

Les systèmes géodésiques de référence dans l'exploration pétrolière

■ Bruno RAVANAS

Les activités de recherche et de production d'hydrocarbures font appel à un grand nombre de métiers au sein d'une compagnie pétrolière, parmi lesquels la topographie et la géodésie ne sont pas absentes. Les travaux de géodésie et topographie sont généralement sous-traités à des sociétés de services spécialisées, et l'auteur de cet article est en charge d'expertises géodésiques au sein de la "Direction Générale Exploration Production" du groupe TotalFinaElf. La localisation des études géophysiques et des travaux sur le terrain doit s'appuyer sur les réseaux géodésiques disponibles dans les divers pays du monde, lesquels peuvent être multiples dans une même région avec des précisions variables. Les problèmes de transformation de coordonnées entre référentiels géodésiques sont devenus majeurs avec l'utilisation des techniques de positionnement par satellites, d'abord avec le système TRANSIT utilisé dès les années 70, puis avec le GPS que les pétroliers utilisent depuis une quinzaine d'années. Cet article fait part de la constitution d'une base de données géodésiques mondiale par une collaboration des services topographiques des principaux pétroliers européens, laquelle peut être utilisée gratuitement par toute entreprise privée ou tout particulier intéressé.

■ MOTS CLES

Géodésie, Système d'information géographique, Exploration pétrolière, Positionnement satellite

Quel rapport y a-t-il entre la géodésie et le pétrole ?

Les travaux d'exploration pétrolière et de développement de champs de production font appel à des études géologiques, géophysiques, géotechniques à terre ou en mer, des travaux de forage et de génie civil, ainsi que des travaux d'implantation des infrastructures : plates-formes de production marines ou terrestres, pipelines etc... Tous ces travaux doivent être localisés et cartographiés de façon cohérente dans le temps, en s'appuyant dès le début de la chaîne sur des réseaux géodésiques homogènes et de précision bien identifiée.

Les pétroliers n'ont pas pour mission de se substituer aux services géographiques nationaux pour mettre en place ces réseaux ; ce n'est pas leur

métier et les services compétents nationaux des pays dans lesquels ils travaillent ont normalement pour mission de mettre à disposition l'infrastructure géodésique nécessaire. Cependant, il arrive souvent que les pétroliers prennent l'initiative de la constitution de réseaux géodésiques locaux dans les régions du monde qui en sont dépourvues, où dans lesquels la triangulation est trop ancienne, avec un grand nombre de bornes détruites. Pour cela, les pétroliers s'appuient si possible sur les compétences disponibles des services géographiques des pays explorés, ou bien sur des prestataires de service en géodésie capables de mobiliser des équipes très rapidement à l'étranger, comme c'est le cas en France avec la Compagnie Générale de Géophysique (CGG) ou la société GEOÏD du groupe FUGRO.

Même lorsqu'un réseau géodésique national ou local existe déjà, l'opérateur pétrolier doit souvent faire exécuter, dès l'attribution d'un permis d'exploration par un état, des travaux de géodésie complémentaire pour tester la précision de l'infrastructure existante en planimétrie et altimétrie, et densifier cette infrastructure pour ses propres besoins.

Si les réseaux locaux de triangulation et de nivellement mis en place sur l'initiative des pétroliers n'ont pas toujours la même qualité que ceux établis par les services géographiques nationaux durant ces cinquante dernières années, l'activité pétrolière a parfois été le moteur de la mise en place de réseaux d'envergure nationale, comme le système "Nord Sahara 1959" établi par l'IGN en Algérie.



Topographie pétrolière au Sahara en 1960

On peut également citer le réseau de triangulation établi à partir de 1930 par les Britanniques, qui a donné naissance au "NAHRWAN Datum" ; ce réseau couvre l'ensemble du golfe persique et a son point origine sur la base irakienne de NAHRWAN, près de Bagdad ; il a été réajusté à diverses époques suivant les pays, et a ainsi donné naissance à plusieurs "Datums" locaux qui ont des dates spécifiques.

La réalisation de ces travaux peut également être le fruit d'une collaboration très étroite entre les pétroliers et les services nationaux ; ce fut le cas entre ELF, le Service Hydrographique de la Marine (SHOM) et l'IGN lors de la campagne tellurométrique effectuée dans les années 60 le long des côtes du Gabon et du Congo ; ce réseau s'appuie sur des points astronomiques de l'IGN, avec son origine à "Pointe Noire" observée en 1948.

Dans certains pays de la CEI, les données géodésiques et les cartes aux grandes échelles restent encore du domaine du secret militaire ; il n'est pas toujours possible aux pétroliers de s'ap-

puyer sur l'infrastructure existante, malgré les droits d'exploration attribués par ces états ; les pétroliers doivent alors refaire eux-mêmes les travaux géodésiques et cartographiques détaillés.

Toute personne sait à la sortie de l'école ce qu'est un système de coordonnées...

Le monde de l'exploration pétrolière regroupant une multitude de métiers bien éloignés de la topographie, il faut sans cesse combattre l'idée fautive, largement répandue chez les géologues, géophysiciens, foreurs, constructeurs, producteurs d'hydrocarbures et un grand nombre de fournisseurs de documents cartographiques, idée selon laquelle "les coordonnées géographiques (Longitude, Latitude) sont universelles, et les coordonnées rectangulaires (X, Y) sont propres à chaque région" ; c'est l'un des combats permanents du service topographique et cartographique de la direction "Géosciences" du groupe TotalFinaElf (TFE)

Dans certains pays de la CEI, les données géodésiques et les cartes aux grandes échelles restent encore du domaine du secret militaire ; il n'est pas toujours possible aux pétroliers de s'appuyer sur l'infrastructure existante, malgré les droits d'exploration attribués par ces états ; les pétroliers doivent alors refaire eux-mêmes les travaux géodésiques et cartographiques détaillés.

Les marins en font d'ailleurs tous les jours l'expérience en constatant que les coordonnées géographiques obtenues avec leur récepteur GPS ne correspondent pas avec les coordonnées de leurs cartes détaillées des chenaux d'accès, lesquelles n'ont généralement pas encore été ré-éditées dans le système géodésique mondial WGS-84 (World Geodetic System 1984) attaché au système de localisation par satellites GPS.

En dehors de ses activités principales de maître d'ouvrage des travaux de géodésie, de topographie, d'hydrographie et de localisation marine, le service TopoCarto de TFE a pour mission de qualifier la précision relative des coordonnées chargées dans les diverses bases de données propres aux études de sol et à tous les travaux "géoréférencés". Les nouveaux logiciels d'interprétation géophysique utilisent maintenant des bases de données dans lesquelles toutes les coordonnées planimétriques locales sont converties dans le système de référence mondial WGS-84 (ITRFxx pour les connaisseurs...) Ce référentiel mondial est généralement adopté pour les études régionales à cheval sur plusieurs pays ou plusieurs régions, lesquelles ont été initialement cartographiées dans des géodésies différentes.

A la jonction entre des régions ayant des géodésies locales différentes, il est alors nécessaire d'évaluer également la précision absolue des coordonnées planimétriques stockées en base de données dans le datum WGS-84. Les Systèmes d'Information Géographique ■■■



mission géodésique pour TOTALFINAELF-RUSSIE dans le cercle arctique en 2001

■ ■ ■ (SIG) utilisés dans l'amont pétrolier doivent permettre des conversions de coordonnées rectangulaires ou géographiques exprimées dans des systèmes de référence différents, et une évolution est actuellement en cours chez les grands producteurs de SIG à vocation plus générale pour répondre à ces mêmes besoins chez d'autres utilisateurs.

Quant à l'altimétrie et à la définition des diverses surfaces de références utilisées dans les études géophysiques, bathymétriques, ou dans les mesures de profondeur de forages, ce sujet mériterait un développement trop long qui sort du cadre de cet article ; Il ne sera donc pratiquement pas abordé dans ce papier.

Le lecteur de XYZ que vous êtes a probablement des notions de base en géodésie, a peut être consulté l'histoire des 300 ans géodésie française écrite par J.J. Levallois dans son remarquable ouvrage intitulé : "Mesurer la Terre", lequel a été publié sous l'impulsion de l'AFT en 1988. Dans ce cas, il a connaissance des grands travaux exécutés par les géodésiens français, depuis la Méridienne de Picard en 1669 -1671 jusqu'à l'établissement du RGF93 par l'IGN à la fin du 20^e siècle ; il n'ignore pas les triangulations des générations de Cassini, les épopées héroïques au Pérou et en Laponie au 18^e siècle pour démontrer l'aplatissement de la terre, la Méridienne de Delambre et Méchain pour définir le système métrique, la triangulation des Ingénieurs Géographes établie pour la carte "d'Etat Major", puis la constitution de la NTF et des réseaux de nivellement Lallemand et IGN-69 établis par le SGA et l'IGN au cours du siècle dernier.



Topographes en action pour ELF GABON en 1992

Cependant, malgré ces connaissances pour les initiés, il est nécessaire de rappeler et de préciser pour les autres que, à tout jeu de coordonnées géographiques ou rectangulaires d'un point à la surface de la terre est attaché un ensemble de références géodésiques, à savoir :

1 - Un système géodésique de référence (dit Datum ou Référentiel), qui correspondait, avant la constitution des référentiels mondiaux, à l'origine (point fondamental) où sont fixées les coordonnées géographiques observées par l'astronomie ; ce point est par définition le seul lieu où la direction de la verticale est confondue avec la normale à l'ellipsoïde sélectionné. Ce point est par exemple la croix du Panthéon pour la NTF française, Potsdam pour le Datum européen ED-50 et l'observatoire de PULKOVO près de Saint Petersburg pour le datum

PULKOVO 1942 (triangulation couvrant la Russie et l'ensemble de l'ex-URSS).

Par extension, un Datum est un ensemble de points géodésiques appartenant à un réseau homogène. La position d'un point peut donc être exprimée par divers jeux de coordonnées géographiques (Lat., Long.), dont les valeurs précises en degrés peuvent diverger jusqu'à une minute, c'est-à-dire de plus d'un kilomètre en coordonnées rectangulaires, en fonction du Datum auquel elles se rapportent. L'exploration pétrolière utilise environ 300 Datums de couverture nationale ou régionale, et de nombreux référentiels locaux non officiels qui reposent sur une origine définie par un point astronomique "expédié". Chaque fois que des travaux d'exploration ont été exécutés sans rattachement à un référentiel officiel (pour des causes variées...) un

En 1978, le lancement du premier satellite GPS ouvre une ère nouvelle dans le domaine de la radiolocalisation ; les pétroliers s'investissent alors dès le début des années 80 dans l'utilisation de ce nouveau système promis à un brillant avenir. Le GPS est largement utilisé pour tous les travaux d'exploration bien avant sa déclaration de mise en service officielle initiale par le Département de la Défense américaine (DOD) en 1993, puis sa mise en service complète avec 24 satellites en 1995. Il faut alors "jongler" avec un nouveau système géodésique mondial, le WGS-84, qui est associé au système GPS ; le WGS-84 a été également utilisé par les satellites TRANSIT à partir de 1989.

Exemples de différents systèmes de référence sur un même champ pétrolier

- **BONGKOT (Thaïlande)**
datums: INDIAN 1954 - WGS 72 - INDIAN 1975 (SALA PIER) - WGS84
INDIAN 1975 (RTSD 181) - ITRF
- **TIERRA DEL FUEGO (Argentine)**
datums: HITO 18 - INCHAUSPE - PUNTA QUILLA - TAPI AIKE - WGS 72 - WGS 84 - ITRF
- **NEUQUEN (Argentine)**
datums: CHOS MALAL 1914 - INCHAUSPE 1969 - WGS 72 - WGS 84 ITRF
- **NORTH FIELD (Qatar) et SOUTH PARS (Iran)**
datums: NAHRWAN QATAR – Q.N.G. - Final Datum 1958 - ED 50 et 77 WGS 72 - WGS 84 - ITRF
- **SIRRI (Iran)**
datums: NAHRWAN (FATEH) - SOFIRAN 1966 - ED 50 et 77 - WGS 84

Datum local a été créé par le topographe de chantier.

2 - Un ellipsoïde, qui est une surface mathématique sur laquelle sont effectués les calculs des coordonnées géographiques à partir du point fondamental. Un Datum fait généralement référence à un ellipsoïde. Plusieurs Datums d'un même pays peuvent utiliser le même ellipsoïde ; c'est souvent le cas en Amérique du Sud où un grand nombre de datums utilisent le même ellipsoïde International 1924 défini par HAYFORD en 1909. Il existe une quarantaine d'ellipsoïdes utilisés dans le monde, dont 8 définitions différentes de l'ellipsoïde de CLARKE, et 5 versions différentes du "CLARKE-1880" qui sont utilisées dans les divers pays.

3 - Un système de projection, qui est une transformation mathématique permettant de convertir des coordonnées géographiques sur un ellipsoïde donné en coordonnées rectangulaires sur un plan. Il existe une dizaine de grands types de projection, et une grande variété à l'intérieur des types. On trouve dans l'exploration pétrolière une multitude de systèmes de projection, les paramètres utilisés pour chacun des types ayant souvent été sélectionnés sur une étude particulière par le topographe de chantier pour des raisons particulières : système national non adapté aux besoins ou à l'échelle

d'une étude locale, méconnaissance ou inexistence d'un système officiel dans la région, confidentialité des coordonnées, etc...

4 - Une définition d'un système altimétrique avec son point fondamental, et le type d'altitude utilisé : orthométrique ou normale.

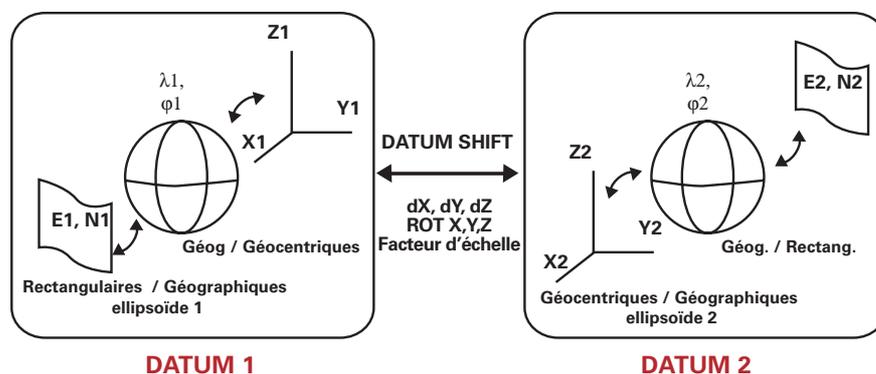
A l'exception des pays de l'ex-URSS où les paramètres des systèmes de projection utilisés aux grandes échelles font souvent parti du secret militaire, 80% des problèmes de coordonnées rencontrés dans l'exploration pétrolière sont des problèmes d'identification de référentiel et de transformation de Datums entre eux, et non pas des problèmes de projections.

Les problèmes de référentiels sont devenus majeurs avec l'utilisation des

nouvelles techniques de positionnement par satellites, dont l'industrie pétrolière a été l'une des premières utilisatrices. Le système Doppler NNSS (Navy Navigation Satellite System), plus connu sous le nom de "TRANSIT", fut développé dès 1958 pour le compte de la marine américaine afin d'offrir un soutien aux sous-marins Polaris ; il devient opérationnel militairement en 1964, et un code est mis à la disposition des civils en 1967 ; le système TRANSIT est largement utilisé dans l'exploration pétrolière dans les années 70 et 80, aussi bien pour des travaux de localisation marine que pour des travaux de géodésie. Le besoin est alors apparu de convertir dans les référentiels géodésiques régionaux les positions TRANSIT exprimées dans les premiers référentiels mondiaux WGS-66, NWL-9D, WGS-72, WGS72 Broadcast Ephemeris.

En 1978, le lancement du premier satellite GPS ouvre une ère nouvelle dans le domaine de la radiolocalisation ; les pétroliers s'investissent alors dès le début des années 80 dans l'utilisation de ce nouveau système promis à un brillant avenir. Le GPS est largement utilisé pour tous les travaux d'exploration bien avant sa déclaration de mise en service officielle initiale par le Département de la Défense américaine (DOD) en 1993, puis sa mise en service complète avec 24 satellites en 1995. Il faut alors "jongler" avec un nouveau système géodésique mondial, le WGS-84, qui est associé au système GPS ; le WGS-84 a été également utilisé par les satellites TRANSIT à partir de janvier 1989. ■■■

Datum, Ellipsoïde et Projection



■ ■ ■ Les Datums régionaux diffèrent généralement de plusieurs centaines de mètres des Datums globaux WGS-72 et WGS-84 ; ils peuvent également différer entre eux de plusieurs centaines de mètres. Les réseaux locaux établis jadis par les pétroliers sur des zones isolées sont souvent difficiles à identifier et à convertir en WGS-84, car cette étude se fait souvent vingt, trente ou cinquante ans après leur établissement sur le terrain. Les anciens points géodésiques ont souvent été détruits, ce qui empêche tout rattachement précis de l'ancien réseau local au réseau international ITRF (International Terrestrial Reference Frame), lequel est la réalisation civile précise du réseau militaire américain original ayant donné naissance au système WGS84.

Une base géodésique mondiale sur Microsoft ACCESS disponible sur le Web

Des bases de données géodésiques sont entretenues depuis de nombreuses années chez les "majors" pétroliers, qui inventorient à travers le monde toutes les références géodésiques dont ils disposent. Mais les nombreux échanges entre compagnies de documents cartographiques et de coordonnées rectangulaires ou géographiques s'accompagnent très souvent de difficultés rela-



Campagne sismique dans les marigots

tives à l'identification des systèmes géodésiques attachés à ces données, qui est trop souvent absente.

En 1986, sur l'initiative des services topographiques de ELF AQUITAINE et TOTAL, les services topo. de huit sociétés pétrolières européennes se sont réunis pour la première fois à Paris pour mettre en place une organisation permettant des échanges sur les expériences communes des ingénieurs topographes pétroliers, à commencer par le partage des références géodésiques utilisées par chacun sur les divers théâtres d'opération. Il est alors décidé que les informations géodésiques disponibles, et parfois particulières à chaque société, ne doivent pas faire parti du domaine concurrentiel ou confidentiel, et qu'il est dans l'intérêt de tous d'homogénéiser les références cartographiques utilisées par un opérateur avec celles des autres opérateurs dans un même pays.

Ce fut ainsi l'origine de l'European Petroleum Survey Group (EPSG), association informelle sans statut et sans budget de fonctionnement spécifique, qui comprend maintenant 11 "Pétroliers" européens se réunissant 2 fois par an. Diverses expériences sont échangées au cours de ces réunions, comme l'utilisation des nouvelles techniques satellites, acoustiques ou inertielles pour le positionnement des acquisitions sismiques terrestres ou marines, des levés topographiques ou hydrographiques, l'évolution des spécifications techniques des contrats, les qualifications des prestataires de services, etc...

Une organisation sœur a été créée en 1997 sous le nom de APSG (American Petroleum Survey Group) avec les mêmes objectifs. Ces deux associations ont des liens par les biais des "majors" qui sont représentés dans chacune d'entre elles, et l'"Américaine" bénéficie de l'expérience et des travaux passés de l'"Européenne" ; comme quoi les Européens peuvent devancer les Américains !

Des tables Excel ont été élaborées par certains membres de l'EPSG dès le début des années 90, qui regroupent les données de chaque société sur l'identification des référentiels géodésiques,

les ellipsoïdes et les systèmes de projection utilisés dans le monde.

Un groupe de travail de l'EPSG appelé "EPSG Geodetic Working Group", qui est composé de 6 personnes de nationalités diverses et dont je fais actuellement partie, a pour mission de développer et maintenir une base de données géodésiques sur le logiciel Microsoft ACCESS, en collectant régulièrement tous les systèmes de coordonnées ayant un intérêt national ou régional susceptible d'intéresser l'industrie pétrolière. Naturellement, il ne nous est pas possible d'inventorier les innombrables systèmes d'intérêt régional ou local existant dans tous les pays du monde, mais cette base s'enrichit en permanence de nouvelles données que nous récupérons auprès des services cartographiques nationaux, et des enquêtes que nous effectuons dans les pays où nous avons la possibilité d'opérer.

L'EPSG a décidé de mettre cette base de données privée à la disposition de tous les professionnels de la topographie, des fournisseurs de logiciels cartographiques et SIG divers (Systèmes d'Informations Géographiques), ainsi qu'à tous ceux qui sont amenés à exercer des activités à l'étranger dans ce domaine. Cette base n'est pas commercialisée ; elle n'a aucun caractère de service public comme les informations fournies directement par les services géographiques nationaux. La responsabilité de l'EPSG ne saurait être engagée par d'éventuelles données erronées que sa base pourrait contenir. Vous pouvez la télécharger gratuitement sur Internet à l'adresse suivante : <http://www.epsg.org/>

Pour alimenter régulièrement cette base, L'"EPSG Geodetic Working Group" est relation avec l'ensemble des sociétés pétrolières mondiales et avec des organismes tels que la NASA ou la DMA américaine (Defense Mapping Agency), qui a été rebaptisée NIMA (National Imagery & Mapping Agency) ces dernières années. Cette base est utilisée par des fabricants de logiciels spécialisés dans l'exploration pétrolière, mais aussi par des producteurs de SIG à vocation plus générale tel que ESRI, qui l'utilisera dans sa prochaine version de ARCVIEW 8.



La version 6.1 de la base EPSG actuellement disponible sur le Web comprend :

- 303 référentiels géodésiques (Datums) avec leur origine, leur ellipsoïde associé, la date probable d'établissement du réseau géodésique associé, et le pays et/ou la zone d'utilisation. La recherche des Datums peut se faire par nom de Datum, par synonyme de Datum, par pays ou région (nom anglais)
- 785 jeux de paramètres de transformations entre systèmes de référence (Datum Shift ou Coordinates Transformations), qui peuvent être des jeux à 3, 7 ou 10 paramètres suivant qu'il s'agit d'une transformation de Molodenski, de Helmert (Bursa Wolf) ou de Badekas Molodenski. Les transformations polynomiales publiées par les services géographiques nationaux sont également inventoriées. Il peut exister plusieurs jeux de paramètres de transformation différents entre 2 Datums, en fonction de la précision, liée à la date à laquelle ont été réalisés les travaux géodésiques qui ont permis le calcul de ces paramètres ; ces divers jeux de transformation sont conservés en mémoire pour permettre des analyses sur les travaux passés. La recherche peut se faire par pays, par nom de datum ou synonyme.
- 898 systèmes de projection (map projections) ; recherche par types de projections.
- 1836 systèmes de coordonnées (Coordinates Reference Systems ou CRS), qui sont des associations de Datums et de projections, lesquelles

sont utilisées dans les divers pays inventoriés dans la base. La recherche de ces systèmes peut se faire par pays/régions ou par datum.

- 38 définitions d'ellipsoïdes avec leurs paramètres.
- 13 méridiens origines (prime Meridians) avec leur écart en longitude par rapport à Greenwich
- 62 unités de mesures linéaires ou angulaires avec leur conversion dans le S.I.
- 57 méthodes de transformations de coordonnées (Coordinates Operation Methods), qui décrivent les algorithmes de transformations de Datums, de projection, et de certains systèmes de coordonnées spécifiques (grilles des concessions pétrolières)
- 1546 pays ou régions d'utilisation (Areas of Use) d'un système de coordonnées.

Cette base de données géodésiques constitue à ma connaissance la plus importante base géodésique civile de couverture mondiale qui soit disponible gratuitement en quelques clics de souris sur Internet. Les utilisateurs sont invités à fournir des commentaires et à proposer des demandes de modifications ou ajouts de données manquantes en utilisant le formulaire (Information Request) prévu à cet effet sur le site internet : <http://www.epsg.org>

Toute demande de modification ou d'ajout de données est contrôlée par recouplement avec d'autres sources d'information, avant d'être incluse dans la base.

Le lecteur français que vous êtes peut également s'adresser à moi-même pour toute requête, en m'envoyant un courrier électronique à l'adresse suivante : bruno.ravanas@totalfinalf.com ●

Contact

par Bruno Ravanans,
ingénieur géomètre ESTP (IG71)
bruno.ravanas@totalfinalf.com

ABSTRACT

The activity of hydrocarbon exploration & production within an oil company require a large number of specialised jobs including geodesy and topography. This topographic activity is usually sub-contracted out to dedicated service companies, and the author of this paper belongs to the Exploration and Production division of TotalFinaElf, the french oil company. The localization of geophysical studies and field work must be referenced to the geodetic networks available in the various countries of the world. There can be various geodetic systems in the same area with some variable accuracy. Problems of geographical coordinates transformation between reference geodetic frameworks became important with the use of satellite positioning techniques, first using the TRANSIT satellite system during the 1970's and 1980's, then with GPS, used now for about fifteen years in the oil industry. This paper announces the constitution of a world geodetic database by an association of the main European oil companies, which can be used free of charge by any private company or any interested private individual.

KEY WORDS

Geodesy, Geographic information system, Oil exploration, Satellite positioning