

Apport de la technologie LiDAR hélicoptéré de précision pour la mesure de subsidence

PFE présenté par : **Lucas Gigodot**
Société d'accueil : **FUGRO GEOID SAS**
Directeurs de PFE : **M.Claude MICHEL, M.Sylvain LACOMBE**
Correcteurs(trices) : **Mme Tania LANDES, M. Gilbert FERHAT**



1. Présentation du projet et de ses objectifs

De par le monde, les phénomènes de subsidence sont depuis toujours nombreux et variés, ils sont aujourd'hui facilement détectables, mais restent tout de même difficilement quantifiables de manière précise dans le temps. En effet, afin d'assurer un suivi permanent de zones de subsidence potentiellement dangereuses pour les populations, la parfaite connaissance des processus causant des mouvements de la croûte terrestre et la mesure de leurs conséquences en surface est essentielle.

Dans l'optique de répondre à cette demande croissante, notamment de la part des compagnies d'extraction d'hydrocarbures, la société FUGRO GEOID a lancé un projet de Recherche et Développement sur un site avéré de subsidence, afin d'évaluer l'apport de différentes techniques de mesure précise, pour le suivi du phénomène.

Lors d'une première étude (KAUTZMANN [2009]), il a été établi que trois techniques de mesures disponibles chez FUGRO GEOID pouvaient être adaptées au suivi de la subsidence :

- l'InSAR étudié l'année dernière (CUBRY [2010]).
- le GPS de précision
- le LiDAR topographique hélicoptéré de précision, objet de la présente étude.

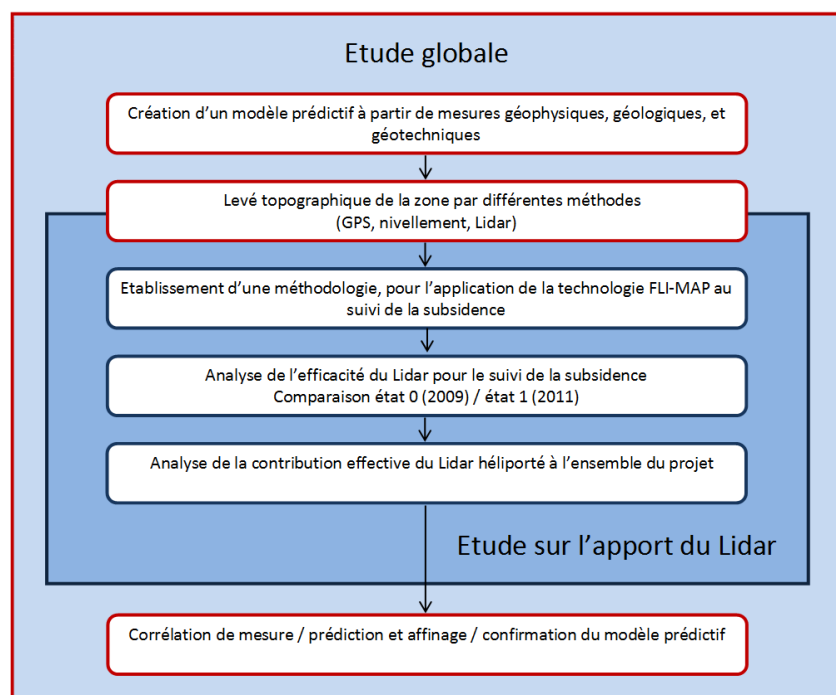


Figure 1: organigramme de l'étude sur la subsidence

La zone de test se situe sur la commune de Vauvert (Gard), au niveau d'une saline de 160 hectares, dans le bassin de Camarguais. Plusieurs millions de tonnes de saumure sont extraits chaque année depuis 1973, par une entreprise de chimie.

Le géologue de la société a mis en évidence les causes du mouvement :

- un enfoncement naturel du bassin de Camargue lié à la faille de Nîmes (cause mineure)
- un affaissement dû à l'extraction de saumure (cause majeure)

2. La Technologie : Le système FLI-MAP 1000

Bien qu'utilisant quotidiennement des systèmes LiDAR topographiques aéroportés traditionnels, le groupe FUGRO développe depuis quasiment 20 ans, son propre système LiDAR topographique héliporté, le FLI-MAP 1000 (4^{ème} génération).

Ce système se distingue des LiDAR topographiques traditionnels par ses applications destinées au relevé haute résolution et de précision des corridors d'infrastructures linéaires (autoroutes, voies ferrées, digues, pipelines, lignes électriques).

Ses principales caractéristiques sont les suivantes :

FLI-MAP 1000		
Caractéristiques techniques	Longueur d'onde	1554 nm
	Divergence du faisceau	0.45 mrad
	Fréquence d'acquisition	250 kHz jusqu'à 300 m
	Nombres de points par balayage	1000 points
	Angle de fauchée (FOV)	60°
	Orientation des balayages	7° vers l'avant (62.5 Hz) Nadir (125 Hz) 7° vers l'arrière (62.5 Hz)
	Récepteurs / Antennes GPS	Aéronef : 2 GPS L1/L2 Sol : 1 GPS L1/L2 tous les 20 km
	Fréquence GPS	10 Hz
Caractéristiques de vol	Hauteur de vol	< 500 m
	Largeur du corridor	~ 1.15 x Hauteur de vol
Précision (Retour d'expérience par rapport à des mesures contradictoires)	Planimétrique	+/- 5 cm (1s)
	Altimétrique	+/- 4-5 cm (1s)

Figure 2 : caractéristique techniques du FLI-MAP 1000

Bien que la précision nominale du système FLI-MAP soit trop faible par rapport à la mesure d'un phénomène de subsidence (de l'ordre de 1 à 2 cm par an), plusieurs hypothèses laissent à penser que cette technologie pourrait être utile à la mesure de l'affaissement géologique des sols :

- La précision d'un système LiDAR est toujours meilleure en altimétrie qu'en planimétrie (grandeur à laquelle on s'intéresse principalement)
- La méthodologie du calcul de trajectoire GPS semble pouvoir être améliorée
- L'évaluation de la subsidence est une mesure différentielle entre deux époques de mesure et non une mesure absolue d'une grandeur
- La grande densité de points mesurée par le système FLI-MAP laisse à penser que la précision peut être améliorée statistiquement par le grand nombre de déterminations d'une surface plane située dans une zone de subsidence (dalle de béton sur des infrastructures pétrolières par exemple)

La présente étude a donc pour but de vérifier ou d'infirmer ses hypothèses.

3. La méthodologie

Un des grands axes de cette étude est la mise en place d'une méthodologie, tant au niveau de l'acquisition des données que du traitement, permettant d'améliorer la précision des données FLI-MAP (notamment sur la composante altimétrique) dans l'optique de proposer cette technologie pour le suivi de phénomènes géophysiques.

Un bilan sommaire des erreurs a permis de mettre en évidence que la principale source d'erreurs du système FLI-MAP pour la mesure altimétrique est le système GPS. Il a donc été défini une méthodologie pour le calcul des corrections à apporter à la trajectoire GPS.

a) Calcul de trajectoire de l'hélicoptère

Le calcul des lignes de base GPS entre les différentes stations de base au sol et les deux antennes GPS installées sur l'hélicoptère permettent une détermination de la trajectoire en cinématique post traité.

Un minimum de 3 stations de base se trouve dans un rayon de 30 à 40 km autour de l'hélicoptère. Cette configuration des stations de base permet de calculer pour chaque position de l'engin, un minimum de 6 solutions, 3 stations de base au sol x 2 antennes GPS embarquées. Ensuite, une fois ces calculs validés, l'ensemble des solutions est moyenné de manière pondérée afin de déterminer la solution GPS de la trajectoire de l'appareil à raison d'une détermination toutes les 0.1sec.

b) Ajustement de la trajectoire GPS

La précision altimétrique effective du système est de l'ordre de 4-5 cm, mais elle peut être améliorée en disposant le long de la ligne de vol, des points d'ajustement de la trajectoire (*LiDAR Boards*) :

- Les *LiDAR boards* sont des cibles de référence peintes au sol
- Elles doivent être placées dans un endroit dégagé de façon à être visible depuis l'hélicoptère
- Elles doivent être disposées à intervalle régulier le long de la ligne de vol
- Leurs coordonnées sont déterminées :
 - En altimétrie par nivellement (cheminement double encadré)
 - En planimétrie par mesure GPS RTK



Figure 4 : LiDAR boards mesurées au GPS

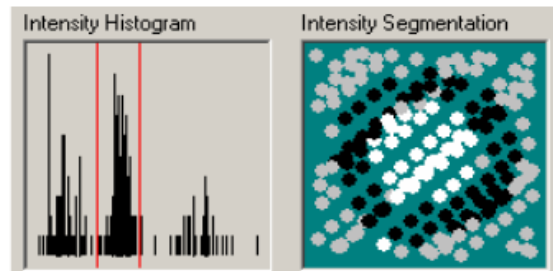


Figure 5: retour des points laser sur une Lidar Board

Elles sont ensuite comparées aux coordonnées calculées par le système d'enregistrement LiDAR. Les écarts entre les valeurs de référence (obtenues par levé terrestre) et les valeurs calculées (obtenues par levé laser) sont classés en fonction du temps. Cela permet d'établir un modèle de correction de la trajectoire variable au cours du temps et de l'appliquer ensuite à la trajectoire « brute ».

c) Les cibles pour la mesure de subsidence

Le but de la mesure de subsidence par LiDAR héliporté n'est pas d'évaluer la subsidence générale de toute la zone étudiée, mais de mesurer des valeurs de subsidence sur des éléments ponctuels et identifiables.

L'avantage du LiDAR est indéniable lorsque ces éléments ponctuels sont :

- trop nombreux pour être contrôlés régulièrement par GPS de précision ou nivellement direct.

- trop petits ou dont le retour radar est trop peu cohérent pour être contrôlés par méthode InSAR dont les pixels actuels ont une taille au sol de 20 à 30 m.

C'est le cas des dalles en bétons proche des puits utilisés pour l'extraction de saumure sur notre zone test de Vauvert. Ces dalles offrent également l'avantage d'être planes, et permettent ainsi une définition plus précise de leur altitude, grâce aux nombreux points laser sur leur surface.

Une fois que le nuage LiDAR est calculé avec une précision optimale, on identifie les cibles dans des zones réputées stables en altimétrie, afin de définir des surfaces de références entre différents passages FLI-MAP à différentes époques (nous disposons de données acquises en 2009 et 2011).

On identifie également les cibles dans la zone de subsidence qui nous permettent d'évaluer le mouvement de subsidence entre deux passages.



Figure 7: Dalle en béton servant de cible dans la zone de subsidence

d) Contrôle des résultats

Le contrôle des résultats de mesure de subsidence s'appuie sur des données issues des nivellements directs de précision effectués à la même époque de mesures (2009 et 2011), par l'IGN sur le site. Différents contrôles sont effectués :

- Contrôle altimétrique sur les zones cibles à l'extérieur de la zone de subsidence, par nivellement direct de précision. Ce contrôle donne la possibilité d'une analyse critique de la méthode d'ajustement de la trajectoire.
- Contrôle altimétrique sur les zones cibles (voir figure 7) à l'intérieur de la zone de subsidence, par nivellement direct de précision. Ce contrôle permet de vérifier si la trajectoire ajustée et le nuage de points laser géoréférencé permet un suivi de l'affaissement.

e) Analyse et conclusion

A l'issue de ce projet, on peut effectuer plusieurs analyses sur les données dont on dispose :

- Comparaison des campagnes FLI-MAP de 2009 et 2011, pour conclure sur la capacité du LiDAR hélicopté pour la mesure de subsidence
- Comparaison des données LiDAR avec les autres données dont on dispose (nivellement direct, InSAR, GPS de précision), pour établir les avantages de chacune de ces méthodes selon différents critères (précision, coût, type de données)
- Définir si le LiDAR hélicopté, habituellement dédié à d'autres types de missions, permet effectivement de mesurer l'affaissement des sols. Cela permet de compléter et d'enrichir par l'expérimentation, la méthodologie de mise en œuvre du FLI-MAP.