

Lasergrammétrie sous-marine : Quel apport pour les métrologies et l'Exploration Production ?

■ Yann MOREL

En topographie, la lasergrammétrie est une technologie très largement utilisée pour les opérations terrestres et aériennes. Elle connaît cependant un récent développement pour son déploiement sous-marin. L'objectif de ce projet est d'étudier ce que la lasergrammétrie sous-marine peut apporter au sein de l'Exploration Production du groupe Total. Dans ce rapport, les métrologies sous-marines, qui sont généralement réalisées par méthode acoustique ou à l'aide d'une centrale inertielle, seront particulièrement abordées. Il existe actuellement deux types de scanners laser sous-marins : les scanners laser à temps de vol et à triangulation. Afin d'évaluer cette technologie, ce rapport développera aussi un essai qui a pu être mis en place au cours du mois de juin 2015. Il a été effectué en Angola, à l'aide d'un scanner laser à temps de vol développé par 3D@Depth. Ce projet a ainsi permis à Total de valider cette technologie et ainsi de l'envisager pour les futurs appels d'offres.

Contexte et objectifs de l'étude

La métrologie est l'application la plus largement abordée car elle représente un véritable enjeu au niveau de la durée des opérations. Une métrologie sous-marine a pour but de définir le positionnement relatif d'un hub (qui correspond à l'interface sur laquelle vient se connecter la future conduite) par rapport à l'autre dans le but de

concevoir les conduites (*jumpers* ou *spools*) reliant les différentes structures installées sur le fond marin. C'est la dernière étape avant la fabrication des conduites reliant deux structures. La Figure 1 représente les mesures ainsi recherchées sur les deux structures :

- Attitudes des deux hubs (roulis, tangage)
- Distance horizontale séparant les centres des deux hubs

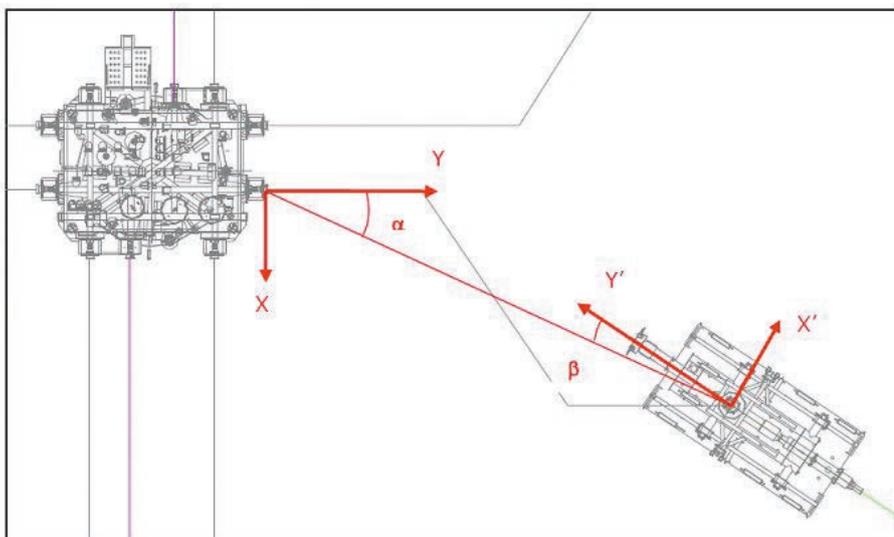


Figure 1. Mesures requises pour une métrologie (Procédure Total).

■ MOTS-CLÉS

Scanner Laser,
Sous-marin,
Métrologie,
Triangulation,
Temps de vol

- Différence de hauteurs entre les centres des deux hubs
- Altitude des hubs par rapport au fond de mer
- Différences angulaires entre les directions des connecteurs et la ligne passant par les centres des hubs (α et β)
- Profil bathymétrique du fond de mer le long de la future conduite.

Actuellement, il existe plusieurs techniques de métrologie sous-marine. La plus utilisée est la méthode acoustique (LBL – Long BaseLine) mais une métrologie peut aussi être effectuée à l'aide d'une centrale inertielle, par photogrammétrie, à l'aide d'un sonar 3D ou bien par la technique du *Taut Wire* ("fil tendu"). Dans mon mémoire, je décris ces différentes méthodes de mesure, en listant les avantages et les inconvénients de chacune d'entre elles.

La précision (le document de l'IMCA est interprété par TOTAL avec un niveau de confiance de 95 % soit 2σ en une dimension) est un paramètre important puisque l'on ne peut pas se permettre de fabriquer une conduite qui ne reliera pas les deux structures. En effet, le prix de fabrication d'une conduite est de plusieurs centaines de milliers de dollars. La Figure 2 fournit une idée des tolérances typiquement établies pour les métrologies.

La lasergrammétrie sous-marine

■ Les principes

Deux types de scanners laser ont pour le moment été développés. En effet, à l'image des débuts de la lasergrammétrie terrestre, les premiers scanners sous-marins reposent sur les principes de la triangulation et du "temps de vol".



Point	X	Y	Z	Pitch	Roll	Heading
Unit	mm	mm	mm	Degrees	Degrees	Degrees
Hub to hub relative distances	50 to 150	50 to 150	50 to 150			
Hub to hub relative angles				0.5 to 1.0	0.5 to 1.0	0.5 to 2.0

Figure 2. Précisions typiques requises lors d'une métrologie, [IMCA, 2012].

Pour les scanners à triangulation, la détermination des distances repose sur la géométrie du faisceau ainsi que sur la position de l'émetteur et du récepteur, alors que les scanners lasers "à temps de vol" utilisent la vitesse de la lumière. Cette vitesse étant directement liée au milieu de propagation, une sonde CTD (*Conductivity, Temperature, Depth*) est utilisée pour la détermination des différentes caractéristiques de l'eau de mer. Les scanners laser à triangulation ont une portée plus limitée que les scanners reposant sur le principe du temps de vol, qui ont une portée pouvant atteindre les 50 m.

Contrairement aux scanners terrestres qui utilisent principalement des lasers possédant des longueurs d'onde situées dans le proche infra rouge et dans le rouge visible, les scanners sous-marins travaillent dans le vert ou le bleu visible. Ceci est dû au fait que ces couleurs se propagent mieux dans l'eau de mer. Les différents facteurs influençant l'atténuation de la propagation des ondes lumineuses dans l'eau sont décrits dans le mémoire.

■ Les applications

La métrologie sous-marine est l'application majoritairement abordée dans ce papier mais il existe aussi d'autres applications.

Les scanners laser permettent notamment de cartographier les champs pétroliers. La représentation en trois dimensions de la zone entière (structures, câbles, fond marin...) est utile afin de planifier les opérations des ROV ("*Remotely Operated Vehicles*", qui sont des robots pilotés depuis la surface) et les opérations de maintenance.

Ils permettent également de constater les phénomènes de subsidence, localement, au niveau des structures. En effet, en positionnant des cibles sur le champ pétrolier, il est possible de constater l'enfoncement des structures au cours du temps.

Dans certains cas, il peut aussi être utile de scanner les installations sous-

marines après leurs installations. Un des intérêts peut être de suivre l'évolution des structures. Celles-ci peuvent subir certains dommages au cours du temps, et il est important de pouvoir évaluer ceux-ci afin d'intervenir correctement le cas échéant. Le scanner laser peut aussi être une bonne solution lorsqu'il manque certaines informations sur des structures.

■ Comparaison avec les autres techniques

La lasergrammétrie est une technologie très connue et maîtrisée pour les opérations terrestres. Cependant, son adaptation au monde sous-marin est très récente et les systèmes sont en plein développement.

Un des avantages de la lasergrammétrie sous-marine se situe au niveau de la durée des opérations. Cette technologie représente un gain de temps et donc un coût de location du bateau moins important.

La plupart des techniques actuellement utilisées pour les métrologies nécessitent la mise en place de différentes interfaces sur la structure, visant à accueillir soit des appareils de mesure (centrale inertielle par exemple) soit des cibles (transpondeurs pour une métrologie acoustique par exemple). Ceci est donc une source d'erreur supplémentaire. Le scanner ayant une portée pouvant aller jusqu'à près de 50 m pour des eaux très claires, lors d'une métrologie laser, aucun contact n'est nécessaire entre l'appareil et la structure et de plus, aucun objet n'est à installer préalablement sur la structure. En plus des résultats de la métrologie, les scanners laser permettent d'obtenir les modèles en trois dimensions des différentes structures ainsi qu'une cartographie complète.

De plus, les ondes lumineuses possèdent des propriétés complètement différentes des ondes acoustiques. En effet, les longueurs d'onde de la lumière sont près de 10^8 fois plus petites que les ultrasons. Cette différence permet une

meilleure résolution pour un balayage laser qu'avec un sonar 3D.

Cependant, la portée du laser reste limitée par la turbidité de l'eau. Si l'eau est trop trouble, il ne sera pas possible d'effectuer les mesures puisqu'il n'est possible de scanner que ce qu'il est possible de voir.

Mise en place d'un cas concret en Angola

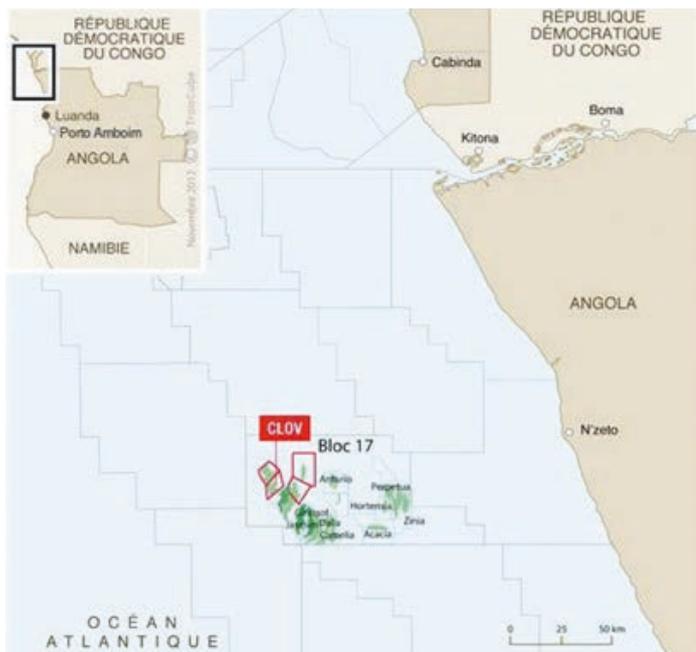
■ La zone d'étude

Afin d'évaluer la technologie laser, une mission a été organisée au large de l'Angola (Figure 3). La métrologie a été réalisée sur le champ pétrolier de CLOV (*Cravo, Lirio, Orquidea, Violeta*) à environ 1 300 m de profondeur. La zone d'étude a été choisie de façon à traiter un connecteur vertical d'un côté (sur une structure appelée FLET, *Flowline End Termination*) et un connecteur horizontal de l'autre (sur une tête de puits). Ainsi, cette métrologie permet de traiter les deux cas auxquels la société Total peut être confrontée, et cela a permis, par la suite, d'évaluer les différentes contraintes, tant au niveau de l'acquisition qu'au niveau du traitement des données.

■ La métrologie inertielle

Une métrologie inertielle a d'abord été effectuée avec ZUPT, qui est une entreprise américaine basée à Houston. ZUPT est spécialisée dans l'intégration de la technologie inertielle pour les études sur terre et en mer. Cette technologie ayant déjà fait ses preuves, les résultats obtenus ont ainsi permis d'évaluer les performances du scanner laser. La centrale utilisée est le C-PINS et les opérations ont duré 13 h 20. Une telle métrologie se réalise en différentes étapes. En effet, le C-PINS réalise plusieurs "boucles" entre les hubs afin de déterminer la position et les orientations de ceux-ci. Ensuite, un capteur de pression est utilisé afin de calculer les différentes profondeurs recherchées et d'obtenir le profil bathymétrique le long de la future conduite. Les valeurs de pressions obtenues à l'aide de ce capteur sont ensuite converties en profondeurs grâce aux données collectées par une sonde CTD.





(Total, 2015)



(Guide opérationnel du SL1, 2015)

Figure 5. Configuration pour une longue métrologie.

Figure 3. Situation de la zone d'étude.

■ Traitement des données obtenues

En ce qui concerne le traitement des données, il s'effectue avec les mêmes logiciels que ceux utilisés pour les scanners terrestres. Une fois que les nuages de points sont préparés (*Figure 6*), il convient de modéliser les hubs et d'effectuer tous les traitements nécessaires.

Les résultats dépendent fortement des choix effectués dans les données utilisées. En effet, il existe différentes façons de traiter les données. Lors de cette mission, plusieurs traitements ont ainsi été réalisés afin de pouvoir comparer les résultats obtenus et ainsi identifier les possibles sources d'erreurs.

Certaines personnes préfèrent ainsi traiter les deux jeux de données séparément (cas du premier traitement effectué par UTEC avec le logiciel Cyclone) alors que d'autres préfèrent les consolider afin d'exploiter au mieux le recouvrement obtenu lors de l'acquisition (cas du second traitement réalisé par UTEC et du traitement effectué par l'auteur au sein de Total avec le logiciel Polyworks). De plus, le traitement étant basé sur les contrôles dimensionnels des structures (effectués sur le chantier de construction) chaque personne n'utilise pas forcément les mêmes points de référence. Les principales sources d'erreurs qui ont été constatées sont le choix d'utiliser des points mal définis sur les données brutes et le choix de surfaces qui ne sont pas strictement alignées par rapport à la structure.

Un inclinomètre (Minisense3) est intégré au sein du SL1. Cet inclinomètre fournit les valeurs de roulis/tangage du

■ La métrologie laser

La métrologie laser a été réalisée par l'entreprise américaine UTEC. Cette entreprise est l'une des premières à avoir réalisé des métrologies laser (dans le golfe du Mexique). Le scanner utilisé est un SL1, développé par la société 3D@Depth. Des contacts réguliers ont été établis avec UTEC et 3D@Depth afin de préparer au mieux cette mission et d'en garantir le bon déroulement. Le SL1 reposant sur le principe du temps de vol, il convient de déployer une sonde CTD afin de mesurer les différents facteurs environnementaux nécessaires à la détermination de la vitesse de la lumière (pression, salinité, température).

Le scanner est installé sur un ROV (*voir Figure 4*) qui est déployé sur le fond de mer et piloté depuis la surface. Plusieurs stations (deux dans le cas de cette mission en Angola) sont effectuées afin d'obtenir un recouvrement maximum des structures et du fond de mer.

Le scanner balayant sur seulement 30°, une unité panoramique permet de faire pivoter le scanner afin d'effectuer plusieurs balayages qui viendront couvrir l'ensemble de la métrologie. Depuis une seule station, différents balayages sont effectués (environ une vingtaine), ce qui permet d'obtenir une vue panoramique de la zone étudiée (environ 180°). Le pas de balayage a été réduit au niveau des hubs afin

d'obtenir une plus grande densité de points.

Dans le cadre de cette métrologie réalisée en Angola, les deux structures étaient visibles depuis une seule station mais il peut arriver que la distance soit trop importante. Dans ce cas, des cibles peuvent être disposées sur le fond marin afin de consolider les différents nuages obtenus (*Figure 5*).

Deux logiciels fournis par 3D@Depth, 2D Viewer et 3D Cloud, permettent la visualisation des données obtenues directement après chaque balayage, ce qui permet de valider ou de recommencer les mesures. Cela nous a été utile à plusieurs reprises du fait de turbulences dans les données ou d'angles de vue mal orientés.



Figure 4. Installation du scanner sur le ROV (SBM Installer, 21 juin 2015).

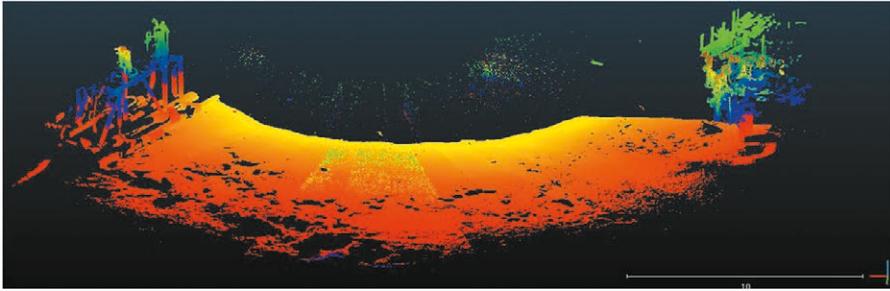


Figure 6. Jeu de données obtenu pour la station SP02 (CloudCompare) colorisé selon la bathymétrie.

scanner au moment de l'acquisition des données avec une précision de 0.04° à 1σ . Lors du traitement, il faut ainsi veiller à bien faire pivoter le nuage de points afin de "niveler" le scanner et ainsi obtenir la vraie verticale du lieu. Enfin, un modèle numérique de terrain (MNT) est réalisé pour le fond de mer afin d'obtenir le profil le long de la conduite.

Résultats et analyses

La mission a permis de constater que l'un des principaux défauts du SL1 est le champ vertical de seulement 30° . En effet, dès la première station, nous avons perdu près d'une heure et demie à positionner correctement le robot sous-marin (*Remote Operated Vehicle*, ROV), car celui-ci était, dans un premier temps, trop proche de la structure. Malgré cette perte de temps, qui aurait pu être évitée en anticipant la position du ROV, il apparaît clairement que le laser représente un gain de temps dans l'acquisition des données. En effet, la durée totale a été de 8 h contre 13 h 20 pour la métrologie inertielle. Ce gain de temps est très important puisqu'il permet tout d'abord de libérer le bateau plus rapidement et donc de le rendre disponible pour d'autres opérations plus vite. Il permet aussi de pouvoir débuter la production de pétrole plus rapidement.

Le résultat obtenu après traitement (consolidation des deux positions grâce à la méthode ICP, *Iterative Closest Point*, définition de la verticale) et qui a permis d'extraire toutes les mesures nécessaires à la métrologie (modélisation des hubs, définition des systèmes de coordonnées, création du profil) est visible sur la *Figure 7*.

Le *Tableau 1* résume les différences obtenues avec la métrologie inertielle. Ce tableau permet de constater que les résultats obtenus peuvent nettement varier d'un traitement à l'autre. En effet, par exemple, un écart maximal de 0.80° au niveau du tangage du côté du FLET est constaté entre les deux traitements différents de UTEC.

Il convient donc d'être extrêmement vigilant et rigoureux lors du traitement des données. Dans un premier temps et pour les prochaines métrologies que Total aura à réaliser, une autre méthode de mesures (acoustique ou inertielle) pourra être mise en place, en parallèle

d'une métrologie laser. Les données laser collectées pourront aussi être traitées par différentes personnes afin de pouvoir comparer les résultats obtenus. Afin d'effectuer un contrôle sur la qualité des résultats obtenus, une solution peut aussi être la consolidation des nuages de points terrestres sur les balayages sous-marins (*Figure 8*). Des cibles peuvent également être peintes sur les structures lors des contrôles dimensionnels (effectués à terre).

Bilan et perspectives

Cet essai a donc permis de confirmer que la lasergrammétrie est une technique tout à fait opérationnelle pour la réalisation de métrologies sous-marines. Par le biais de cette étude, certains points, pour lesquels la technologie laser peut encore réaliser quelques progrès, ont pu être relevés. Que ce soit au niveau des performances du système ou au niveau du traitement des données obtenues, cette technique peut donc nettement s'améliorer dans les années à venir.

Mesures	Variable	Différences avec métrologie inertielle		
		Laser Total	Laser UTEC 1*	Laser UTEC 2**
Distance Horizontale (mm)	L	39	51	34
Angle XT-Jumper ($^\circ$)	α	0,49	0,49	0,96
Angle FLET-Jumper ($^\circ$)	β	0,01	-0,56	0,06
Hub FLET Tangage ($^\circ$)	RX1	-0,26	-1,05	-0,25
Hub FLET Roulis ($^\circ$)	RY1	-0,21	0,43	-0,13
Hub XT Tangage ($^\circ$)	RX2	-0,05	-0,24	0,08
Hub XT Roulis ($^\circ$)	RY2	-0,09	0,11	-0,42
Différence de profondeur (mm)	Z	7	-24	-19
Altitude par rapport au fond de mer (mm)	Hub XT	150	165	165
	Hub FLET	70	209	-276

Tableau 1. Comparaison des résultats avec la métrologie inertielle.

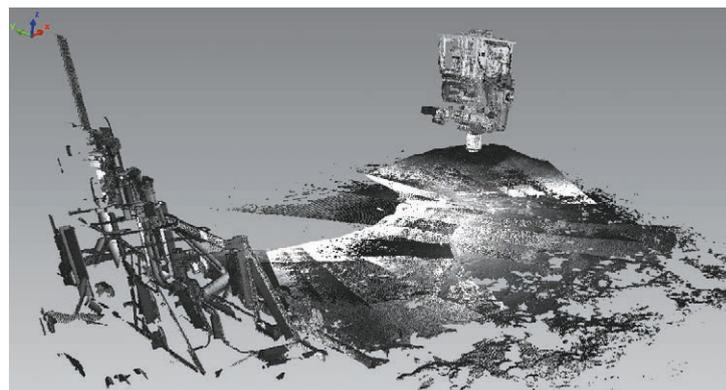


Figure 7. Vue perspective du nuage consolidé (FlowLine End Termination, FLET au premier plan, Christmas Tree, XT au second plan) (Polyworks, sans échelle).

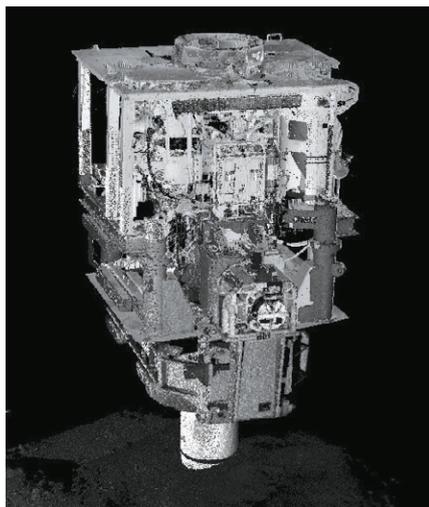


Figure 8. Consolidation du balayage terrestre avec le balayage sous-marin (Polyworks).



La lasergrammétrie sous-marine permet de plus d'obtenir les modèles en trois dimensions des différentes structures et d'avoir une cartographie complète du fond de mer. Ceci est un avantage certain puisque cela permettra à Total d'éviter de revenir effectuer des mesures dans certains cas.

Ainsi, nous pouvons comparer les débuts de la lasergrammétrie sous-marine avec ceux de la lasergrammétrie terrestre. En effet, à l'image des scanners terrestres, deux types de scanners ont pour le moment été développés, l'un reposant sur le principe de la triangulation et l'autre étant un scanner à impulsions, couvrant un champ angulaire de 30° x 30° (contre 40° x 40° à l'époque pour son semblable terrestre). Nous pouvons donc imaginer que le développement des scanners sous-marins suivra le même chemin, et que dans les années à venir, les scanners panoramiques (champ de vision de 360° dans le plan horizontal et au moins 180° dans le plan vertical) feront leur apparition. De même, à l'image des scanners terrestres, le développement sous-marin de scanners laser à différence de phase serait une nette avancée technologique et représenterait un gain de temps considérable au niveau de l'acquisition des données.

Comme prévu, le traitement des données compose la partie la plus complexe de cette technique. En effet, les choix effectués lors des traitements peuvent avoir leurs importances et une

mauvaise interprétation peut très vite influencer les résultats. Cette nouvelle technologie réclame donc énormément de vigilance et d'analyse. Les traitements devront donc être accompagnés de procédures de contrôle qualité qui permettront d'évaluer les précisions du rendu final.

Ce projet a permis d'évaluer cette technologie et de l'envisager pour les futurs appels d'offres concernant les métrologies. En effet, Total lancera prochainement un appel d'offres pour la réalisation de métrologies au Congo. Grâce à ce projet, les scanners laser sont des systèmes qui peuvent maintenant prendre la place des métrologies habituellement pratiquées, à savoir l'acoustique, l'inertielle ou le fil tendu. Actuellement, certains développements sont en cours afin d'associer le système laser avec une centrale inertielle. Ainsi, il sera possible d'effectuer des relevés laser à l'aide d'un véhicule autonome (AUV) qui pourra "survoler" la zone d'étude, tout en la scannant. Il s'agit du lidar mobile, 3D@Depth étudie actuellement un système analogue qui associerait une centrale inertielle au scanner laser. ●

Contacts

Yann MOREL
morel.yann.ym@gmail.com
Directeur de PFE : Frédéric Auger
Correcteur : Gilbert Ferhat

Bibliographie

- Auger, F. et Vickery, K. (2011). *The operational evaluation of an inertial navigation technique for the provision of underwater metrology surveys*. International Journal of the Society for Underwater Technology, 30(2):103-112. ISSN 1756-0543.
- Embry, C., Nickerson, B. et Hardy, M. (2014). *High Resolution 3D Laser Imaging for Inspection, Maintenance, Repair, and Operations*.
- Embry, C., Nickerson, B. et Hardy, M. (2015). *SL1 Subsea LiDAR Operator Guide - User Manual Version 7.4*.
- Embry, C., Nickerson, B., Hardy, M., Manning, N., Goodyear, D., Richardson, D. et Pappas, J. (2012). *SS MTS : Subsea Monitoring - «High Resolution 3D Laser Imaging for Inspection, Maintenance, Repair, and Operations»*. In Offshore Technology Conference, 30 April - 3

May, Houston, Texas, pages 1-17.

Gillham, J. (2014). *Underwater laser scanning : For subsea pipeline inspection*. Marine Technology Reporter, 57(3):42-45. ISSN 1559-7415.

Hardy, M. (2015). *3d at depth - bringing laser scanning to new depths in the subsea oil and gas market*. LiDAR News Magazine, 5(2) : 28-33.

Landes, T. et Grussenmeyer, P. (2011). *Les principes fondamentaux de la lasergrammétrie terrestre : systèmes et caractéristiques*. XYZ - Revue de l'Association Française de Topographie, 128:37-49. ISSN 0290-9057.

Landes, T., Grussenmeyer, P. et Boulaassal, H. (2011). *Les principes fondamentaux de la lasergrammétrie terrestre : acquisition, traitement des données et applications*. XYZ - Revue de l'Association Française de Topographie, 129:25-38. ISSN 0290-9057.

Matthews, D. (2014). *Development of an innovative 3d subsea laser metrology system*. Deep Offshore Technology International, pages 1-19.

McLeod, D., Jacobson, J., Hardy, M. et Embry, C. (2013). *Autonomous inspection using an underwater 3d lidar*. In Total E & P Angola, pages 1-8.

2G Robotics. <http://www.2grobotics.com/>
3D at depth. <http://www.3datdepth.com/>

ABSTRACT

KEY WORDS: Scanner Laser, Subsea, Metrology, Triangulation, Time of flight

For topographic matters, laser scanning is a very developed technology for terrestrial and aerial operations. However, it has recently been extended for subsea deployment. The purpose of this project is to study in which way subsea laser scanning can contribute to the operations of Total group. This report deals with subsea metrologies, which are usually carried out by acoustic method or using an inertial navigation system. Currently, there are two types of subsea laser scanners: triangulate and time of flight systems. To assess this technology, this report will develop a trial, which took place in June 2015. This test was performed in Angola, using a time of flight laser scanner developed by 3D@Depth. It allows Total to validate and then to consider this technology for future tenders.