

Mise en place et formalisation d'une méthode de mesures topographiques et lasergrammétriques de précision, sur plateforme pétrolière, barge ou bateau

Analyse de précision et développement d'un logiciel de calculs adapté

PFE présenté par : **Elodie Hermier**
Société d'accueil : TPLM-3D
Directeur de PFE : M. Stéphane Hopp
Correcteurs : M^{me} Tania Landes
M. Jean-Claude Fischer



1. Contexte et objectifs

Les structures flottantes de type plateforme pétrolière, barge ou encore bateau sont très souvent équipées d'outils divers, de tuyauteries de taille, de matériels en tous genres, nécessaires aux activités de la plateforme.

S'agissant des chantiers en milieu pétrolier maritime (dit « offshore »), il est souvent question de mesurer le positionnement de l'existant, avec une précision pouvant atteindre 1-2mm, pour pouvoir ensuite prévoir sur plan les modifications à quelques millimètres près. Ce type de mesure est réalisé en tachéométrie, et parfois, de plus en plus souvent, complété par des mesures au scanner-laser. Pour garantir la précision requise, le géoréférencement du nuage de points doit se faire en appui des cibles, levées par mesures topographiques très précises.

S'agissant des chantiers de construction navale, le levé lasergrammétrique peut-être employé pour modéliser les déformations des bateaux entre les phases successives de restauration par exemple. Les différentes pressions exercées sur la coque occasionnent des déformations qui intéressent les concepteurs.

Dans ces deux types de chantier, le même problème se pose : il est impossible de réaliser une polygonale « classique ». En effet, l'horizontale, telle qu'elle est définie pour des mesures effectuées sur Terre, n'est plus une référence adaptée. Il est alors obligatoire de trouver des méthodes efficaces et fiables pour effectuer des mesures sur des plateformes en mouvement, dû à la houle, pour garantir les précisions requises.

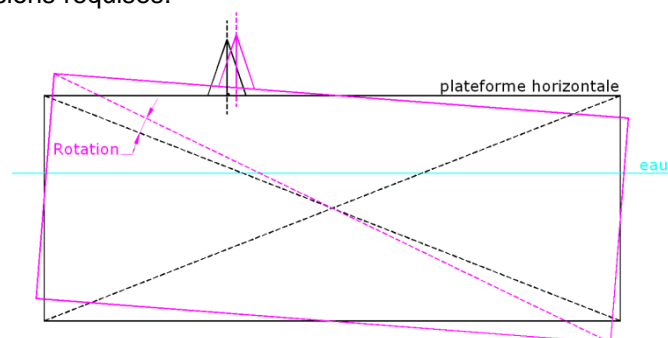


Figure 1 : Schéma de principe d'une station sur plateforme flottante

TPLM-3D, société de topographie et de lasergrammétrie, est de plus en plus souvent amenée à réaliser ces prestations, qui demandent une grande qualité des procédures et des résultats. Elle a donc souhaité formaliser un mode opératoire pour les levés lasergrammétriques et topographiques sur plateforme flottante, calculer de manière théorique et mathématique la précision des mesures réalisées avec ce mode opératoire, et enfin créer une application permettant de réaliser la chaîne de traitement de ce type de levé.

2. Levé topographique et lasergrammétrique sur plateforme flottante

2.1. Levé topographique

Le levé topographique sur plateforme pétrolière, barge ou bateau est un levé particulier, qui se fait dans les conditions suivantes :

- mouvements de la plateforme, dus aux vagues (roulis, tangage),
- co-activité fréquente, qui provoque des vibrations de la plateforme,
- mise en station sur caillebotis (sur plateforme pétrolière ou barge), ce qui engage la stabilité du tachéomètre,
- environnement très encombré (sur plateforme pétrolière ou barge), ce qui engendre des visées parfois rasantes.

Ces conditions imposent de travailler différemment avec le tachéomètre. L'horizontale telle qu'elle existe sur les chantiers à terre n'est plus une référence utile, nous sommes ici dans un référentiel local, propre à la plateforme flottante.

Les mouvements importants de la plateforme obligent le géomètre à **désactiver le compensateur**, instrument qui permet de conserver la verticalité lorsque le tachéomètre subit de très légers mouvements. Sans ce compensateur, les stations n'ont plus aucun lien entre elles car elles ne sont plus mises en station par rapport à la verticale. Cela impose de mettre en place un mode opératoire propre à ce type de levé.

Chaque station a son propre système de coordonnées et les cibles levées depuis chaque station vont permettre de géoréférencer la totalité du levé, afin que chaque station et que tous les points levés soient dans le même système de coordonnées. Cela s'apparente au géoréférencement de nuages de points réalisé après levé lasergrammétrique.

2.2. Levé lasergrammétrique

Le levé lasergrammétrique s'appuie sur les cibles, préalablement déterminées par levé topographique. Le mode opératoire du levé lasergrammétrique sur plateforme flottante ne diffère pas du mode opératoire du chantier terrestre, à la différence que le compensateur du scanner-laser ne peut pas être activé. Sauf très forts mouvements pendant la durée du scan, qui pourraient occasionner des perturbations au sein même d'un nuage de points, chaque position de scan est réalisée dans un système de coordonnées propre. La totalité des mesures effectuées est ensuite ramenée dans un unique système de coordonnées grâce à un processus de géoréférencement basé sur les cibles mesurées lors du levé topographique. Le levé lasergrammétrique sur plateforme flottante n'impose donc pas de mode opératoire particulier.

2.3. Chaîne de traitement

La chaîne de traitement du levé topographique effectué sur plateforme flottante nécessite plusieurs étapes distinctes, et passe par l'utilisation de différents logiciels. Les étapes de cette chaîne sont :

- **le traitement du carnet brut**,
cette étape permet de corriger les fautes commises sur le terrain, notées sur le carnet (par exemple oubli de code station ou bien erreur sur l'identifiant d'un point) ; elle peut être réalisée avec un logiciel propriétaire conçu par David Desbuisson appelé TopTools
- **les calculs topographiques**,
il est question de calculer depuis chaque station les coordonnées cibles et des points topographiques, dans le repère propre à chacune d'elles ; l'appli Covadis (Géomédia) a été utilisé pour réaliser cette étape
- **le géoréférencement du réseau des stations**,
après avoir choisi une station de référence, dont le système de coordonnées sera le système général, on applique une similitude spatiale (facteur d'échelle = 1) ; le logiciel Leica Cyclone a été employé lors de cette étape

Posons P_i un point de coordonnées $(x_i, y_i, z_i)_{\text{local}}$ et $(X_i, Y_i, Z_i)_{\text{général}}$,

- les paramètres de translation sont (T_x, T_y, T_z) , respectivement suivant les axes (X, Y, Z) du système général,
- les angles de rotation (ω, ϕ, κ) , respectivement autour des axes (X, Y, Z) du système général

Alors la similitude spatiale appliquée à P_i est donnée par la formule :

$$\begin{pmatrix} x_i \\ y_i \\ z_i \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} T_x \\ T_y \\ T_z \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} r_{11} & r_{12} & r_{13} \\ r_{21} & r_{22} & r_{23} \\ r_{31} & r_{32} & r_{33} \end{pmatrix} \times \begin{pmatrix} X_i \\ Y_i \\ Z_i \end{pmatrix}$$

Formule 1 : similitude spatiale (facteur d'échelle = 1)

avec r_{ij} les composants de la matrice des rotations.

3. Analyse de précision

3.1. Analyse de précision théorique

Un **bilan des erreurs angulaires et en distance** a été effectué minutieusement, en prenant en compte les conditions particulières du levé sur plateforme flottante.

Afin de pouvoir mener à bien l'étude de précision théorique, des tests ont été réalisés pour comprendre l'influence des erreurs sur la mesure d'angles ou de distances. Ainsi, les erreurs dont l'influence est variable et non quantifiable n'ont pas été prises en compte dans le calcul des erreurs moyennes quadratiques, tandis que les erreurs dont l'influence a pu être mise en évidence et qui suivent une loi mathématique ont été retenues.

Ensuite le **calcul des erreurs moyennes quadratiques en angles et en distance** a été effectué en prenant en compte d'une part le bilan des erreurs précédemment établi et d'autre part les données constructeur du tachéomètre utilisé. Connaissant la précision des observations brutes, il est alors possible d'estimer l'emq angulaire totale et l'emq en distance totale grâce aux formules de transmission d'erreurs moyennes quadratiques.

Enfin il s'agit de **calculer la précision théorique sur les coordonnées locales d'un point** mesuré depuis une station, en utilisant le gisement et la distance. Lors de la transmission d'erreurs moyennes quadratiques, on formule l'hypothèse que les observations (D_i , AV , AH) sont des observations indépendantes. Cela implique que les erreurs systématiques aient été prises en compte dans le bilan des erreurs pour être le plus juste possible.

Exemple : sur plateforme flottante, pour un tachéomètre avec $\sigma_\alpha = \pm 0.5 \text{ mgon}$ et σ_d , avec réflecteur = $\pm 2.0 \text{ mm} + 2 \text{ ppm}$, la précision sur la position 3D d'un point B mesuré depuis une station A est $\sigma_{B(xyz)} = \pm 1.8 \text{ mm}$.

3.2 Analyse de précision effective

Le calcul des paramètres de la similitude spatiale va être réalisé selon le **principe des moindres carrés**, à l'aide de la **méthode des intermédiaires**. A l'issue de cet ajustement, il est possible de connaître les emq des paramètres (inconnues) et des coordonnées locales compensées des points (observations compensées).

Afin de pouvoir connaître la précision effective des paramètres de la transformation, les emq des points ; calculés lors de l'étude de précision théorique ; vont être utilisés pour déterminer la matrice des poids des observations, intervenant dans la méthode des intermédiaires, à l'aide la formule suivante :

$$P_{Li} = \frac{mq_0^2}{mq_{Li}^2}$$

Formule 2 : poids d'une observation L_i

Ainsi la précision effective des paramètres de la transformation sera dépendante des résultats de l'étude théorique et donc plus réelle.

Lorsque la transformation est connue pour chaque station, les points topographiques utiles au levé, qui n'ont pas servi au géoréférencement, peuvent subir la transformation. Toutes les stations et leurs points sont alors dans le système de coordonnées général. Pour terminer l'étude de précision, on doit calculer la **précision effective de ces points topographiques**. On utilise alors les formules de transmission d'erreurs moyennes quadratiques en formulant cette fois l'hypothèse que les données, c'est-à-dire les paramètres de la transformation, ne sont pas indépendantes. Cette hypothèse implique la connaissance des covariances des inconnues qui interviennent alors dans ces formules. Ces valeurs sont déterminées à la fin de l'ajustement des paramètres de la similitude spatiale selon les moindres carrés, dans la matrice des covariances des inconnues.

4. Développement du logiciel de calculs de géoréférencement

La chaîne de traitement du levé topographique implique l'utilisation de plusieurs logiciels et donc une perte de temps, et également d'informations. Afin de parer à ces problèmes, un logiciel de calculs topographiques dédié au levé sur plateforme flottante a été réalisé.

Le schéma ci-dessous permet de comprendre les différents calculs proposés par ce logiciel :

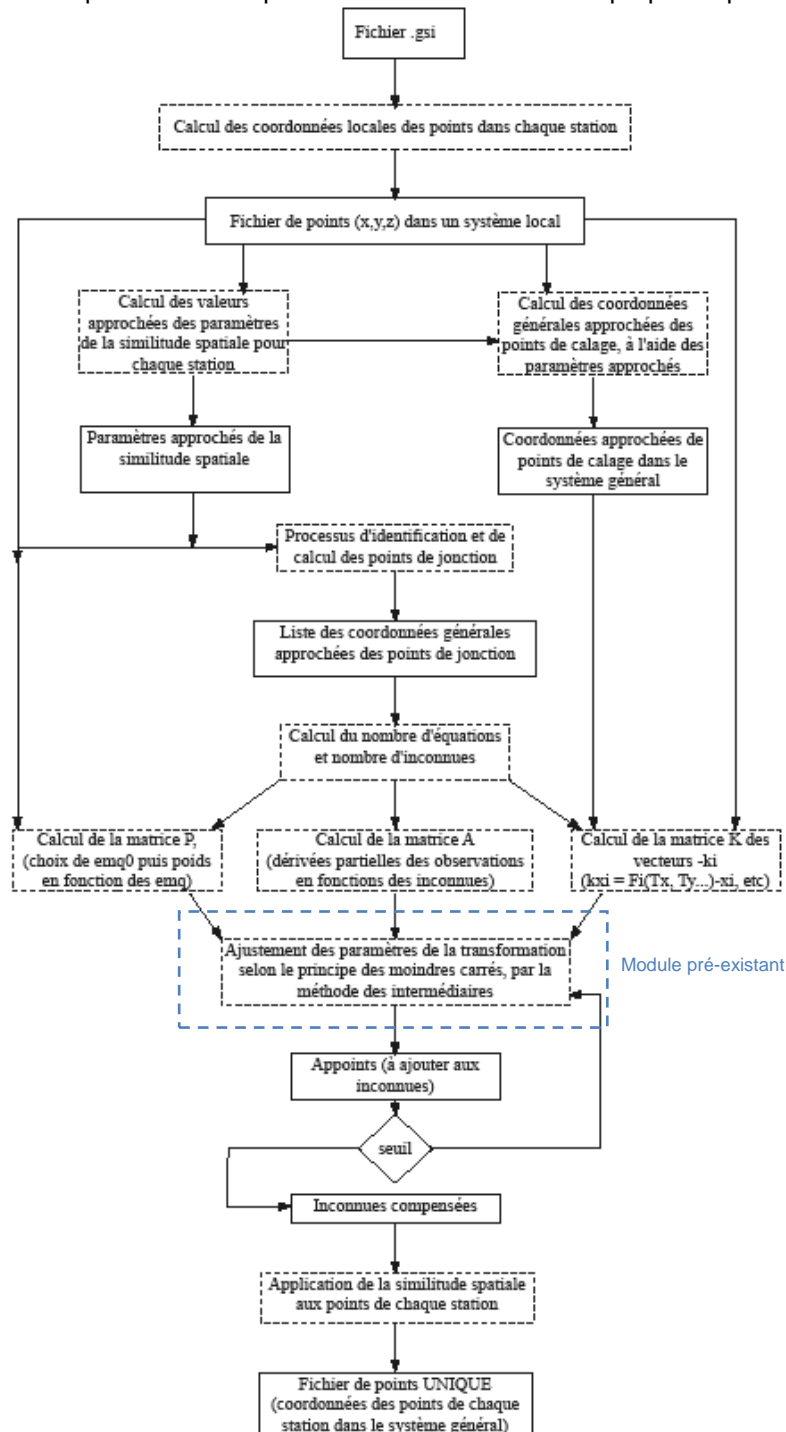


Figure 2 : schéma de principe du logiciel créé

Conclusion

Cette étude a permis à TPLM-3D de mettre en place un mode opératoire fiable, dont les résultats sont garantis par des précisions exactes, qui prennent en compte les conditions de travail sur plateforme flottante. Le développement du logiciel dédié à ces calculs topographiques de précision est un atout considérable pour l'entreprise, un gage de qualité dans la chaîne de traitement. D'autres fonctionnalités peuvent encore être ajoutées au logiciel, pour en faire un outil performant, la fonction principale de géoréférencement étant maintenant garantie.