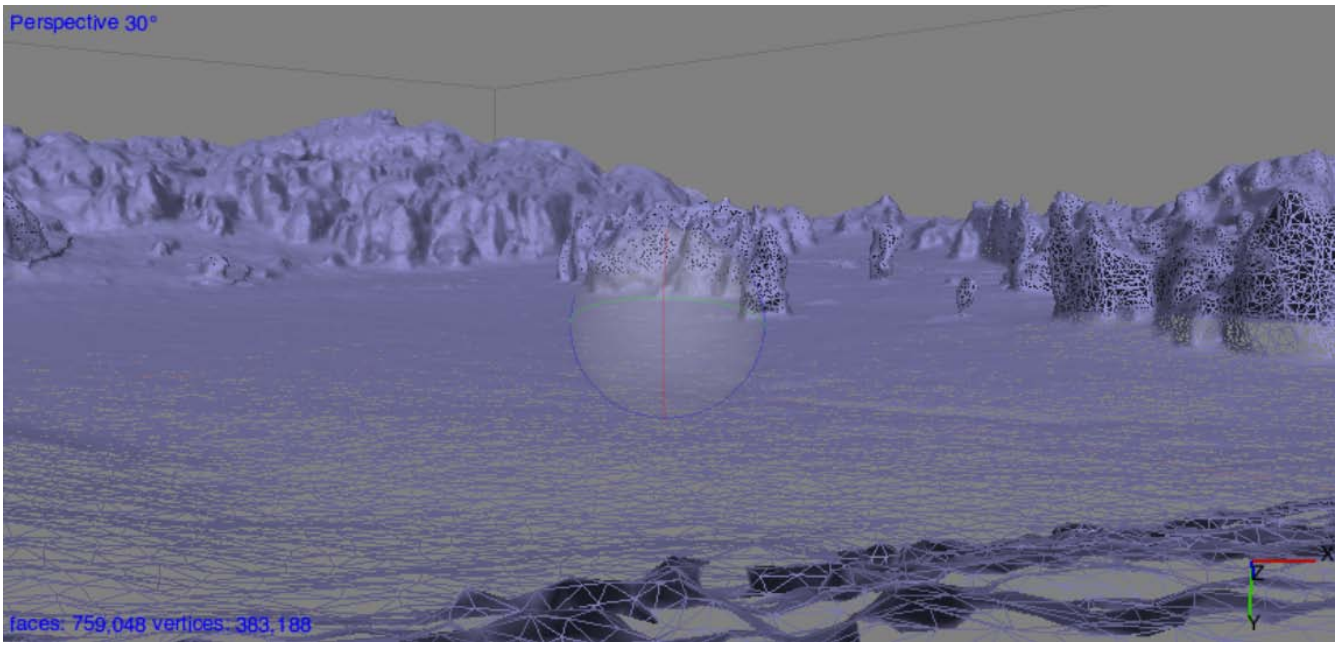

Construction d'un nuage de points dense, rendu de type nuage de points colorés (x, y, z) similaire à un Lidar.




Géoréférencement des cibles sur les images mesurées par techniques topographiques classiques sur le terrain.




Construction de la surface maillée ( Modèle Numérique de Surface ) exploitable sous SIG.



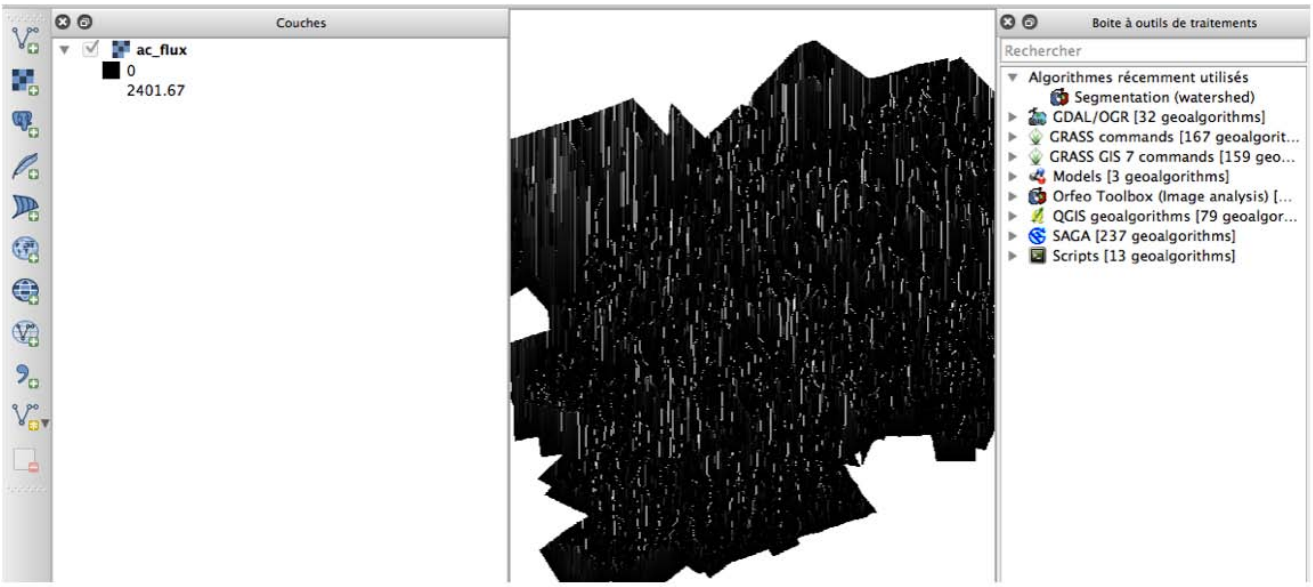

Modèle surfacique en polylignes 3D exploitable sous Autocad.

Construction de l'orthophoto géoréférencée exploitable sous SIG ou logiciel de télédétection suivant le capteur utilisé.

Une fois tous ces calculs réalisés, on obtient une surface géoréférencée 3D comprenant un MNS et une orthophoto. Ces données peuvent ensuite être utilisées pour réaliser des calculs SIG ou dans les logiciels de DAO type Autocad.

## Production de données géoréférencées exploitables dans les SIG ou les outils de DAO

Une fois le processus de modélisation 3D photogrammétrique effectué, on dispose désormais de données géoréférencées que l'on peut exploiter pour différents calculs surfaciques dans les SIG.




Calcule de cheminements de ruissellement surfaciques sur la tourbière de Gourgon ( Monts du Forez )

## Limites et perspectives

La photographie aérienne par cerf-volant (KAP : Kite Aerial Photography pour les initiés) a l'avantage de pouvoir être pratiquée sur différentes typologies de site. Elle s'affranchit pour l'instant de toute forme de réglementation aérienne, si ce n'est le respect d'une hauteur de vol de 150m maximum dans les zones habitées. L'avantage de ces vecteurs légers est qu'ils tiennent dans un sac à dos et ne nécessitent pas d'énergie autre que le vent pour fonctionner.

Par ailleurs, l'utilisation de ce type de vecteurs n'engendre pas ou peu de perturbations ou nuisances sur le milieu naturel dans lequel on opère.

En termes « d'image », la photographie aérienne par cerf-volant ne manquera pas de faire parler les passants et reçoit généralement un bon accueil, contrairement au drone qui est souvent vu comme intrusif par les populations.

L'Helikite, lui, permet même d'intervenir en milieu urbain. Sa grande stabilité, due à sa construction, en fait un formidable compagnon pour les zones contraintes ou les jours sans vent.

Enfin, la perche photographique peut être un excellent vecteur pour des petits terrains. Facile à manier, rapidité d'intervention et haute résolution des données à la clé!

Ces vecteurs aéroportés ne se positionnent pas en concurrence des drones. Ce sont des outils complémentaires qui peuvent permettre d'intervenir dans des configurations complexes. De plus c'est une manière très économique et rapide pour réaliser des prises de vues aériennes à basse altitude sans brevet officiel ni réglementation contraignante, moyennant un petit entrainement au pilotage des cerfs-volants monofils!

## - Remerciements

- À Gaëtan CURT

Antenne Rhône Alpes de Smart Aerial Machines
gaetan.curt@smart-aerial-machines.com

Tél: 07 81 52 85 99

http://topokap.free.fr

- À Carole BIRCK

CEN Haute-Savoie (ASTERS)
PAE de Pré-Mairy

84 route du Viéran
74370 PRINGY
Carole.birck@asters.asso.fr

Tél : 04 50 66 47 51

Document réalisé avec le soutien financier
de la DREAL Franche-Comté
et du Conseil régional de Franche-Comté.



Création graphique : Bleu de Mars - Besançon - Juillet 2015 -