

Le positionnement inertiel et ses applications terrestres, souterraines et sous-marines

■ Bernard FLACELIÈRE

Le Système de navigation inertielle (INS) est-il un concept nouveau ? Pas du tout, des INS étaient à bord des fusées de Robert Goddard et V2 de Wernher von Braun ! Pourquoi diable l'INS n'a-t-il pas été largement utilisé parmi la communauté des topographes ? Les raisons principales ont probablement été les suivantes : coût prohibitif, restrictions militaires, taille énorme, approche boîte noire et dérives difficiles à maîtriser. Depuis une vingtaine d'années les prix ont baissé, les tailles et poids se sont réduits, et l'INS a trouvé sa place quand le GNSS n'est pas opérationnel ou bien en appoint du GNSS. On peut citer les relevés sous la canopée, le positionnement sous-marin, l'inspection des conduites ou égouts, le positionnement en environnement urbain. Finalement, pour un topographe arrivant juste du XX^e siècle ce serait incroyable de voir qu'un téléphone portable est maintenant équipé d'un accéléromètre 3 axes et parfois d'un gyromètre, ainsi que d'un récepteur GPS. Cet article présente donc l'histoire du positionnement inertiel, ses utilisations et ses performances.

MOTS-CLÉS

Positionnement, navigation, inertiel, filtre de Kalman, accéléromètre, gyroscope, levés forestiers, sous-marin, métrologie, conduites, lever souterrain, lever urbain.

Introduction

À l'heure du tout GPS, on oublie que d'autres moyens de positionnement furent développés sur la base d'ingénieuses techniques. Après les mesures de bases au fil invar ou à la règle et celles d'angles horizontaux et verticaux, sont arrivées les mesures de distance par ondes électromagnétiques radio et optiques, de portées et de précisions variées. L'espace prêtant main forte au topographe, dès 1965, les positionnements relatifs entre points furent réalisés par visées ou photographies simultanées de satellites artificiels sur fond d'étoiles (1).

Le système TRANSIT ou NAVSAT, dont le premier satellite a été lancé avec succès en 1960, a été utilisé par la marine des États-Unis dès 1964. Dans les années 1970, les géodésiens et les topographes pétroliers se sont emparés de ce système et on se souvient des récepteurs JMR-1. Le positionnement TRANSIT étant ponctuel et non continu comme le GPS ou NAVSTAR, il fallait s'assurer de la connaissance de la trajectoire suivie par le mobile, soit à l'aide de la navigation à l'estime (cap et vitesse estimés), soit grâce à du **positionnement inertiel**, souvent utilisé à bord des sous-marins.

Actuellement, le GPS (ou plus généralement le GNSS) n'est pas utilisable en tout lieu. L'implantation d'une ligne d'acquisition sismique en pleine forêt équatoriale, le relevé d'un tunnel ou d'un égout, la mesure précise entre deux structures de production d'hydrocarbures par 1500 m de profondeur d'eau ne sont pas possibles par ce moyen.

Certes, les moyens topographiques conventionnels, pour les deux premières applications, ceux par mesures acoustiques pour la dernière sont actuellement utilisés. Cependant les

contraintes écologiques, la lenteur et lourdeur des mesures font que le positionnement inertiel est utilisé dans bien des cas. **Il est proposé de découvrir le système de positionnement INS, a priori peu connu des topographes, l'utilisation des observations d'accélération pour déterminer la vitesse et donc le déplacement, lui-même orienté dans l'espace grâce à des gyroscopes.**

Historique du positionnement inertiel

C'est bien connu, la guerre permet à l'humanité de progresser, l'homme cherchant à occire son prochain avec la meilleure efficacité possible. Après l'arbalète décuplant la force de l'archer, l'artillerie détruisant murailles et décimant les troupes adverses, nous arrivons au RADAR dont l'inventeur officiel est britannique (Robert Wattson-Watt, 1935, quoique précédé en 1934 par Français et Russes), puis au SHORAN (*Short Range Navigation*) développé par les alliés pour positionner leurs bombardiers au-dessus de l'Allemagne.

Mais le Troisième Reich n'est pas en reste puisque Wernher von Braun équipe ses fusées V2 d'un système de guidage qui comporte deux gyroscopes, un accéléromètre latéral et un calculateur analogique. Ceci permettait uniquement d'ajuster l'azimut en vol.

Nous connaissons la suite, von Braun se rend, avec ses collaborateurs, aux Américains et tous se retrouvent à Fort Bliss, Texas en 1945. C'est un retour aux sources puisque l'Américain Robert Goddard appliqua avec succès, en septembre 1931, le contrôle trois-axes, les gyroscopes et les poussées orientables permettant de contrôler ses fusées en vol.



Figure 1. Robert Goddard et sa fusée.

La décennie 1950 voit le développement des moyens de calcul, nécessaires aux études et programmations des algorithmes qui seront utilisés pour le positionnement inertiel (Rudolf Kalman, 1960).

En 1961, la NASA accorde un contrat au *Massachusetts Institute of Technology* pour une étude préliminaire de système inertiel de guidage et de navigation pour le projet Apollo. Ensuite, le MIT et *Delco Electronics*, division de General Motors le développèrent. Le calculateur de bord (*Apollo Guidance Computer*) fut fabriqué par Raytheon, 2048 mots de RAM et 30000 mots de ROM, 16 bits par mot, on reste songeur.

Les années 1970 voient les développements civils et surtout militaires du positionnement inertiel. Le Boeing 747, par exemple, utilise trois systèmes inertiels *Delco Carousel*. Mais c'est la guerre froide et tout ce qui touche aux applications militaires reste sensible. Chaque pays qui en a les moyens développe ses propres systèmes.

Le premier document innovant est celui de A. Stankoff (Intersub, France) et R. Tait (Ferranti, fabricant d'INS,

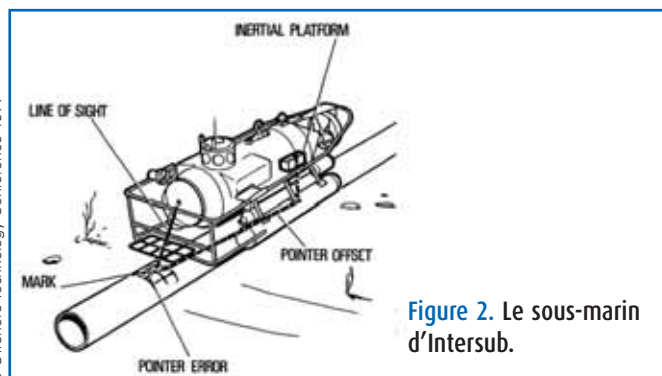


Figure 2. Le sous-marin d'Intersub.

Royaume-Uni) de 1977, *Underwater survey using an inertial navigation system* (2). Des tests à terre en véhicule puis en mer du Nord à bord d'un sous-marin montrent des écarts inférieurs à 1/1000 de la distance mesurée.

En 1977, un brevet est déposé par J. Ruddle, de Litton Systems aux Etats-Unis (3) qui porte sur la méthode de levé géodésique par INS. Le système décrit se nomme l'*Auto Surveyor*.

En 1979, avec un équipement LASS (*Litton Auto Surveyor System*) prêté par le DMA (*Defense Mapping Agency*) des tests furent menés dans la région de Ciritiba, Brésil, par le CPGCG (*Curso de Pós-Graduação em Ciências Geodésicas, Universidade Federal do Paraná, Brasil*). Ils montrent qu'avec des plates-formes stabilisées, utilisant des gyroscopes montés à la Cardan (*gimbal* en anglais) on arrivait aux précisions équivalentes à celles des récents systèmes liés (*strapdown* en anglais) (4).

Quelques définitions

- **Plates-formes stabilisées *gimbal***, les trois accéléromètres sont montés sur une plate-forme asservie à rester dans la même orientation de l'espace quels que soient les mouvements de la plate-forme, ce qui permet alors d'intégrer facilement les accélérations.
- **Systèmes liés *strapdown***, on emploie des gyromètres afin de mesurer continuellement les vitesses angulaires du boîtier et, par intégration, l'orientation des accéléromètres qui sont fixés rigidement au boîtier, ce qui donne une configuration mécanique très compacte et résistante.

Mais comparons l'encombrement du strapdown, une boîte à chaussures avec celui d'une plate-forme stabilisée, l'arrière d'un Land Rover.

Passons en 1989, l'auteur dirige le projet de fin d'études d'Alejandro Giralte de l'ENSAIS (5). Il porte sur l'inertiel et le GPS chez Elf Aquitaine et à la Compagnie générale de géophysique. L'INS à plates-forme stabilisée étudié, GEODINE 30 / ULISS 30, est développé par CGG et par la SAGEM (France) sur la base de leur SIGMA 30. Ce système n'a guère été utilisé ultérieurement par CGG en positionnement géophysique. Pourtant au dernier défilé du 14 juillet, le badaud a pu admirer sur les Champs Elysées deux camions répondant au doux nom de ACMAT TPK 4.36-SH - station topographique du 28^e groupe géographique. Ils sont équipés de SIGMA 30.

En cette même année 1989, le thème du 16^e colloque de l'AFT est la Topométrie souterraine. Un article porte sur un INS Ferranti FILS II appartenant à l'IGN belge. Le système date de 1980 et n'affiche que le décimètre. Les écarts sur points connus sont décimétriques en planimétrie, demi-métriques en altitude (6).

La fin de la guerre froide après 1990 ouvre pleinement aux civils les utilisations et développements inertiels. Les fabricants sont Litton / Northrop / Grumman, Honeywell, Kearfott, aux Etats-Unis. En France on trouve Sagem, Thales, iXSea, et à l'époque Sextant, la malheureuse société qui a fabriqué l'INS de Ariane 5, explosée en vol le 4 juin 1996. Au Royaume-Uni, Ferranti n'existe plus, victime d'une banqueroute en 1993. La Russie, Israël développent leurs propres systèmes.

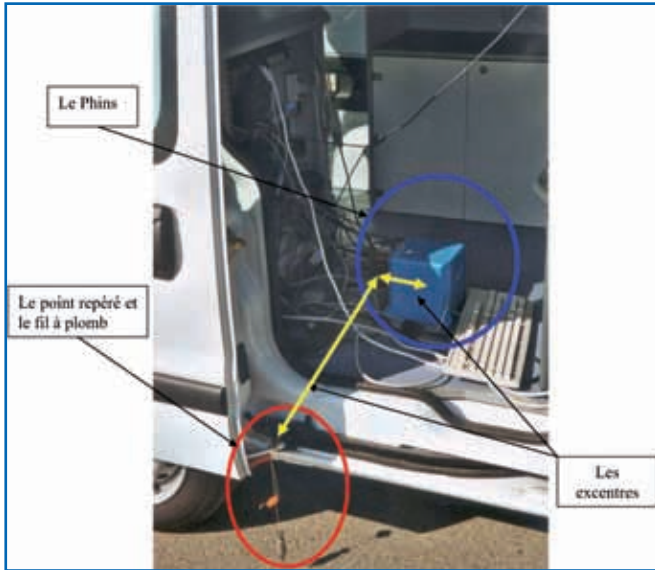


Figure 3. Les tests chez Ixsea.

En 2002, de nouveau l'auteur dirige un projet de fin d'études, celui de Philippe Maute de l'ENSAIS (7). Avec l'arrivée des systèmes *strapdown* il est nécessaire de remettre à plat nos connaissances. Les gyromètres à fibre optique ont révolutionné le marché depuis longtemps, les prix baissent, les encombrements diminuent. Des tests terrestres en véhicule automobile, chez Ixsea, montreront que la mesure INS est faussée par la prise en compte de l'odomètre du véhicule, trop imprécis.

La suite montre que l'INS se développe, tout particulièrement lorsque ses dérives peuvent être contrées par une hybridation plus ou moins poussée avec des mesures extérieures (GPS, acoustiques ou autres), mais par peur de la nouveauté, n'est quelquefois pas employé autant qu'il le pourrait, surtout dans le domaine sous-marin où des méthodes éprouvées mais lourdes existent.

L'auteur ensuite participe à des tests pour Total Angola, en piscine à La Seyne en juillet 2006, où Ixsea, CDL et Kearfott s'affrontent. La conclusion tombe : des améliorations sont nécessaires.

Mais des tests de métrologie sous-marine, comparatifs avec des méthodes acoustiques ont bientôt lieu, par grande profondeur, avec Zupt au Congo en 2008 et avec Ipoz en Australie début 2010. Concluants, ces tests inaugurent une nouvelle ère pour l'INS sous-marin.

Toutefois les autres applications n'ont pas attendu : ainsi XYZ montre que les relevés laser urbains mobiles utilisent l'INS hybridé avec le GPS, chacun complétant l'autre (8), les mesures dans les conduites et oléoducs, les travaux dans les sous-bois sont devenus classiques, notamment en Amérique du Nord.

Le principe technique

Il s'agira là d'explications élémentaires.

L'INS donne la position, la vitesse et l'attitude d'un mobile en mesurant les accélérations et en les intégrant deux fois dans un référentiel à déterminer. Celui-ci peut être fixe (plates-

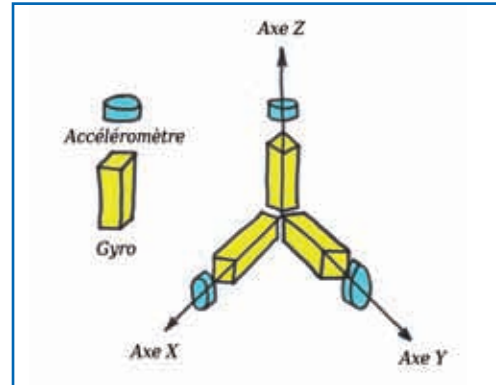


Figure 4. Composition de l'INS.

formes stabilisées) ou non, et dans ce dernier cas on recalcule continuellement l'orientation de ce référentiel en intégrant une fois les mesures des gyromètres qui fournissent uniquement des vitesses angulaires.

L'INS est donc composé d'une unité de mesure inertielle (IMU ou *Inertial Measurement Unit*) et d'un calculateur équipé d'un filtre de Kalman.

L'IMU se compose de trois accéléromètres et de trois gyroscopes (plate-forme stabilisée) ou de trois gyromètres (centrale inertielle à composants liés). On conçoit aisément combien les biais dans les mesures élémentaires d'accélération sont critiques puisque, intégrés deux fois, ils donnent des erreurs qui croissent paraboliquement (avec le carré du temps). Toute la performance des centrales inertielles repose donc sur l'efficacité de la neutralisation de ces biais, et de leur recalcul en continu.

Le filtre de Kalman est un algorithme estimateur récursif qui traite les données externes et en fonction de la connaissance de leur dynamique, génère la meilleure position estimée. Le calculateur doit aussi gérer les phases d'alignement et de calage à vitesse nulle (*Zero velocity Update method ou ZUPT*). Aussi, dans le cas de cheminement long, le calculateur doit recalculer et corriger la direction du nord et de la verticale qui varient, pour un référentiel fixe dans l'espace, suivant la courbure de la terre (oscillation parasite de Schuler).

Les gyromètres permettent la détermination de l'attitude du mobile en termes de cap, de roulis et de tangage. Deux technologies de gyromètres sont utilisées : le gyromètre laser

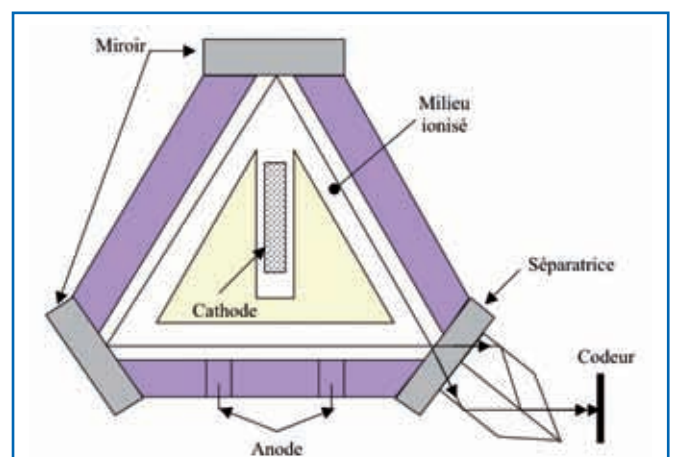


Figure 5. Gyromètre laser en anneau (RLG Ring Laser Gyro).

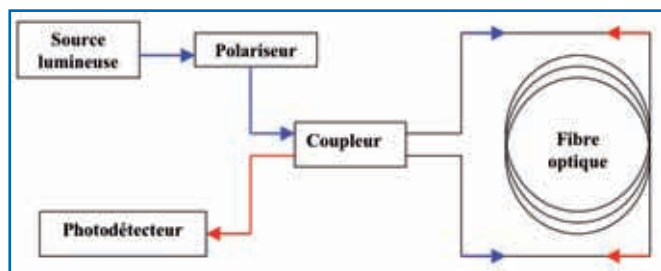


Figure 6. Gyromètre à fibre optique (FOG Fiber Optic Gyro).

(Ring Laser Gyro ou RLG, très précis et coûteux) et le gyromètre à fibre optique (*Fiber Optic Gyro* ou FOG, dont certaines réalisations très peu coûteuses ont ouvert l'INS aux applications grand public).

Les deux systèmes utilisent l'effet Sagnac (Georges Sagnac, 1913), soit la différence d'arrivée de la lumière qui suit un même parcours en deux sens contraires, dans un objet en rotation.

Une phase d'initialisation ou d'alignement est nécessaire et peut durer jusqu'à une heure suivant la méthode et les aides extérieures utilisées. Elle consiste à la détermination du nord et de la verticale, afin de limiter les erreurs systématiques des accéléromètres et des gyromètres. Lorsque la dérive des composants est contrôlée par la méthode du calage à vitesse nulle (ZUPT), toutes les quelques minutes l'INS est arrêté et cette observation supplémentaire (vitesse nulle) est prise en compte par le filtre de Kalman.

La procédure usuelle, avant que l'hybridation avec le GPS n'ait été industrialisée ou lorsque le GPS ne peut être employé, repose sur la mesure d'un vecteur entre le point de départ et le point d'arrivée, éventuellement couplée de ZUPT. Impérativement, la mesure retour est ensuite effectuée et la fermeture (écart de coordonnées mesurées par rapport à celles théoriques) analysée et le cheminement ajusté. Il s'agit là de limiter les effets dus à la dérive des composants. En outre, la mesure de ce vecteur est répétée, la dispersion des mesures analysée et la valeur la plus probable validée. Cette méthode INS pure est utilisée pour la métrologie sous-marine, quand les vecteurs à mesurer sont courts. Cela permet d'alléger la mise en œuvre par réduction de l'équipement embarqué (voir tests de métrologie ci-dessous).

L'auteur préconise que l'entrepreneur de positionnement établisse et propose une procédure de contrôle de son équipement avant travaux, par exemple la mesure d'une courte ligne de base de 50 m, pouvant mettre en évidence des dysfonctionnements occasionnés par des chocs pendant le transport, par des mauvaises manipulations ou par des problèmes de logiciel.

Pour les longues durées d'observation, les hybridations de positionnement sont devenues essentielles, en sous-marin, profondimètre, capteurs de vitesse par effet Doppler sur le sol (DVL), distance acoustique additionnelle depuis une balise connue en coordonnées, dans les tuyaux et conduites, distance curviligne, et recalage périodique, en terrestre, le GPS même intermittent. Le problème très délicat à résoudre est l'intégration correcte (pondération) dans le filtre de Kalman, et des solutions réellement opérationnelles en termes industriels n'ont guère été disponibles avant le début de ce siècle.



Figure 7. GIPSI sac à dos inertiel

Applications en positionnement

■ Terrestre

Le domaine rêvé pour le positionnement inertiel est la forêt. Le GNSS passe mal, quoique la sensibilité à la réception des signaux se soit améliorée dans les récepteurs modernes. L'implantation et le levé d'une ligne sismique par des moyens topographiques classiques nécessitent débroussaillage et layonnage, de plus en plus restreints par les règlements de protection de l'environnement. L'INS sera donc utilisé, se calant sur des points géodésiques établis dans les clairières ou le long des pistes. La panoplie des méthodes conventionnelles, répétition des vecteurs, boucles fermées, réseaux, points nodaux assurera le contrôle qualité par la redondance des observations. Les ZUPT seront aisés sur la terre ferme, mais nécessiteront des supports rigides pré-établis en terrain marécageux (plates-formes temporaires). En zone urbaine dense, l'INS est utilisé comme aide, en hybridation avec du positionnement GNSS. Les pertes totales ou la diminution des signaux spatiaux sont compensées par la navigation inertielle et les dérives de la navigation inertielle sont calées en continu par ces mêmes signaux (8).

■ Sous-marin

Parmi les diverses utilisations sous-marines, on détaillera la métrologie. La métrologie sous-marine touche les activités pétrolières.

Deux structures de forage et de production sont installées au fond de la mer avec une tolérance de quelques mètres (5 m) autour de leur cible. Leurs positions après pose (*as laid*) sont

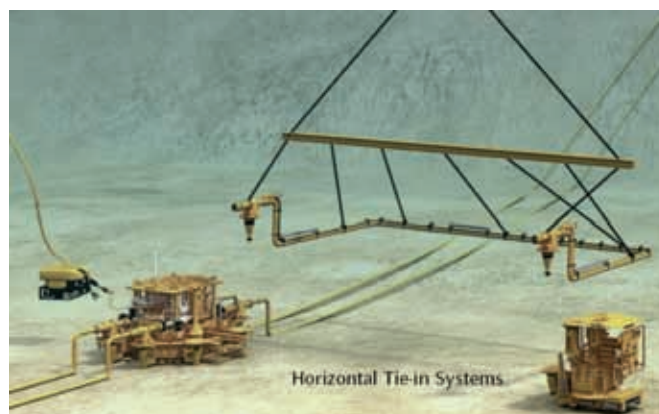


Figure 8. Pourquoi la métrologie sous-marine.



Figure 9. Gipsea 3000 lors d'une métrologie en Australie.

ensuite déterminées dans le référentiel géodésique du chantier avec une précision sub-métrique par des moyens acoustiques. Ces structures étant espacées de 25 m à 100 m et plus, il s'agit de mesurer avec une précision décimétrique le vecteur 3D entre deux points particuliers des deux structures ainsi que leur différence d'attitude (cap, roulis, tangage). Ainsi on pourra, à l'aide de ces opérations de métrologie, faire fabriquer sur mesure à terre les conduites qui s'adapteront sans contraintes entre les deux structures. Également le profil de terrain le long de la conduite sera relevé. Un ROV (*Remote Operated Vehicle*) sera utilisé.

■ Dans les conduites, égouts et tunnels

Les oléoducs ou gazoducs (*pipelines*) sont nettoyés (paraffine et dépôts) et inspectés (mesures de corrosion) à l'aide de racleurs appelés *pigs* en anglais. Ces racleurs sont poussés par la pression du fluide et parcourent la conduite. Equipés d'un INS la trajectoire et donc les points de mesures sont connus après retraitement des données acquises. L'INS est calé au démarrage, et à l'arrivée mais des points de calage x, y, z, tous les un à deux km au-dessus de la conduite qui est généralement enterrée, sont équipés d'émetteurs qui



Figure 10. Introduction du racleur dans le pipeline.



Figure 11. Topographe en inspection de conduite, avec GIPSI.

sont reçus par l'INS au passage. C'est le système AGM (*Above Ground Marker*) un brevet de Ziwen W. Liu (9), Varco I/P Inc. maintenant à Ipoz.

Dans les égouts et tunnels il est parfois possible de circuler avec un chariot équipé de l'INS, et des autres modules de contrôle comme un profilomètre laser. Les points de calage de l'INS seront cette fois-ci des points topographiques descendus des bouches d'égout ou des regards.

Tests en laboratoire, simulation d'une métrologie

Des tests ont été effectués par l'auteur à Katy (Houston), Texas, chez Ipoz en juillet 2010, d'autres tests avec différents équipements, Kearfott, Honeywell, ont été menés les mois qui précèdent. Il s'agit de tests en INS sans hybridation, pas de GPS ni d'odomètre.

Trois points équipés d'un réceptacle matérialisent des lignes de base de 31, 116 et 123 m. Les coordonnées sont issues d'un relevé GPS géodésique. Sur une base de 123 m, l'opérateur se livre à la procédure d'alignement sur l'origine de la base puis parcourt des allers-retours s'arrêtant sur l'autre extrémité de cette base, la cible. Des séries de six à huit allers-retours sont ainsi effectués, dont l'ensemble constitue un test.

Les fermetures brutes en trois dimensions sur le point d'origine sont de 0.2 à 0.9 m, la composante verticale étant la plus importante. Une fois cette fermeture répartie et le point cible calculé, la dispersion est analysée comme suit, C-O étant la

Unités en mm	Nombre de séries	Distance horizontale	Distance latérale	Dénivelée
Test 1, C-O	6	+10	+55	-143
Test 1, écart-type		33	67	81
Test 2, C-O	8	-96	-88	-342
Test 2, écart-type		84	57	14
Test 3, C-O	6	+34	+6	-114
Test 3, écart-type		95	32	78
Test 4, C-O	8	+21	-36	+232
Test 4, écart-type		53	35	118



Figure 12. Test d'un Gipsea 3000 sur ligne de base de 123 m, photo de l'auteur.

valeur théorique "C" (calculée par ailleurs grâce aux coordonnées GPS) moins la valeur observée "O". L'écart-type est celui de la moyenne des séries.

Conclusion : Les écarts en planimétrie sont meilleurs que le $1/1000^{\circ}$ de la distance horizontale (soit 123 mm) et conformes avec les écarts-types calculés. Les écarts en altimétrie sont plus importants, de l'ordre du $1/500^{\circ}$ de la distance, ils sont probablement dus au mouvement rapide vertical suivi d'un choc quand le module inertiel pénètre le réceptacle. C'est ce qui conduit Ipoz à étudier l'hybridation avec un profondimètre (*depth sensor digiquartz* ou équivalent). L'auteur a obtenu des données d'un autre essai sur la base courte de 30 m, dont voici les résultats :

Unités en mm	Nombre de séries	Distance horizontale	Distance latérale	Dénivelée
Test 1, C-O	6	-8	-36	-54
Test 1, écart-type		8	25	25

On note une réduction des C-O et des écarts-types, la composante altimétrique restant moins précise.

Tests de métrologie sous-marine

Ipoz a conduit des tests au large de la côte nord occidentale de l'Australie sur le champ Pluto LNG de Woodside Burrup Pty Ltd. Il s'agissait de mesurer par INS un vecteur de 135 m déjà connu grâce à un réseau acoustique. Aucune hybridation n'est utilisée (ni DVL, ni profondimètre), c'est de la pure INS. Aucun ZUPT n'a été effectué en cours de route, mais seulement sur les extrémités de la base. De ce fait, six séries de mesures ont été éliminées car suite à la lenteur des pilotes de ROV, le temps de navigation était devenu trop important.



Figure 13. Vue artistique d'une métrologie sous-marine.

La moyenne des sept séries restantes de mesures donne une distance horizontale de 135.230 m, tandis que la distance issue du réseau acoustique est de 135.207 m. Une différence en élévation de 0.266 m confirme le problème altimétrique.

Opérateurs en systèmes inertiels

Les fabricants : aux Etats-Unis, on trouve Litton / Northrop / Grumman, Honeywell et Kearfott. En France, Sagem, Thales et Ixsea.

Sociétés intégratrices, développant des produits depuis les équipements des fabricants : Applanix (Compagnie Trimble, Canada), CDL (Royaume-Uni), Teledyne+TSS (Royaume-Uni), Coda Octopus (Etats-Unis).

Sociétés de positionnement, utilisent les produits des fabricants.

Positionnement terrestre : Zupt et Ipoz, les deux au Texas, Etats-Unis.

Positionnement sous-marin avec Kongsberg, Sonardyne, Zupt et Ipoz.

Métrologie sous-marine avec Ipoz, Zupt, CDL (ce dernier utilise concurremment l'acoustique et la mesure de vitesse par senseur Doppler).

Mesures dans les conduites et oléoducs, Ipoz, BJ Services / Baker Hughes.

Conclusion

Le positionnement inertiel a souffert de sa mise en quarantaine, liée à son utilisation stratégique (espace, militaire) et son coût prohibitif. Mais depuis une vingtaine d'années, il est devenu un système de positionnement comme un autre, avec des coûts à la baisse. On notera cependant que les modules de positionnement inertiel fabriqués aux Etats-Unis sont toujours sujets à un contrôle à l'exportation. Si cette autorisation obligatoire est aisément obtenue pour des pays dits amis (au sens de la politique extérieure américaine), cela reste durablement un problème pour les autres, dans lesquels le topographe doit aussi aller travailler.

Le topographe n'aime pas les boîtes noires et préfère avoir accès aux données brutes. C'est une des objections



à l'utilisation de l'INS. Mais qui recalcule un vecteur DGPS ou un point isolé GPS à la main ? Simplement, le topographe doit revenir aux sources du métier : ne jamais croire ce qu'indique un appareil de mesure sans l'avoir étalonné et vérifié, prévoir des protocoles statistiques pour s'assurer de la justesse et de la précision des mesures, raisonner en termes de réseau en trois dimensions, plutôt qu'en termes de vecteur isolé, pour assurer une redondance dans les calculs et donc une validation des résultats.

Grâce à ceci, le positionnement inertiel deviendra pour le topographe un outil de mesure comme un autre. D'autant plus que certains développements actuels, peu ou pas abordés ici, les MEMS (10), leurs applications grand public (iPhone), les INS utilisés en levés aéroportés et avec les caméras et laser scanner mobiles nous promettent de prochaines et intéressantes actualités techniques. ●

Contact

Bernard FLACELIÈRE

Ingénieur géomètre topographe ENSAIS
ex TOTAL SA, Responsable topographie, géodésie, positionnement,
eGeoPos, auto-entrepreneur,
bernard.flaceliere@egeopos.net

Remerciements

L'auteur remercie Michel Kasser pour son attentive relecture et ses judicieuses corrections.

Glossaire

AGM *Above Ground Marker* Balise au-dessus du sol (recalage en xyz)
CGG Compagnie Générale de Géophysique
DGPS *Differential GPS* GPS différentiel
DVL *Doppler Velocity Log* Capteur de vitesse par effet Doppler
ENSAIS Ecole Nationale Supérieure des Arts et Industrie de Strasbourg (actuelle INSA)
FOG *Fiber Optic Gyroscope* Gyroscope à fibre optique
GNSS *Global Navigation Satellite System* Système mondial de navigation par satellite
GPS *Global Positioning System* Système de positionnement mondial
INS *Inertial Navigation System* Système de navigation inertiel
MEMS *Micro Electro Mechanical System* Micro système électro-mécanique
NAVSAT *Navy Navigation Satellite System* Système de navigation satellite pour la marine
NAVSTAR *Navigation Satellite Timing & Ranging* Satellite de navigation, par mesure de temps et de distance
RLG *Ring Laser Gyroscope* Gyroscope à laser en anneau
ROV *Remote Operated Vehicle* Sous-marin de travail télécommandé
ZUPT *Zero velocity Update* Calage à vitesse nulle

Références

- (1) Naissance de la géodésie spatiale en France, KOVALEVSKY, J., L'Essor des Recherches Spatiales en France : Première rencontre de l'I. F. H. E. "Des premières expériences scientifiques aux premiers satellites". Conference held October 24-25, 2000, in Paris. Edited by Brigitte Schürmann. European Space Agency, ESA SP-472, 2001. ISBN: 92-9092-729-1
- (2) *Underwater survey using an inertial navigation system*, Alain STANKOFF, Intersub Développement and R.A.R. TAIT, Ferranti Ltd. Presented at the 9th annual OTC in Houston, Texas, May 2-5, 1977.
- (3) James R. HUDDLE, Litton Systems, Inc. United States Patent, 4,060,718 Nov.29, 1977. GEODETIC SURVEY METHOD.
- (4) *Research on Inertial Surveying System Instrumentation for Geodetic Applications in Brazil* Silvio Rogério Correia de Freitas and Sandro Reginato Soares de Lima Post-Graduation Course in Geodetic Science, Federal University of Paraná, Brazil.
- (5) Alejandro GIRALT. *Le positionnement GPS et le positionnement inertiel appliqués à la géophysique pétrolière*. ENSAIS, Octobre 1989.
- (6) VAN DER HERREWEGEN M. - VANCRAENENBROECK J. CERN. *Utilisation d'un système inertiel pour la topographie souterraine*. XYZ N° 40, Juillet 1989.
- (7) Philippe MAUTE. *Le positionnement inertiel appliqué aux activités pétrolières de TOTALFINAELF*. ENSAIS, Juin 2002.
- (8) François GOULETTE. *Relevés laser urbains par Système Mobiles de Cartographie*. XYZ N° 119, 2^e trimestre 2009.
- (9) LIU et al. Varco I/P, Inc. United States Patent, 6,816,110 B1 Nov.9, 2004. PRECISION POSITIONING AGM SYSTEM.
- (10) Adrian WAegli - Jean-Marie BONNAZ - Jan SKALoud. *L'analyse de performance sportive à l'aide d'un système GPS/INS low-cost : évaluation de capteur inertiel de type MEMS*. XYZ N° 113, 4^e trimestre 2007.

ABSTRACT

Positioning, Navigation, Inertial, Kalman filter, Accelerometer, Gyroscope, Under canopy survey, Under water, Metrology, Pipelines, Underground, Urban.

Is Inertial Navigation System (INS) a new concept ? Not at all since INS were on board rockets and V2 launched by Robert Goddard and Wernher von Braun ! Why the hell INS was not widely used within the surveying community ? The main reasons probably were the following : prohibitive cost, military restrictions, oversized format, black box approach and drifts difficult to control. Since a couple of decades prices dropped down, sizes and weights reduced, so INS is used where GNSS will not fully be functional, or in conjunction with GNSS. We can state surveying under canopy, positioning underwater, inspection inside pipelines or sewers, positioning within urban canyon. It finally should be unbelievable for a surveyor just arriving from the 20th century, that a mobile phone is now equipped with an accelerometer and sometimes a 3 axis gyrometer, together with a GPS receiver. This paper will be summarizing inertial positioning, its history, its present use as well as its performances.