

# SUBSIDENCE : APPROCHE DE DIFFERENTES METHODES DE MESURE

*Société d'accueil :* Fugro Geoid SAS  
*PFE présenté par :* **Guillaume KAUTZMANN**  
*Directeurs du PFE :* Claude MICHEL  
Sophie MARMU-LEFEVRE  
*Correcteurs :* Gilbert FERHAT  
Jacques LEDIG



## 1. Contexte de l'étude

Avec l'exploitation des hydrocarbures dans des sables bitumineux, les sociétés pétrolières ont rencontré des problèmes d'affaissement de terrain importants sur leurs exploitations. Ce phénomène est appelé subsidence, lent mouvement d'affaissement de certaines parties de l'écorce terrestre sous l'action de contraintes internes ou externes (comme le poids de dépôts sédimentaires). Cette subsidence représente un risque opérationnel certain pour les sociétés d'extraction, d'où le besoin de l'étudier et d'essayer de la prévoir.

D'une manière plus générale, l'expansion continue des zones d'exploitation et d'extraction des eaux souterraines, des hydrocarbures ou des minerais, ajoutée à l'accroissement des populations dans les zones à risque, obligent aussi à une réflexion sur la subsidence.

Dans le cadre de son plan de recherche et développement, la société FUGRO GEOID a décidé d'investir dans la recherche de solutions sur la mesure, la prédiction et le suivi de différents types de phénomènes de subsidence.

Dans une première phase, elle a donc pris la décision d'investir dans un programme d'amélioration de ses connaissances en matière de précision et combinaison d'observations, tant en géologiques que topographiques. Le programme vient d'être lancé au début de l'année 2009 et n'aboutira pas avant 2 à 3 ans. En effet, l'acquisition de mesures comparatives des déplacements lents et fins du sol ne peut se réaliser qu'une à deux fois par an pour chaque méthode envisagée.

Dans une deuxième phase, ces mesures devront être corrélées à des modèles numériques qui, basés sur des mesures géophysiques et géotechniques, servent à prévoir les déplacements du terrain. Les mesures topographiques devront permettre d'infirmer ou de confirmer ces modèles de prévision.

Des méthodologies de suivi des sites devront également être incluses dans cette étape. Elle devront comprendre à la fois des mesures du terrain naturel et un « monitoring » des infrastructures. Le but final sera d'apporter des réponses ciblées et complètes en matière de prévisions et de suivi du problème de subsidence.

L'objectif de mon travail est d'instaurer un état zéro sur 2 sites tests, d'effectuer une analyse comparative des différentes méthodes de mesure de subsidence et autres mouvements de déplacement de la surface terrestre, en s'attachant plus particulièrement à trois d'entre elles : LiDAR, GPS précis et InSAR.

## 2. Analyse géologique de la subsidence

La subsidence est définie comme un affaissement de la surface de la croûte terrestre sous l'effet d'une charge qui vient s'ajouter soit au dessus de la croûte, soit à l'intérieur de celle-ci, soit au dessous. Elle peut également être causée par la présence de vide ou d'une baisse de pression de fluide dans une couche souterraine.

Les phénomènes entraînant un affaissement de terrain peuvent avoir plusieurs origines :

- **la karstification**, résultat de l'altération des roches carbonatées par réactions chimiques de dissolution,
- **le retrait/gonflement des argiles**, résultat d'une modification de volume des sols,
- **les glissements de terrain**, résultat d'un déplacement de matière le long d'une pente,
- **la subsidence tectonique**, reliée à un enfouissement de la lithosphère,
- **la subsidence thermique**, résultat d'un refroidissement de l'asthénosphère,
- **la glaciation/déglaciation**, reliée en outre à la disparition du pergélisol,
- **le volcanisme**, relié notamment aux effondrements de chambres magmatiques,
- **l'extraction minière**, responsable de la création de vide,
- **le pompage des nappes d'eau et l'extraction d'hydrocarbure**, relié à la perte de pression,

Il est important de connaître les causes du phénomène pour pouvoir réaliser des modèles numériques de prévisions. Ces modèles permettent de prédire les mouvements futurs d'un terrain en prenant en compte la géologie du site. Ils sont complexes à réaliser et relèvent d'une interprétation. Pour cela, il est nécessaire de confirmer ces modèles par des mesures réelles du terrain.

## 3. Inventaire des différents types de mesures

Nous pouvons découper les méthodes envisageables en 4 grandes familles :

Type de mesures	Méthode
Globales géospaciales	Lidar
	Insar
	Corrélation d'image optique
Globales terrestres	Laser scanner
	Laser sol ultra-large bande
	Ground Base Radar
Discrètes	GPS précis
	Tachéométrie
	Nivellement
	Gravimétrie
Ponctuelles	Tassomètre
	Extensomètre
	Inclinomètre

Figure 1 : Liste des méthodes envisageables

Les **méthodes globales géo spatiales** couvrent une surface importante et proviennent de données aériennes ou spatiales. Elles sont principalement de 3 types, le Lidar, l'Insar et la corrélation d'image optique.

- Le *Lidar* est une méthode de lever laser aéroporté qui apporte typiquement une précision de lever de +/- 10 cm pour des systèmes classiques. Cette précision peut être améliorée pour descendre sous les 2 cm avec des méthodologies adaptées et le système LIDAR hélicoptère du groupe Fugro : le FLI-MAP.
- L'*Insar* qui utilise des images radar satellitaires est aujourd'hui la méthode la plus répandue pour l'analyse de la subsidence. La combinaison d'images SAR acquises à plusieurs époques permet de mesurer les déplacements avec une précision en deçà du centimètre.

- La *corrélation d'images optiques* utilise des images aériennes pour pouvoir définir une zone de subsidence. Cette méthode ne peut pas être utilisée pour mesurer les fins mouvements de terrain, mais peut donner un aperçu de l'étendue de la zone de subsidence dans le cas d'une étude.

Les **méthodes globales terrestres** offrent une densité de points importante mais proviennent de levés réalisés au sol et ne sont donc adaptées qu'à la surveillance de glissements de terrains.

- Le *laser scanner terrestre* est un LIDAR terrestre basé sur les mêmes principes que ce dernier.
- Le *Laser sol ultra large bande* est basé sur les mesures laser garanties au micron.
- Le *Ground base Radar* est basé sur la même méthode que l'Insar mais les prises de vues des images SAR sont réalisées au sol sur un banc étalonné.

Les **méthodes discrètes** offrent une densité de points moindre, mais les points mesurés peuvent être matérialisés au sol. Ce sont les méthodes classiques du topographe, la tachéométrie, le nivellement et dans une moindre mesure le GPS. Cette dernière méthode correspond à des mesures GPS en continu pendant plusieurs jours.

La gravimétrie est la mesure du champ de gravité à l'aide de gravimètre. Les variations observées dans le champ de gravité sont liées à un changement de la composition ou de la topographie du sol.

Enfin, les **méthodes ponctuelles** sont des instrumentations géotechniques permettant de mesurer en temps réel les déformations entre 2 points. Les équipements le permettant sont les tassomètres, les extensomètres et les inclinomètres.

### 3. Mesures réalisées

Afin de tester les différentes méthodes, deux sites tests ont été choisis en collaboration avec le groupement de recherche TAG de l'Université de Montpellier et sont des zones de subsidence avérées :

- le site de Vauvert présente une subsidence verticale induit par l'extraction de sel. Il est assez étendu avec une surface de subsidence avérée de 48 km<sup>2</sup>.
- Le site de Pégairolles est un glissement de terrain dans un relief accidenté. Il représente une surface plane inférieure au km<sup>2</sup>.

Les sites tests sont différents dans leur topographie et présentent l'intérêt de pouvoir expérimenter l'ensemble des méthodes envisagées.

Nous avons réalisé 2 campagnes de mesures, l'une de GPS, l'autre de LIDAR, par nos propres moyens, sur le site de Vauvert. Nous avons assisté en observateur à un troisième traitement concernant l'Insar sur le site de Pégairolles.

#### Campagne LIDAR

Un vol d'approximativement 15 minutes au dessus et en dehors de la zone de subsidence a été réalisé. Il nous permet d'avoir une première campagne de référence pour cette méthode. Cette action a nécessité une préparation importante et un mode opératoire permettant de recalibrer la trajectoire a pu être mis en place. Il s'agit de mettre en place des plaques de références connus en X, Y et Z dans la fauchée du laser.

Le diagramme de la figure 2 présente les diverses étapes du traitement des données LIDAR. J'ai pu réaliser la majorité des opérations, sauf l'intégration des données des Lidar Boards par faute de temps.

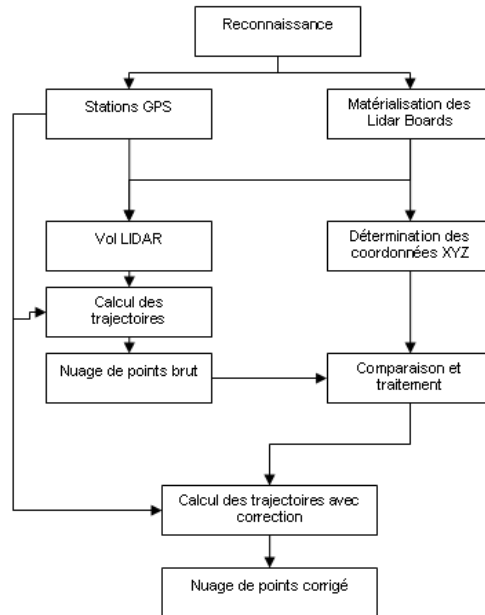


Figure 2 : diagramme des opérations d'un traitement Lidar

### Campagne GPS

Trois récepteurs GPS calibrés ont été mis en place et ont pris des mesures pendant 7 jours d'affilés. Le traitement s'est effectué avec le logiciel commercial Trimble Total Control et avec les logiciels scientifiques Gamit-Globk. L'utilisation de Gamit-Globk permet d'inclure des données supplémentaires comme des modèles d'effet de surcharge océanique. Il propose également de pouvoir régler tous les paramètres de calculs contrairement aux logiciels commerciaux plus opaques dans ce domaine. En outre, cette campagne a nécessité la construction de plusieurs monuments.

### Campagne Insar

Un traitement Insar a également été effectué par M. Peyret, chercheur à l'Université de Montpellier, sur le site du glissement de terrain de Pégairolles. Il montre que la zone n'est pas adaptée à un traitement classique par interférométrie différentiel avec des images Radar fournies par le satellite ERS-1. En effet, pour qu'un tel traitement puisse être efficace, la zone couverte par le satellite ne doit pas avoir subi de changements de physionomie importants. Dans ce cas précis, on peut supposer que la végétation est à l'origine de l'échec de la méthode.

Malgré cela, différentes approches pour le traitement Insar existent, une approche, dite PS-INSAR (Permanent Scatter InSar) est envisageable, elle se base sur l'étude de réflecteurs permanents naturels ou artificiels. L'acquisition et le traitement d'images en orbites opposées (montantes) est une autre possibilité.

## 5. Conclusions

Cette étude est le premier chapitre de recherches futures sur le thème de la mesure de subsidence au sein de FUGRO GEOID. En effet les résultats et leurs analyses ne seront réellement perceptibles qu'à l'occasion de futures campagnes de mesure qui apporteront des données de comparaison fiables.

Elle sert donc à réaliser un état zéro du site de Vauvert dans deux méthodes bien définies, le Lidar et le GPS de précision. Pour cela, les modes opératoires ont du être étudiés et définis, notamment avec la mise en place des *Lidar Boards*. Cet état zéro servira à des mesures futures qui, à terme, permettront à l'entreprise de présenter une méthodologie de lever, contrôle, suivi et prévention du phénomène de subsidence.